

Lösungen für häufige Komplikationen bei vorderer Kreuzbandoperation

Wolf Petersen & Thore Zantop

Arthroskopie

ISSN 0933-7946

Volume 32

Number 5

Arthroskopie (2019) 32:308-316

DOI 10.1007/s00142-019-00310-z



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Arthroskopie 2019 · 32:308–316
<https://doi.org/10.1007/s00142-019-00310-z>
 Online publiziert: 29. August 2019
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019



Wolf Petersen¹ · Thore Zantop²

¹ Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin, Grunewald, Berlin, Deutschland

² Sporthopaedicum Straubing, Straubing, Deutschland

Lösungen für häufige Komplikationen bei vorderer Kreuzbandoperation

Die arthroskopische vordere Kreuzbandplastik mit einem autologen Sehnentransplantat (Semitendinosus-, Patellar- oder Quadrizepssehne) gilt heute als Standardverfahren zur Behandlung akuter und chronischer vorderer Instabilitäten nach Ruptur des vorderen Kreuzbands (VKB). Aufgrund ihrer geringen Invasivität sind arthroskopische Operationsverfahren grundsätzlich mit einer geringen Komplikationsrate behaftet.

Für die arthroskopische VKB-Plastik wurden in großen Kollektiven Komplikationsraten zwischen 1,1 und 1,35% beschrieben [3, 12]. Dabei handelte es sich jedoch um Frühkomplikationen, die in den ersten 30 Tagen nach der Operation auftraten oder bemerkt wurden [3, 12].

Nach diesen beiden Studien ist die häufigste Frühkomplikation nach VKB-Rekonstruktion die tiefe Venenthrombose, gefolgt von der Wiederkehr in den Operationssaal (z. B. bei Hämarthros), der Infektion und der Lungenembolie. Agarwalla et al. [3] konnten anhand von 14.159 Patienten aus einem amerikanischen Qualitätssicherungsprogramm (Surgeons National Surgical Quality Improvement Program) zeigen, dass die Operationszeit ein wesentlicher Risikofaktor für die Entstehung dieser Komplikationen (Thrombose, Infektion) ist. In dieser Studie lag die mittlere Operationszeit bei 89,7 min. Eine Erhöhung der Operationszeit um 15 min führte zu einem signifikant erhöhten

Risiko für Komplikationen [3, 8]. Auch die Erfahrung des Operateurs spielt für das Komplikationsrisiko eine Rolle [19]. Daher ist im zügigen und strukturierten Operieren ein wesentlicher Faktor zur Komplikationsprophylaxe zu sehen.

Ein Problem dieser beiden Studien zu Frühkomplikationen anhand von Versicherungsdaten ist, dass viele typische Komplikationen nach VKB-Plastik nicht erfasst werden, da sie entweder sehr selten sind oder sich oft erst später manifestieren oder erkannt werden [3, 12]. Zu diesen Komplikationen zählen die Arthrofibrose, die Tunnelfehlplatzierung, das Versagen des Fixationssystems, das zu Boden gefallene Transplantat, die Patellafraktur oder abgebrochene Instrumente. Daher ist die Rate aller Komplikationen bei und nach VKB-Rekonstruktion höher als von Agarwalla et al. und Cveta-novich et al. beschrieben [3, 12].

Ziel dieses Artikels ist es, typische Komplikationen nach VKB-Plastik zu beschreiben sowie Maßnahmen zur Prophylaxe und auch mögliche Lösungsansätze aufzuzeigen.

Tiefe Venenthrombose und Lungenembolie

Die tiefe Venenthrombose ist eine ernste Komplikation nach VKB-Ersatz, die mit Auftreten einer Lungenembolie lebensbedrohliche Folgen haben kann (▣ Tab. 1) [11].

In der bereits erwähnten Analyse von Frühkomplikationen anhand von Daten zu 14.159 Kreuzbandrekonstruktionen lag die Rate tiefer Venenthrombosen bei 0,52% [3]. Für die Lungenembolie wurde anhand von 4933 Patienten eine Rate von 0,12% beschrieben [12]. In Studien, in denen die Thromboserate (auch klinisch

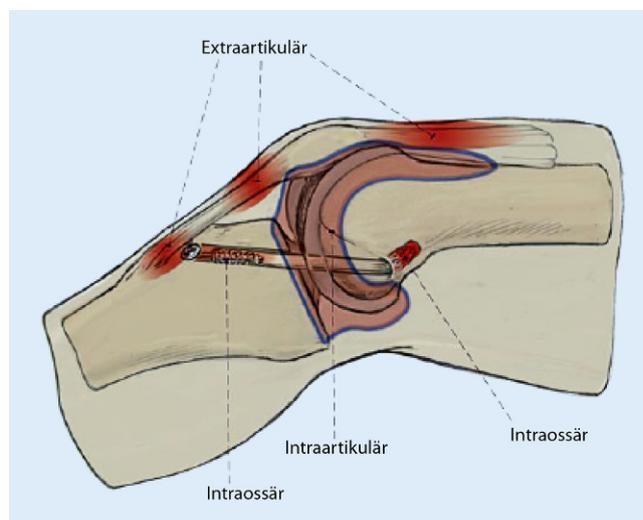


Abb. 1 ◀ Infektionen nach vorderer Kreuzbandplastik können sich extraartikulär, im Tunnel und intraartikulär manifestieren. (Aus [35])

Tab. 1 Typische allgemeine Komplikationen nach vorderer Kreuzbandplastik und deren Lösung

| Komplikation | Prävention | Lösung |
|---------------|---|--|
| Thrombose | Thromboseprophylaxe mit niedermolekularem Heparin | Gewichtsadaptierte Therapie mit niedermolekularem Heparin Keine Immobilisation |
| Infektion | Zügiges Arbeiten Perioperative systemische Antibiose [10] Einlegen des Transplantats in Vancomycin-Lösung | Im Stadium I–III mehrfache arthroskopische Spülung und gerichtete antibiotische Therapie Stadium IV offene Synovialektomie und Débridement des Knochens Physiotherapie |
| Arthrofibrose | Keine Operation bei präoperativen Beugedefiziten (Flexion <90°) wenn nicht notwendig Funktionelle Nachbehandlung | Physiotherapie Narkosemobilisation Arthroskopische Arthrolyse Postoperativ periphere Leitungsanästhesie |

Tab. 2 Arthroskopische Klassifikation intraartikulärer Infektionen nach Gächter

| Stadium | Befund | Intraartikuläre Therapie |
|---------|---|--|
| I | Beginnende Synovialitis mit Hyperämie, petechiale Blutungen | Arthroskopie, Spülung, ggf. wiederholte Spülungen mit ca. 10l |
| II | Starke Synovialitis mit Fibrin, trübes Sekret, Pus, kein Knorpelschaden | Arthroskopie, Débridement, wiederholte Spülungen mit ca. 10l |
| III | Deutliche Verdickung der Synovialis, Brieden und fibröse Stränge, beginnender Knorpelschaden ohne radiologische Arthrosezeichen | Arthroskopie, Débridement, Synovialektomie, ggf. lokale Antibiotikaträgerwiederholte Spülungen mit ca. 10l |
| IV | Pannusartiges Wachstum der Synovialis, der Pannus zerstört den Gelenkknorpel, freiliegender subchondraler Knochen, Erosionen und Zysten | Arthroskopie zur Synovialektomie in den posterioren Kompartimenten, Arthrotomie und Débridement der Osteolysen, Jet-Lavage, lokale Antibiotikaträger, Synovialektomie, wiederholte Spülungen mit ca. 10l |

Tab. 3 Gründe, die bei einer intraartikulären Infektion gegen einen Transplantaterhalt sprechen

| Faktoren gegen einen Transplantaterhalt |
|---|
| Transplantatinsuffizienz |
| Beteiligung der Knochentunnel |
| Infektpersistenz |
| Stadium IV |

asymptomatische Thrombosen) anhand einer Dopplerultraschalluntersuchung bei allen eingeschlossenen Patienten ermittelt wurde, lag diese sogar bei 6,6% [24]. Risikofaktoren für diese thromboembolischen Komplikationen waren die Operationszeit (Blutsperrezeit) und das Rauchen [24, 29].

Daher sollte gemäß der AWMF-Leitlinie nach längerdauernder arthroskopisch assistierter Gelenkchirurgie am Kniegelenk (Kreuzbandplastik) eine medikamentöse Thromboseprophylaxe mit einem niedermolekularen Heparin bis zum Erreichen der normalen

Beweglichkeit mit einer Belastung von mindestens 20kg, mindestens aber für 7 Tage durchgeführt werden [14].

Besteht klinisch der Verdacht auf eine tiefe Venenthrombose (Unterschenkelanschwellung, eindrückbares Ödem, Wells-Score >2), sollte die Diagnose über Kompressionsultraschall abgesichert werden [14]. Sofort nach Diagnosestellung soll eine therapeutische Antikoagulation begonnen werden, bei hoher klinischer Wahrscheinlichkeit auch bereits vor Sicherung der Diagnose durch Bildgebung. Eine Immobilisierung ist nicht erforderlich. An die initiale Antikoagulation soll sich eine Erhaltungstherapie von 3–6 Monaten anschließen [14].

Besteht klinisch der Verdacht auf eine Lungenembolie, sollte dieser durch eine CT-Pulmonalisangiographie (CT-PA) überprüft werden [18]. Ist die klinische Wahrscheinlichkeit gering, reicht beim stabilen Patienten auch ein D-Di-

mer-Test, um eine Lungenembolie auszuschließen [18]. Die weitere Therapie (intensivmedizinische Überwachung, Antikoagulation, Reperfusionstherapie) sollte dann in Absprache mit den Kollegen aus anderen Fachgebieten (innere Medizin, Anästhesie, Gefäßmedizin) erfolgen [18].

Infektion

Auch die bakterielle Infektion ist eine ernste Komplikation nach VKB-Plastik, da bakterielle Zytokine und Enzyme den Gelenkknorpel, den Knochen oder das Transplantat schädigen und zu einer Arthrofibrose führen können [35, 40]. Die Folge können Bewegungseinschränkungen, Rezidivinstabilitäten, Arthrose bis zur Sepsis sein [35]. Daher muss eine intraartikuläre Infektion schnell und konsequent bekämpft werden. Je früher der Therapiebeginn, desto besser die Prognose. Daher kann der klinische Verdacht (Schwellung, intraartikulärer Erguss, Überwärmung, erhöhte Werte für C-reaktives Protein [CRP] und Leukozyten) ohne Nachweis eines Erregers ausreichen, um die Therapie gegen eine Infektion einzuleiten. Intraartikuläre Infektionen nach VKB-Plastik manifestieren sich klinisch typischerweise nach 1 bis 3 Wochen.

Die Therapie der intraartikulären Infektion steht auf 2 Säulen [35]:

1. Das Gelenk soll arthroskopisch mechanisch gereinigt werden, um die Zahl der Erreger zu minimieren und den Knorpel vor schädigenden Enzymen zu schützen (■ Tab. 1).
2. Eine gezielte antibiotische Therapie soll die Erreger abtöten oder an der Vermehrung hindern.

Die antibiotische Therapie dauert meist zwischen 4 und 6 Wochen. Eine Doppelantibiose kann sinnvoll sein. Das Präparat richtet sich nach der Resistenz des Erregers. Die Wahl der Präparate sollte mit einem Mikrobiologen abgesprochen werden.

Die Art der chirurgischen Reinigung des Gelenks richtet sich nach den von Gächter [17] angegebenen Stadien der Infektion (■ Tab. 2). Die Stadien I–III eignen sich für die arthroskopische Thera-

Zusammenfassung · Abstract

pie. Im Stadium I und II wird die Synovialis möglichst intakt gelassen, damit das Antibiotikum in das Gelenk diffundieren kann. In diesen Stadien sollte auf eine Synovialektomie verzichtet werden. Wichtig ist, dass sowohl die vorderen als auch die hinteren Kompartimente sowie der mediale und laterale Recessus ausreichend mit Flüssigkeit gespült werden. Im Stadium III sollte die verdickte Synovialis abgetragen werden. Im Stadium IV ist meist eine Arthrotomie erforderlich, um den betroffenen Knochen zu débridieren. Aber auch hier kann der Einsatz des Arthroskops nützlich sein, um die posterioren Kompartimente zu spülen und zu synovialektomieren.

Das Besondere der Infektion nach VKB-Plastik ist, dass nicht nur die Gelenkhöhle, sondern auch der Knochen (Tunnel) und/oder die extraartikuläre Sehnenentnahmestellen betroffen sein können (Abb. 1). Bei extraartikulärer Manifestation muss auch die Sehnenentnahmestelle débridiert und gespült werden. Da gerade in der frühen Phase Flüssigkeit zwischen Transplantat und Tunnelwand dringen kann, besteht bei einem intraartikulären Infekt auch die Gefahr einer Kontamination der Knochentunnel. Bei einer Infektpersistenz kann auch hier ein Débridement notwendig werden. Da das Transplantat avaskulär ist, kann die körpereigene Immunabwehr oder Antibiotika nur über die Synovia dorthin gelangen.

Trotz dieser Probleme ist es oft möglich, den Infekt durch wiederholte arthroskopische Spülungen mit Erhalt des Transplantats zur Ausheilung zu bringen. Kriterien, die für eine Transplantatresektion sprechen, sind die Transplantatinsuffizienz, nichtanatomische Bohrkanaäle, radiologisch erkennbare Osteolysen im Bereich der Bohrkanaäle, Pus in den Bohrkanaälen oder die Infektpersistenz (Tab. 3).

In Abb. 2 wird ein Algorithmus zur Therapie intraartikulärer Infektionen nach VKB-Plastik aufgezeigt [35]. Wichtig für die Therapie der intraartikulären Infektion ist auch die begleitende Physiotherapie, da die Arthrofibrose zu den häufigen Komplikationen gehört.

Ein wesentlicher Faktor für das perioperative Infektionsrisiko ist die Opera-

Arthroskopie 2019 · 32:308–316 <https://doi.org/10.1007/s00142-019-00310-z>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

W. Petersen · T. Zantop

Lösungen für häufige Komplikationen bei vorderer Kreuzbandoperation

Zusammenfassung

Die arthroskopische vordere Kreuzbandplastik mit einem autologen Sehnentransplantat gilt heute als Standardverfahren zur Behandlung akuter und chronischer vorderer Instabilitäten. Für dieses operative Verfahren sind in großen Kollektiven Komplikationsraten zwischen 1,1 und 1,35% beschrieben. Die häufigste Frühkomplikation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands (VKB) ist die tiefe Venenthrombose, gefolgt von der Infektion und der Lungenembolie. Ein wesentlicher Risikofaktor hierfür ist die Operationszeit. Ansätze zur Prophylaxe dieser Komplikationen sind der postoperative Einsatz niedermolekularer Heparine und das

Einlegen der Transplantate in Vancomycin. Weitere Komplikationen nach VKB-Plastik sind die Arthrofibrose, die Tunnelfehlplatzierung, das Versagen des Fixationssystems, die Patellafraktur, das zu Boden gefallene Transplantat oder abgebrochene Instrumente. Auch das Risiko für diese selteneren Komplikationen lässt sich mit prophylaktischen Maßnahmen minimieren. Für die meisten beschriebenen Komplikationen sind Lösungsansätze bekannt.

Schlüsselwörter

Thrombose · Lungenembolie · Infektion · Fixation · Arthrofibrose

Solutions for frequent complications of anterior cruciate ligament surgery

Abstract

Arthroscopic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction with an autologous tendon graft is currently considered to be the standard procedure for the treatment of acute and chronic anterior instability. For this surgical procedure complication rates between 1.2% and 1.35% have been described in large collectives. The most common early complication after ACL reconstruction is deep vein thrombosis, followed by infections and pulmonary embolism. A major risk factor for these complications is the duration of surgery. Further approaches for prevention of these complications include the postoperative use

of low molecular weight heparins and soaking the graft in vancomycin. Other complications of ACL reconstruction include arthrofibrosis, tunnel misplacement, fixation system failure, patellar fracture, transplants that have been dropped on the floor or broken instruments. The risk of these rare complications can also be minimized with prophylactic measures and solutions are known for all the described complications.

Keywords

Thrombosis · Lung embolism · Infection · Fixation · Arthrofibrosis

tionszeit, insbesondere jene Zeit, die für die Präparation des Transplantats benötigt wird [35]. Daher ist auch im Hinblick auf die Infektionsprävention ein zeitoptimiertes Arbeiten notwendig.

» Ein wesentlicher Faktor für das perioperative Infektionsrisiko ist die Operationszeit

Eine neue Strategie zur Infektionsprävention ist es, die Transplantate nach der Präparation in eine Vancomycin-Lösung einzulegen. Eine Metaanalyse aus 8 Studien mit 5075 Patienten hat gezeigt, dass die

Infektionsrate bei 2099 Patienten ohne lokale Vancomycin-Prophylaxe bei 2,1% lag [27]. In der Gruppe, in der das Transplantat in Vancomycin-Lösung inkubiert wurde (2976 Patienten), trat keine Infektion auf [27]. Es bestand außerdem kein Unterschied im klinischen Ergebnis oder in den Revisionsraten zwischen beiden Behandlungsgruppen [27]. Daher kann die lokale Inkubation der Transplantate in Vancomycin-Lösung zur Verringerung des Infektionsrisikos bei VKB-Plastik empfohlen werden. Die übliche Vancomycin-Konzentration liegt bei 5 mg/ml bei einer Inkubationszeit zwischen 5 und 15 min [28].

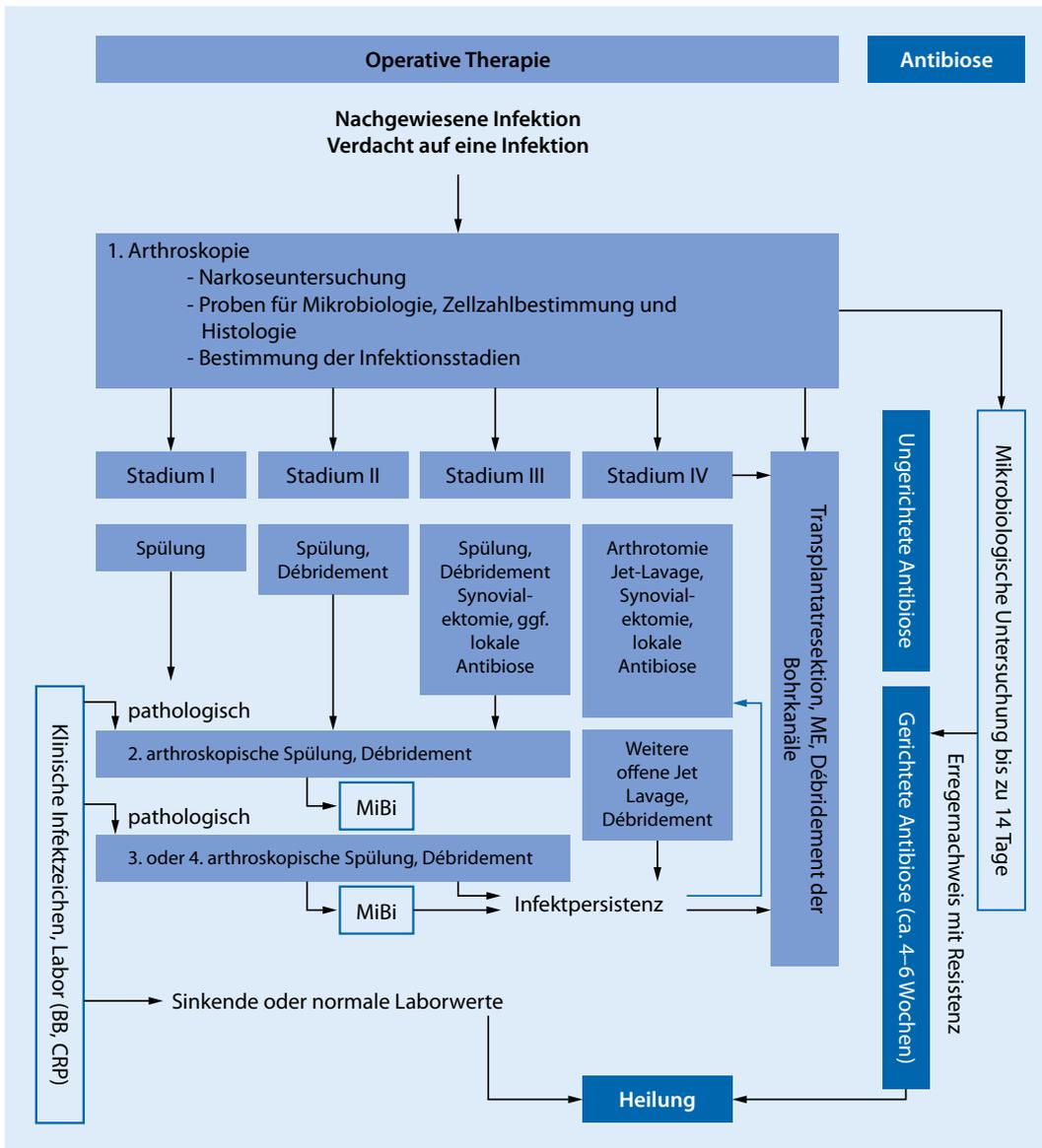


Abb. 2 ◀ Algorithmus zur Therapie der Infektion nach vorderer Kreuzbandplastik. *MiBi* Mikrobiologie, *BB* Blutbild, *CRP* C-reaktives Protein. (Aus [35])

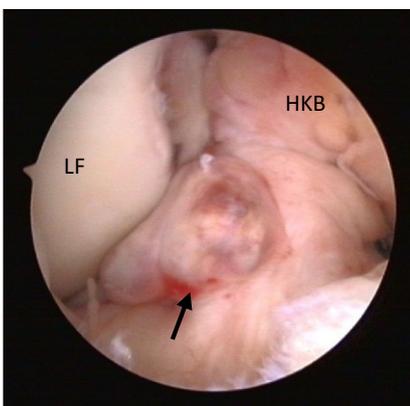


Abb. 3 ▲ Zyklopläsion als typische Komplikation einer vorderen Kreuzbandplastik. *HKB* hinteres Kreuzband, *LF* lateraler Femurcondylus



Abb. 4 ▲ Anteriorer und geweiteter tibialer Knochentunnel nach vorderer Kreuzbandplastik

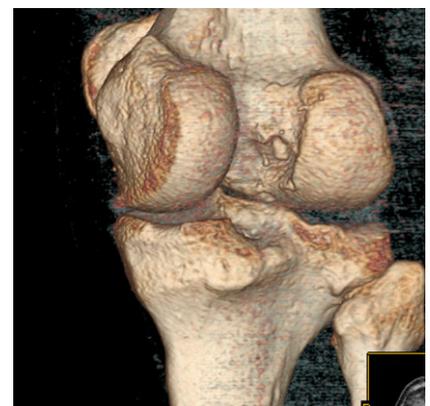


Abb. 5 ▲ 3-D-Computertomographie (CT) mit anteriorer und hoher femoraler Tunnelposition

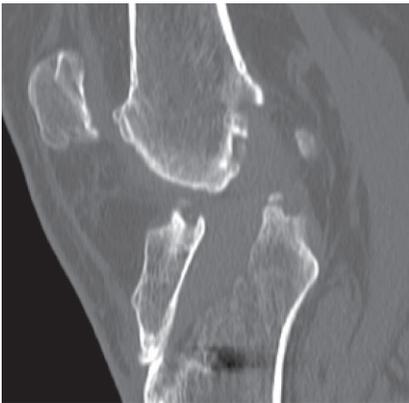


Abb. 6 ▲ Geweiteter tibialer Tunnel

Arthrofibrose

Arthrofibrose ist die Bezeichnung für eine krankhafte Vermehrung von Bindegewebe aufgrund von inflammatorischen Prozessen innerhalb eines Gelenks, die zu einer Bewegungseinschränkung führt. Man unterscheidet eine generelle Form (Ursache weitgehend unbekannt) von einer lokalen Form (Abb. 3). Zur lokalen Form wird auch die sog. Zyklusläsion – ein Gewebeknoten auf dem Kreuzbandtransplantat – gezählt (Abb. 3). Bewegungskomplikationen manifestieren sich in der Regel innerhalb der ersten 3 bis 6 Monate postoperativ. Diagnostisch abgegrenzt werden müssen mechanisch bedingte Bewegungsdefizite (z. B. Bohrkanalfehlposition, in das Gelenk hereinragende Implantate).

In einer Serie von 2424 VKB-Rekonstruktionen lag die Rate an postoperativen Bewegungseinschränkungen, die entweder eine Narkosemobilisation oder arthroskopische Arthrolyse erforderten, bei 4,5% [21]. In einer anderen Serie von 1841 Patienten lag die Arthrofibroserate bei 1,7% [37].

Risikofaktoren für die Entwicklung einer Arthrofibrose nach VKB-Rekonstruktion sind die Infektion, das postoperative Hämatom begleitende Meniskuseingriffe, weitere Begleiteingriffe, Transplantate aus dem Streckapparat (Patellarsehne und Quadrizepssehne), Alter unter 18, weibliches Geschlecht und ein früher Operationszeitpunkt (unter 28 Tagen nach Trauma; [21]). Hinsichtlich des Operationszeitpunkts kommen Mayr et al. [25] zu dem Ergebnis, dass

die Faktoren präoperative Beweglichkeit und Irritation des Kniegelenks Ursache für die erhöhte Arthrofibroserate zu einem frühen Operationszeitpunkt sind. Eine neuere Studie konnte außerdem zeigen, dass akut (innerhalb von 8 Tagen) operierte Patienten keine erhöhte Arthrofibroserate hatten [15].

Im Hinblick auf die Prävention sind die präoperative Beweglichkeit und die Reizung des Kniegelenks die einzigen präoperativ modifizierbaren Faktoren (Ausnahme eingeklemmter Korbhakenriss oder Streckdefizit durch eingeklemmte Kreuzbandfasern). Eine neuere kontrollierte Studie hat gezeigt, dass das postoperative Hämarthros durch die intraoperative Gabe von Tranexamsäure (15 mg/kg) reduziert werden und auch die postoperative Beweglichkeit gesteigert werden kann [16]. Auch die Transplantatinkubation in Vancomycin soll das Arthrofibrosierisiko – über den antinfektiösen Effekt – senken [28]. Postoperativ sollte Wert auf eine gute Analgesie sowie ein modernes phasenadaptiertes und kriterienbasiertes Rehabilitationsprotokoll gelegt werden. Eine postoperative lokale Infiltrationsanästhesie kann sinnvoll sein. Eine neuere Studie hat gezeigt, dass durch die postoperative Anwendung von passiven Bewegungsschienen (CPM) das Arthrofibrosierisiko bei Kindern gesenkt werden kann [9].

Therapeutisch hat sich ein schrittweiser Ansatz bewährt [13]. Initial sollte immer versucht werden, Bewegungsdefizite konservativ physiotherapeutisch zu behandeln. Bei einer generalisierten Form kann auch eine unterstützende systemische Therapie mit Kortison sinnvoll sein. Ist konservativ keine Besserung zu sehen und/oder ist der Anschlag in die entsprechende Bewegungsrichtung hart, kann die Indikation zu einer arthroskopischen Arthrolyse gestellt werden. Mit der arthroskopischen Arthrolyse können gute Langzeitergebnisse erzielt werden [26]. Insbesondere die lokale Form der Arthrofibrose (Zyklusläsion) spricht erfahrungsgemäß gut auf eine arthroskopische Therapie an.

Fehlplatzierung der Knochentunnel

Die Funktion des Kniegelenks kann am besten wiederhergestellt werden, wenn die Knochentunnel für das Kreuzbandtransplantat anatomisch im Bereich der VKB-Insertionen angelegt werden [33, 34, 37, 38]. Fehlplatzierungen der Knochentunnel können zu Veränderungen der Kniekinematik und zu Bewegungseinschränkungen führen (Abb. 4 und 5). In einer französischen Multizenterstudie waren 36% der Versager nach VKB-Rekonstruktion auf einen fehlplatzierten femoralen Tunnel zurückzuführen [39]. Insbesondere anterior platzierte femorale Tunnel führen initial zu Beugedefiziten und dann später zu Rezidivinstabilitäten (Abb. 5). Ein zu weit anterior platzierter tibialer Tunnel führt initial zu einem Streckdefizit.

Tunnelfehlplatzierungen können bei schlechter Übersicht im Gelenk auftreten. Als Risikofaktor sind hier Operationstechniken zu nennen, bei denen die VKB-Reste erhalten bleiben, da hier die Übersicht limitiert ist. Auch die transtibiale Bohrtechnik kann als Risikofaktor für eine hohe Tunnelfehlposition gesehen werden [5, 6, 33, 34]. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Insertion des VKB über das mediale Portal besser erreicht werden kann als über den tibialen Tunnel. Bei transtibialer Bohrung besteht das Risiko für hohe femorale Tunnellagen („High-noon“-Position; [5, 6, 33, 34]).

Hinzu kommt, dass die femorale Insertion des vorderen Kreuzbands über das anterolaterale Standardportal nicht optimal einsehbar ist. Vor der Insertion befindet sich ein Grat (Pfeil), der auch als „resident's ridge“ bezeichnet wird [33, 34]. Dieser Grat erschwert die Übersicht über die femorale Insertionszone des vorderen Kreuzbands, wenn sich das Arthroskop im lateralen Standardportal befindet. Eine bessere Übersicht gelingt, wenn das Arthroskop über das mediale Portal in das Gelenk eingebracht wird. Bei fehlenden Kreuzbandfasern können die Linea intercondylaris und die Knorpel-Knochen-Grenze der Orientierung dienen [33, 34]. Bei der medialen Portalbohrung ist darauf zu achten, dass das Knie mehr als 110° gebeugt ist und das

Tab. 4 Differenzialindikation zur einzeitigen oder zweizeitigen Revision bei Tunnelfehlagen und Tunnelweitungen

| | A Keine Tunnelweitung | B Tunnelweitung >11 mm |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Anatomisch | Primäre Revision | Zweizeitiges Vorgehen |
| Partiell anatomisch | Zweizeitiges Vorgehen | Zweizeitiges Vorgehen |
| Nichtanatomisch | Primäre Revision | Ein- oder zweizeitiges Vorgehen |

Tab. 5 Komplikationen des Fixationsverfahrens

| | Komplikation | Lösung |
|---|--|---|
| Komplikationen durch Knochentunnel | Durchbohren des Sacklochs | Wechsel des Fixationsverfahrens auf größeren Kippanker oder Interferenzschraube |
| | Posteriorer Bruch der femoralen Tunnelwand (Pressfit- oder Interferenzschraubenfixation nicht möglich) | Wechsel des Fixationsverfahrens |
| Komplikationen durch Fixationsimplantat | Zu geringes Drehmoment der Interferenzschraube | Größerer Schraubendurchmesser |
| | Bruch von Cross-pins | Bergen des Materials und Wechsel des Fixationsverfahrens |
| | Ungenügende Verklebung bei Pressfit-Fixation | Wechsel des Fixationsverfahrens (z. B. Kippanker) |
| | Fehlende Aufhängung bei <i>Suspension-Fixation</i> | Korrektur der Bohrung für den Cross-pin, Wechsel des Fixationsverfahrens |
| | Riss des Fadenmaterials bei extrakortikaler Fixation | Neue Armierung des Transplantats, Wechsel des Fixationsverfahrens |
| | Fehlende Kippung des Kippankers bei zu kurzem Verbindungsfaden | Erneute Armierung des Transplantats |

der mediale Femurkondylus nicht durch den Bohrer geschädigt wird. Hier ist auf eine exakte Anlage des Portals zu achten (immer in *Kanülentechnik*). Wird der Bohrer zu weit zentral eingeführt, besteht wiederum das Risiko für ein posteriores Ausbrechen des femoralen Tunnels. Für die mediale Portalbohrung empfiehlt sich die Verwendung eines speziellen Portalzielgeräts [7].

Tibial kann das Außenmeniskusvorderhorn als Landmarke für die Tunnelanlage dienen, falls keine Restfasern mehr vorhanden sind. Nach dem Bohren des tibialen Zieldrahts sollte immer ein *Impingement-Test* durchgeführt werden.

Liegt bei klinischen Symptomen einer Bewegungseinschränkung oder Rezidivinstabilität der Verdacht auf eine Tunnelfehlage vor, empfiehlt sich die Anfertigung einer 3-D-Computertomographie (CT), da diese eine gute Beurteilung der femoralen Tunnelposition erlaubt. Auch Tunnelweitungen (>11 mm Durchmesser) können auf diese Weise gut erfasst werden (Abb. 6).

Aus den Befunden der 3-D-CT ergibt sich dann das weitere Vorgehen. Bei partiellen Fehllagen oder signifikanten Tunnelweitungen ist vor einer Revisionsplastik des VKB eine Tunnelfüllung mit autologer oder allogener Spongiosa erforderlich (Tab. 4).

Weitung der Knochentunnel

Die Weitung der Knochentunnel ist ein Phänomen, das sich vor allem im ersten Jahr nach VKB-Plastik manifestiert [1, 2, 41]. Bis zu einem gewissen Grad ist die Tunnelweitung im ersten Jahr als physiologisch im Rahmen der Transplantateinheilung anzusehen [1, 2, 41]. Beim ossären Ersatz mancher resorbierbarer Interferenzschrauben kann sich die initiale Tunnelweitung in den folgenden Jahren in einigen Fällen wieder zurückbilden [2]. Die Resorptionsprozesse können aber auch zur Bildung von Knochenzysten führen.

Auf das klinische Ergebnis soll die physiologische Tunnelweitung keinen

Einfluss haben [41]. Signifikante Tunnelweitungen haben jedoch eine Bedeutung für die Revisionschirurgie, da diese eine einzeitige Reoperation erschweren (Tab. 4; Abb. 6; [36]). Von einer relevanten Tunnelweitung spricht man ab einem Durchmesser >11 mm oder einer Weitung des Tunneldurchmessers von mehr als 2 mm größer als der initiale Tunnel.

» Die Ursachen für Tunnelweitungen sind meist multifaktoriell

Die Ursachen für Tunnelweitungen sind meist multifaktoriell. Man unterscheidet die primäre von der sekundären Tunnelweitung. Als Ursachen für die primäre Tunnelweitung kommen die transtibiale Bohrung, die unsachgemäße Verwendung von Bohrern oder überdimensionierte Interferenzschrauben in Betracht. Ursachen für sekundäre pathologische Tunnelweitungen sind Tunnelfehlplatzierungen, die Infektion oder schnell resorbierende Implantate.

Versagen der Fixation

Zum Versagen der Fixation liegen in der Literatur nur Fallbeschreibungen vor [30]. Hier können Komplikationen mit Beschädigung des Knochentunnels von Komplikationen mit Implantatversagen unterschieden werden (Tab. 5).

Zu den Tunnelkomplikationen zählt z. B. das posteriore Ausbrechen der femoralen Tunnelwand (Risiko bei medialer Portalbohrtechnik). In diesem Fall ist keine Fixation durch Kompression im Tunnel mehr möglich (Interferenzschraube oder Pressfit). Es bleibt jedoch die Möglichkeit einer gelenkfernen Fixation über einen Kippanker. Eine weitere Tunnelkomplikation besteht in der Durchbohrung des Sacklochs durch die laterale Kortikalis [20]. In diesem Fall ist keine gelenkferne Aufhängungsfixation mit Kippanker (z. B. Flipptack, Karl Storz, Tuttlingen, ACL TightRope®, Arthrex, Naples, FL) mehr möglich. Hier wäre der Wechsel auf eine Interferenzschraubenfixation, einen Fixationsknopf oder einen speziellen größeren Kippan-

Leitthema

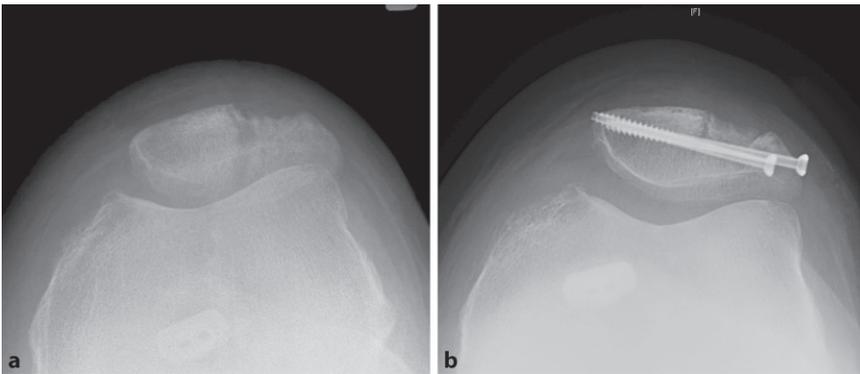


Abb. 7 ▲ **a** Patellafraktur bei Z. n. Entnahme der Quadrizepssehne ohne wesentliche Dislokation. **b** Zustand nach offener Reposition und Osteosynthese, da so eine funktionelle Rehabilitation möglich ist

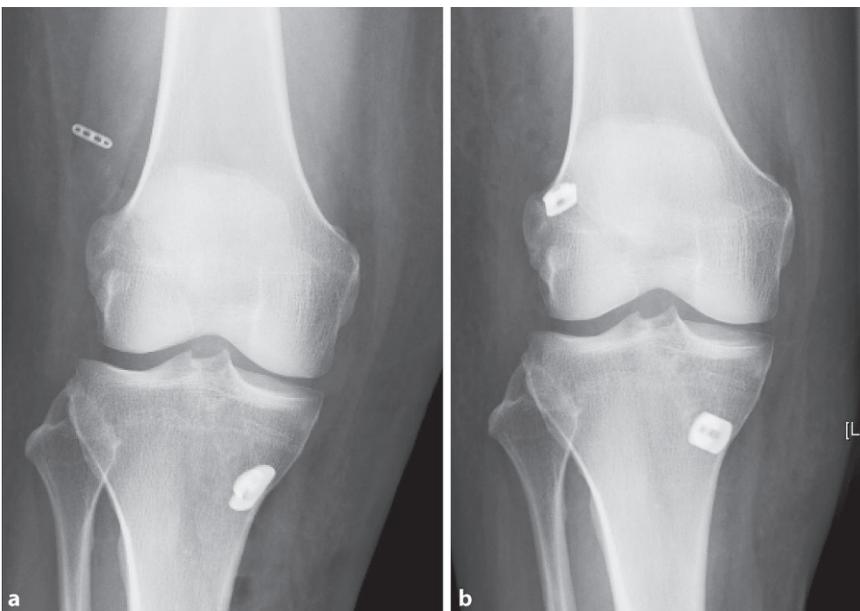


Abb. 8 ▲ **a** Das Transplantat wurde versehentlich aus dem wahrscheinlich durchgebohrten femoralen Kanal herausgezogen. **b** Zustand nach frühzeitiger Revision und erneuter femoraler Fixation mit einem Fixationsknopf

ker (Xtendobutton, Smith and Nephew, London, UK) angezeigt.

Auch das Fixationsverfahren selbst kann versagen (z. B. Lösen der Fadenkorde, Riss des Fadenmaterials, unzureichende Kompression im Tunnel durch die Interferenzschraube, ungenügende Verklebung bei Pressfit-Fixation, fehlende Aufhängung bei *Suspension-Fixation*, Bruch des Cross-pins [32]). Daher sollte die Stabilität der femoralen Fixation immer getestet werden, indem das Gelenk unter maximalem Zug am Transplantat bewegt wird. So kann sich das Fixationskonstrukt dehnen, ein Kippanker gesetzt und die Stabilität der Fixation überprüft werden. Ohne das

Bewegen des Gelenks kann es passieren, dass der Button nicht der Kortikalis aufsitzt. Die Lösung der Fixationskomplikation richtet sich nach dem Verfahren und Fehler. Bei unzureichender Kompression bei unterdimensionierter Interferenzschraube kann eine Schraube mit größerem Durchmesser verwendet werden. Ansonsten sollte auch immer der Wechsel oder Ergänzung des Fixationsverfahrens in Betracht gezogen werden (▣ Tab. 5).

Auch das Fadenmaterial, mit dem das Transplantat armiert ist, kann reißen. Daher sollte es nie mit scharfen Klemmen gehalten werden. Bei der Verwendung von Interferenzschrauben ist zu beach-

ten, dass das Gewinde das Transplantat (besonders bei Verwendung von Metallschrauben) beim Eindrehen schädigen kann und so die Gesamtstabilität des Sehnen-Knochen-Konstrukts mindert [42]. In diesen Fällen kann es sogar erforderlich sein, intraoperativ das Transplantat zu wechseln.

Langfristige Komplikationen der Fixationsimplantate können bei resorbierbaren Materialien auftreten. Insbesondere bei bestimmten schnell resorbierbaren Materialien kann es zu Osteolysen im Bereich des Knochentunnels kommen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass man als Kreuzbandchirurg sein bevorzugtes Fixationsverfahren und dessen Eigenschaften kennen muss, aber auch mit anderen Verfahren vertraut sein sollte, um auf Komplikationen reagieren zu können.

Frakturen

Eine seltene Komplikation nach Entnahme der Quadrizepssehne oder der Patellarsehne mit Knochenblöcken ist die intraoperative oder postoperative Patellafraktur [23]. Sollte eine Patellafraktur diagnostiziert werden, kann bei einer Dislokation der Fragmente eine offene Reposition und Osteosynthese erforderlich werden. Aber auch ohne Dislokation kann ein operatives Vorgehen sinnvoll sein, um eine funktionelle Rehabilitation der VKB-Plastik zu ermöglichen (▣ Abb. 7).

Frakturen von Tibia oder Femur sind denkbar und in der Literatur anhand von wenigen Fallberichten beschrieben worden [30]. Diese traten nach Niedrigenergietraumata auf und sind auf den durch die Bohrtunnel geschwächten Knochen zurückzuführen.

Zu Boden gefallenes Transplantat

Auch das zu Boden gefallene Transplantat ist eine seltene Komplikation bei VKB-Plastik. Dieses sollte so schnell wie möglich aufgehoben und in einer dekontaminierenden Lösung inkubiert werden [4, 22].

Barbier et al. haben Proben von 25 Patienten während einer VKB-Rekonstruk-

tion zu Boden fallen lassen [4]. Ohne Inkubation in einer antiseptischen Lösung lag die Kontaminationsrate bei 40 %. Nach der Inkubation in einer antiseptischen Lösung sank die Kontaminationsrate bei Verwendung von Chlorhexidin auf 0,8 %, bei Povidon-Jod auf 4 % und bei Hypochlorid auf 16 %. Ein systematisches Literaturreview kann die dekontaminierende Wirkung von Chlorhexidin (Sterilitätsrate: 97,5 %) bestätigen [22]. Durch den Zusatz von Bacitracin wurde die Sterilitätsrate auf 100 % erhöht. In diesem Review wurde mit Povidon-Jod nur eine Sterilitätsrate von 48 % erzielt [22].

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass ein zu Boden gefallenes Transplantat nicht entsorgt werden muss. Es liegen genügend Daten in der Literatur vor, die eine Transplantatdekontamination rechtfertigen. Das beste Verfahren ist die Inkubation mit Chlorhexidin und Bacitracin. Eine Alternative ist jedoch auch der Transplantatwechsel.

Abgebrochene Instrumente

Der Instrumentenbruch ist eine Komplikation, welche die Operationszeit erheblich verlängern kann, da die arthroskopische Bergung aufwändig sein kann. Alle im Gelenk verwendeten Instrumente müssen vom Anwender unbedingt auf ihre Intaktheit geprüft werden. Außerdem sollten alle Instrumente regelmäßig auf Verschleißzeichen überprüft werden. Vom Instrumentenbruch sind häufig Gewinde-K-Drähte betroffen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Gelenkstellung nach Einbringen der K-Drähte – insbesondere nach Knochenbohrung – nicht mehr verändert wird. Zum Überbohren sollten Führungsdrähte ohne Gewinde verwendet werden.

Gefäß- und Nervenverletzungen

Verletzungen der großen Gefäße und Nerven im Bereich der Fossa poplitea sind sehr selten [30]. Häufiger kommt es zu Irritationen und Verletzungen der Rami infrapatellaris des N. saphenus. Papastergiou et al. haben gezeigt, dass sich das Risiko für eine Verletzung der Rami infrapatellaris des N. saphenus durch eine schräge Hautinzision bei der

Sehnenentnahme parallel zum Verlauf der Nerven vermindern lässt (von 39,7 % auf 14,9 %; [31]).

Die postoperativen Gefühlsstörungen bei Verletzungen der Rami infrapatellaris bessern sich oft nach einigen Jahren. Spezielle therapeutische Maßnahmen sind meist nicht notwendig.

Fazit für die Praxis

- Trotz einer geringen Rate an Frühkomplikationen (tiefe Venenthrombose, Lungenembolie, Infektion) bestehen nach VKB-Rekonstruktion zahlreiche weitere Risiken für mögliche Komplikationen.
- Für die meisten Probleme gibt es heute gute Lösungsansätze, sodass das Komplikationsrisiko schon im Vorfeld auf ein Minimum reduziert werden kann.
- Die typischen Komplikationen und deren Ursachen sollten dem Operateur bekannt sein, denn nur so können diese verhindert werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Wolf Petersen

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin, Grunewald Caspar Theyß Straße 27–31, 14193 Berlin, Deutschland
wolf.petersen@pgdiakonie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Zantop und W. Petersen erhalten Beraterhonorare von der Firma Karl Storz. W. Petersen erhält Beraterhonorare von der Firma Otto Bock. W. Petersen erhält Vortragshonorare von der Firma Plasmaconceptm, AAP Implantate und dem Deutschen Institut für Zell und Gewebetransplantation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Achtnich A, Stiepani H, Forkel P, Metzloff S, Hänninen EL, Petersen W (2013) Tunnel widening after anatomic double-bundle and mid-position single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 29(9):1514–24. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.06.002>

2. Achtnich A, Forkel P, Metzloff S, Zantop T, Petersen W (2014) Degradation of poly-D-L-lactide (PDLA) interference screws (Megafix®). *Arch Orthop Trauma Surg* 134(8):1147–1153
3. Agarwalla A, Gowd AK, Liu JN, Garcia GH, Bohl DD, Verma NN, Forsythe B (2019) Effect of operative time on short-term adverse events after isolated anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med.* <https://doi.org/10.1177/2325967118825453>
4. Barbier O, Danis J, Versier G, Ollat D (2015) When the tendon autograft is dropped accidentally on the floor: a study about bacterial contamination and antiseptic efficacy. *Knee* 22(5):380–383
5. Bedi A, Altchek DW (2009) The “footprint” anterior cruciate ligament technique: an anatomic approach to anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 25(10):1128–1138
6. Bedi A, Musahl V, Steuber V, Kendoff D, Choi D, Allen AA, Pearle AD, Altchek DW (2011) Transtibial versus anteromedial portal reaming in anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic and biomechanical evaluation of surgical technique. *Arthroscopy* 27(3):380–390
7. Behrendt S, Richter J (2010) Anterior cruciate ligament reconstruction: drilling a femoral posterolateral tunnel cannot be accomplished using an over-the-top step-off drill guide. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18(9):1252–1256
8. Boddapati V, Fu MC, Nwachukwu BU, Camp CL, Spiker AM, Williams RJ, Ranawat AS (2019) Procedure length is independently associated with overnight hospital stay and 30-day readmission following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05622-z>
9. Bram JT, Gambone AJ, DeFrancesco CJ, Striano BM, Ganley TJ (2019) Use of continuous passive motion reduces rates of Arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction in a pediatric population. *Orthopedics* 42(1):e81–e85. <https://doi.org/10.3928/01477447-20181120-04>
10. Carney J, Heckmann N, Mayer EN, Alluri RK, Vangness CT Jr, Hatch Iii GF, Weber AE (2018) Should antibiotics be administered before arthroscopic knee surgery? A systematic review of the literature. *World J Orthop* 18;9(11):262–270 (Nov)
11. Chen CW, Pan ZE, Zhou YL, Liu CL, Wu LC, Chen L (2018) Incidence and risk factors of early deep venous thrombosis after knee arthroscopy operation under conventional tourniquet. *Zhongguo Gu Shang* 31(9):829–834
12. Cvetanovich GL, Chalmers PN, Verma NN, Cole BJ, Bach BR Jr. (2016) Risk factors for short-term complications of anterior cruciate ligament reconstruction in the united states. *Am J Sports Med* 44(3):618–624
13. Ekhtiari S, Horner NS, de Sa D, Simunovic N, Hirschmann MT, Ogilvie R, Berardelli RL, Whelan DB, Ayeni OR (2017) Arthrofibrosis after ACL reconstruction is best treated in a step-wise approach with early recognition and intervention: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25(12):3929–3937
14. Encke A, Haas S, Kopp I (2015) S3-Leitlinie Prophylaxe der venösen Thromboembolie., AWMF Leitlinien-Register Nr. 003/001
15. Eriksson K, von Essen C, Jönhagen S, Barenius B (2018) No risk of arthrofibrosis after acute anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26(10):2875–2882. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4814-1> (Epub 2017 Nov 29)

16. Felli L, Revello S, Burastero G, Gatto P, Carletti A, Formica M, Alessio-Mazzola M (2019) Single intravenous administration of Tranexamic acid in anterior cruciate ligament reconstruction to reduce postoperative Hemarthrosis and increase functional outcomes in the early phase of postoperative rehabilitation: a randomized controlled trial. *Arthroscopy* 35(1):149–157

17. Gächter A (1994) Gelenkinfekt – Arthroskopische Spülungsbehandlung – Hints und Tricks. *Arthroskopie* 7:98–101

18. Hach-Wunderle DH, Gerlach DS, Konstantinides DTh, Noppeney DH, Riess DS, Schellong DJE, Wildberge (2017) S2k-Leitlinie zur Diagnostik und Therapie der Venenthrombose und der Lungenembolie. Deutscher Ärzteverlag, Köln

19. Harato K, Kobayashi S, Toyoda T, Hasegawa T, Tsukimura Y, Niki Y (2019) Technical obstacles for low-volume surgeons in primary anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1692674>

20. Herbolt M, Heletta S, Raschke MJ, Schliemann B, Osada N, Petersen W, Zantop T (2012) Accidental perforation of the lateral femoral cortex in ACL reconstruction: an investigation of mechanical properties of different fixation techniques. *Arthroscopy* 28(3):382–389

21. Huleatt J, Gottschalk M, Fraser K, Boden A, Dalwadi P, Xerogeanes J, Hammond K (2018) Risk factors for manipulation under anesthesia and/or lysis of adhesions after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med* 6(9):2325967118794490

22. Khan M, Rothrauff BB, Merali F, Musahl V, Peterson D, Ayeni OR (2014) Management of the contaminated anterior cruciate ligament graft. *Arthroscopy* 30(2):236–244

23. Lee GH, McCulloch P, Cole BJ, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr. (2008) The incidence of acute patellar tendon harvest complications for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 24(02):162–166

24. Murphy RF, Heyworth B, Kramer D, Naqvi M, Miller PE, Yen YM, Kocher MS, Shore BJ (2019) Symptomatic venous thromboembolism after adolescent knee Arthroscopy. *J Pediatr Orthop* 39(3):125–129

25. Mayr HO, Weig TG, Plietz W (2004) Arthrofibrosis following ACL reconstruction—reasons and outcome. *Arch Orthop Trauma Surg* 124(8):518–522

26. Mayr HO, Brandt CM, Weig T, Koehne M, Bernstein A, Suedkamp NP, Hube R, Stoehr A (2017) Long-term results of Arthroscopic Arthrolysis for Arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 33(2):408–414

27. Naendrup JH, Marche B, de Sa D, Koenen P, Otchwemah R, Wafaisade A, Pfeiffer TR (2019) Vancomycin-soaking of the graft reduces the incidence of septic arthritis following ACL reconstruction: results of a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05353-1>

28. Offerhaus C, Balke M, Hente J, Gehling M, Blendl S, Höher J (2019) Vancomycin pre-soaking of the graft reduces postoperative infection rate without increasing risk of graft failure and arthrofibrosis in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5323-6>

29. Oshiba H, Nawata M, Morioka S, Momose T, Maeda T, Nakatsuchi Y (2019) The incidence and risk factor of deep venous thrombosis after arthroscopically assisted anterior cruciate li-

gament reconstruction. *J Orthop Sci* 0949-2658(19):30149–30146

30. Palazzolo A, Rosso F, Bonasia DE, Saccia F, Rossi R, Knee Committee SIGASCOT (2018) Uncommon complications after anterior cruciate ligament reconstruction. *Joints* 6(3):188–203

31. Papastergiou SG, Voulgaropoulos H, Mikalef P, Ziogas E, Pappis G, Giannakopoulos I (2006) Injuries to the infrapatellar branch(es) of the saphenous nerve in anterior cruciate ligament reconstruction with four-strand hamstring tendon autograft: vertical versus horizontal incision for harvest. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14(8):789–793

32. Papastergiou SG, Koukoulis NE, Ziogas E, Dimitriadis T, Voulgaropoulos H (2009) Broken bioabsorbable femoral cross-pin as a cause of a chondral lesion after anterior cruciate ligament reconstruction. *Bmj Case Rep*. <https://doi.org/10.1136/bcr.09.2008.0883>

33. Petersen W, Zantop T (2007) Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454:35–47

34. Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzclaff S, Zantop T (2013) Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament in single bundle technique. *Oper Orthop Traumatol* 25(2):185–204

35. Petersen W, Herbolt M, Höyneck E, Zantop T, Mayr H (2014) Stage-adapted treatment of infection after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Oper Orthop Traumatol* 26(1):63–74 (Feb)

36. Petersen W, Karpinski K, Bierke S, Hees T, Häner M (2019) Primary revision with replasty of the anterior cruciate ligament. *Oper Orthop Traumatol* 31(3):221–247

37. Sanders TL, Kremers HM, Bryan AJ, Kremers WK, Stuart MJ, Krych AJ (2017) Procedural intervention for arthrofibrosis after ACL reconstruction: trends over two decades. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25(2):532–553

38. Sadoghi P, Kröpfl A, Jansson V, Müller PE, Pietschmann MF, Fischmeister MF (2011) Impact of tibial and femoral tunnel position on clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 27(3):355–364

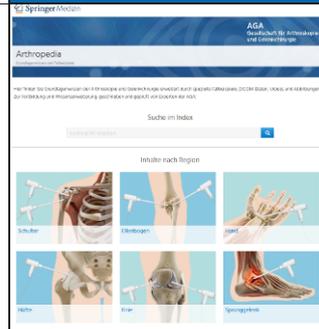
39. Trojani C, Sbihi A, Djan P, Patel JF, Hulet C, Jouve F, Bussièrre C, Ehkirch FP, Burdin G, Dubrana F, Beaufils P, Franceschi JP, Chassaing V, Colombet P, Neyret P (2011) Causes for failure of ACL reconstruction and influence of meniscectomies after revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(2):196–201

40. Westermann R, Anthony CA, Duchman KR, Gao Y, Pugely AJ, Hettrich CM, Amendola N, Wolf BR (2017) Infection following anterior cruciate ligament reconstruction: an analysis of 6,389 cases. *J Knee Surg* 30(6):535–543

41. Wilson TC, Kantaras A, Atay A, Johnson DL (2004) Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med* 32(2):543–549

42. Zantop T, Weimann A, Schmidtke R, Herbolt M, Raschke MJ, Petersen W (2006) Graft laceration and pullout strength of soft-tissue anterior cruciate ligament reconstruction: in vitro study comparing titanium, poly-d,l-lactide, and poly-d,l-lactide-tricalcium phosphate screws. *Arthroscopy* 22(11):1204–1210 (Nov)

Fachnachrichten



Arthropedia startet

Für *Arthropedia*, dem neuen Online-Portal der AGA und SpringerMedizin, können ab sofort digitale Inhalte eingereicht werden. Diese können

- aus einem Video (mit Tonspur oder Untertitelung) oder auch
- aus kleinen Kasuistiken (mit Abbildungen, Videos, DICOM und kurzen, erläuternden Texten in Aufzählungsform) bestehen.

Arthropedia wird Grundlagenwissen und konkrete Fallbeispiele bieten. Die konkreten Fallbeispiele beinhalten ein detailliertes Schritt-für-Schritt-Vorgehen, Anatomie, Zugangswege und Op.-Schritte. Die Fallbeispiele reichen von Grundlagentechniken bis hin zu speziellen, seltenen Falldarstellungen.

Bestandteil aller Inhalte sind Bildmedien wie Abbildungen, Videos und DICOM. *DICOM*: CT und MRT, prä- und postoperativ *Videos*: So kurz wie möglich (maximal 5 Minuten), mit Tonspur oder Overlays.

Alle Mitglieder der AGA werden aufgerufen, Fallbeispiele einzureichen. Diese Fallbeispiele können aus nur einem Op.-Video bestehen oder auch einen komplexeren Fall schildern.

Zur Einreichung oder Fragen rund um *Arthropedia* wenden Sie sich bitte an

Sabine Hofmann
 Managing Editor
Arthroscopie und Gelenkchirurgie
sabine.hofmann@springer.com

Anatomische Kreuzbandrekonstruktion mit der autologen Semitendinosussehne

Wolf Petersen, Tilman Hees & Thore Zantop

Knie Journal
Organ der Deutschen Kniegesellschaft

ISSN 2662-4028
Volume 1
Number 1

Knie J. (2019) 1:57-65
DOI 10.1007/s43205-019-00010-6



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Knie J. 2019 · 1:57–65
<https://doi.org/10.1007/s43205-019-00010-6>
 Online publiziert: 4. September 2019
 © Springer Medizin Verlag GmbH 2019



Wolf Petersen¹ · Tilman Hees¹ · Thore Zantop²

¹ Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus Berlin-Grunewald, Berlin, Deutschland

² Sporthopaedicum Straubing, Straubing, Deutschland

Anatomische Kreuzbandrekonstruktion mit der autologen Semitendinosussehne

Video online

Die Onlineversion dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s43205-019-00010-6>) enthält ein Video zur Veranschaulichung der Operationstechnik. Beitrag und Zusatzmaterial stehen Ihnen auf www.springermedizin.de zur Verfügung. Bitte geben Sie dort den Beitragstitel in die Suche ein, das Zusatzmaterial finden Sie beim Beitrag unter „Ergänzende Inhalte“.



Hintergrund

Biomechanische und klinische Studien haben gezeigt, dass die Funktion des vorderen Kreuzbandes am besten wiederhergestellt werden kann, wenn die Knochentunnel innerhalb der femoralen und tibialen Insertion des vorderen Kreuzbandes (VKB) platziert werden [1, 2, 5–7]. Dieses Konzept wird als *anatomische VKB-Rekonstruktion* bezeichnet [6]. Zu diesem Konzept gehört die *mediale Portalbohrtechnik*, der *mediale Portalblick* und die *Orientierung an Landmarken* [6]. Dabei wird das native VKB belassen, soweit die Bandreste die Tunnelanlage oder die Visualisierung nicht stören. Durch den Erhalt

ligamentärer Reststrukturen kann das Remodelling und die Propriozeption verbessert werden. Grundsätzlich können verschiedene autologe Sehnentransplantate für den anatomischen VKB-Ersatz verwendet werden (Semitendinosussehne, Quadrizepssehne, Patellarsehne). Die Semitendinosussehne ist heute jedoch das am häufigsten verwendete Transplantat zur VKB-Rekonstruktion.

Ziel dieses Beitrages ist es, eine arthroskopische *anatomische Technik* zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes zu beschreiben.

Indikation

- Funktionelle Instabilität mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit subjektiven Instabilitätsgefühlen („giving way“)
- Akute Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit begleitender Meniskusläsion, die sich zur Refixation eignet
- Akute Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit Risikofaktoren (z. B. Pivot-shift-Sportarten)
- Chronische vordere Kreuzbandinstabilitäten bei Zustand nach subtotaler Innenmeniskusresektion

Kontraindikation

- Chronische mediale Instabilitäten bei Verwendung der Semitendinosussehne als Transplantat

Anästhesie und Lagerung

- Allgemein- oder Spinalanästhesie
- Lokale Infiltrationsanästhesie erleichtert die postoperative Schmerztherapie
- Lagerung, sodass das Arbeiten in verschiedenen Beugewinkeln möglich ist (z. B. im elektrischen beweglichen Beinhalter)
- Die Blutsperre sollte möglichst proximal angelegt werden, da sie ansonsten durch die femoralen Zieldrähite geschädigt werden kann (Sterilitätsproblem)

Operationstechnik

Schritt 1: Zugänge

Es werden zwei arthroskopische Zugänge zum Kniegelenk benötigt (■ **Abb. 1**). Das Arthroskop wird über ein hohes anterolaterales Portal (■ **Abb. 1a**) eingebracht. Das hohe anterolaterale Portal ermöglicht eine gute Übersicht, ohne dass sich Teile des Hoffa-Fettkörpers vor das Arthroskop schieben können. Über das mediale Portal (■ **Abb. 1b**) erfolgt die Präparation des femoralen Ansatzes des vorderen Kreuzbandes. Dieses sollte tief knapp oberhalb des Gelenkspaltes liegen. Über dieses Portal wird auch der femorale Tunnel gebohrt. Zur Entnahme der Semitendinosussehne ist eine ca. 3 cm lange tibiale Inzision notwendig (■ **Abb. 1c**).

Operative Techniken: Standards

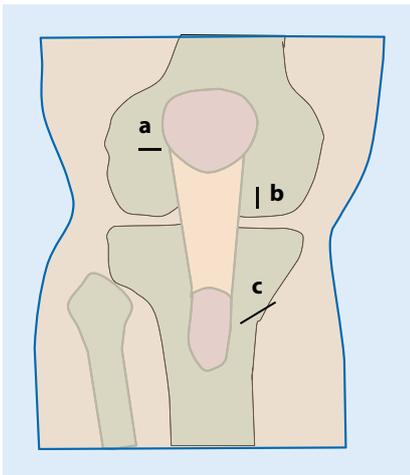


Abb. 1 ▲ Zugänge. *a* Hohes anterolaterales Portal, *b* mediales Portal, *c* tibiale Inzision zur Entnahme der Semitendinosussehne

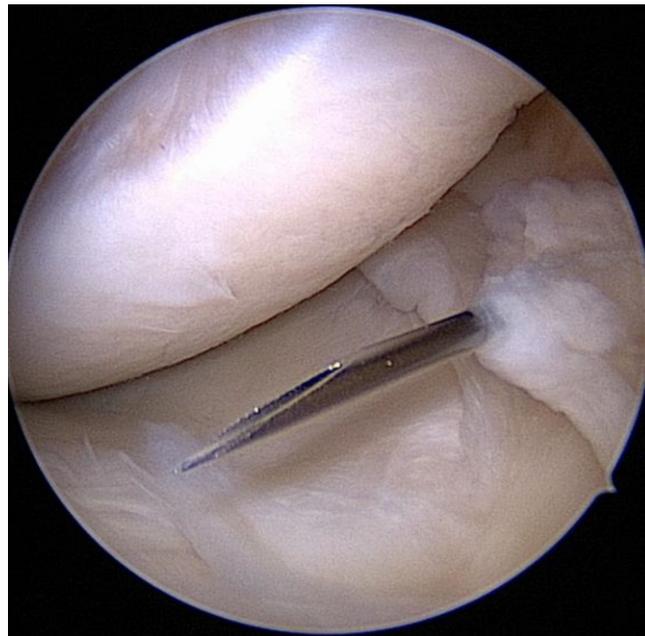


Abb. 2 ◀ Anlage des medialen Bohrportals

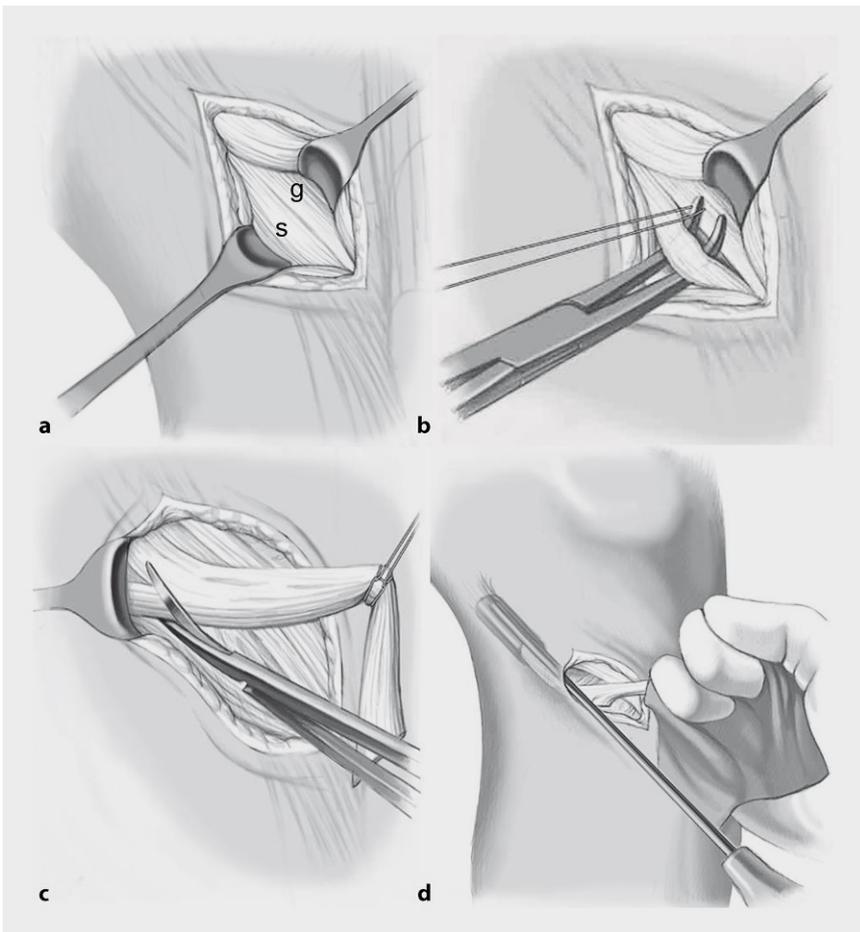


Abb. 3 ▲ Sehnenentnahme. *a* Separierung der Semitendinosussehne (*s*) und Gracilissehne (*g*) nach Inzision der Satoriusfaszie. *b* Unterfahren der Sehne des *M. semitendinosus* wird mit einer Overholt-Klemme, *c* Durchtrennung der Verbindungen (*Pfeil*) der Semitendinosussehne zum *M. gastrocnemius*, *d* Entnahme der Semitendinosussehne mit einem „Sehnen-Stripper“. (Aus [9])

Schritt 2: Anlage des medialen Bohrportals

Das mediale Bohrportal liegt knapp über dem Vorderhorn des Innenmeniskus. Es wird immer in Kanülentechnik angelegt (Abb. 2). Der Zugang sollte nicht zu weit medial liegen, damit der Bohrer nicht den Knorpel des medialen Femurkondylus verletzt. Liegt das Portal hingegen zu weit zentral (parapatellar), kann der Bohrer posterior aus dem Tunnel ausbrechen.

Schritt 3: Sehnenentnahme

Zur Entnahme der Semitendinosussehne wird die Satoriusaponeurose (SA) längs gespalten. Nach Spaltung der Sartoriusfaszie werden die Sehnen der *Mn. semitendinosus* (*S*) und *gracilis* (*G*) sichtbar (Abb. 3a).

Die kaudal gelegene Sehne des *M. semitendinosus* wird mit einer Overholt-Klemme unterfahren und mit einer Fadenschleife umschlungen und am Ansatz im Bereich der Tuberositas tibiae abgelöst (Abb. 3b).

Mit einer Schere werden die Verbindungen (*Pfeil*) der Semitendinosussehne zum *M. gastrocnemius* getrennt. Dabei wird die Sehne an der Fadenschleife gehalten (Abb. 3c).

Zusammenfassung · Abstract

Mit einem „Sehnen-Stripper“ wird die Sehne durch langsames Vorschieben parallel zur Oberschenkelachse entnommen (■ Abb. 3d).

Praktischer Tipp

Ab einer Länge von 26 cm reicht die Semitendinosussehne aus. Bei Bedarf kann die Ansatzsehne des M. gracilis auf gleiche Weise entnommen werden.

Schritt 4: Transplantatpräparation

Die Semitendinosussehne wird zu einem 4-Bündel-Transplantat präpariert. Die Transplantatdurchmesser variieren zwischen 7 und 10 mm. Die femorale Transplantatschlaufe wird mit einem Kippanker verbunden. Hier richtet sich die genaue Technik nach dem verwendeten System (z. B. FlippTack, Karl Storz, Tuttlingen, Deutschland; Endobutton CL, Smith and Nephew, Hertfordshire, UK; Tight rope ACL, Arthrex, Naples, FL, USA usw.). Das Transplantat sollte auf einer Strecke von ca. 15–20 mm im femoralen Kanal verankert werden. Am femoralen Ende sollten Markierungen gesetzt werden, um intraartikulär zu erkennen, wie weit das Transplantat im Tunnel liegt. Distal wird das Transplantat mit Haltefäden armiert. Diese können einer zusätzlichen Fixation über einen Fixationsknopf dienen (■ Abb. 4).

Cave

Die Fäden, mit denen das Transplantat armiert wird, sollten nie mit scharfen Klemmen gehalten werden. Diese schädigen die Fäden.

Praktischer Tipp

Der intraartikuläre Teil der Operation beginnt mit einer diagnostischen Arthroskopie. Dabei werden alle Kompartimente im Hinblick auf Knorpel- und Meniskusschäden inspiziert. Begleitende Meniskusschäden werden entweder refixiert oder teilreseziert.

Knie J. 2019 · 1:57–65 <https://doi.org/10.1007/s43205-019-00010-6>
© Springer Medizin Verlag GmbH 2019

W. Petersen · T. Hees · T. Zantop

Anatomische Kreuzbandrekonstruktion mit der autologen Semitendinosussehne

Zusammenfassung

Ziel der Operation ist es, das vordere Kreuzband (VKB) mit einem autologen Sehnentransplantat zu ersetzen (Semitendinosussehne). Der femorale Tunnel wird über ein tiefes anteromediales Portal unter arthroskopischer Kontrolle gebohrt. Das Knie muss beim Bohren mehr als 110° gebeugt sein. Als Landmarken dienen die Linea intercondylaris und die Knorpel-Knochen-Grenze. Die Position des Tunnels sollte über das mediale Portal kontrolliert werden (medialer Portalblick). An der Tibia

dient das Außenmeniskusvorderhorn als Landmarke. Zur Fixation des Transplantates wird femoral ein Kippanker und tibial eine Interferenzschraube ggf. mit zusätzlichem extrakortikalem Knopf verwendet. Die Nachbehandlung erfolgt in verschiedenen Phasen. Die Progression bis zur Wiederkehr zum Sport sollte kriterienbasiert erfolgen.

Schlüsselwörter

Pivot shift · Fixation · Portalblick · Transtibiale Bohrung · Portalzielgerät

Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with autologous semitendinosus tendon graft

Abstract

The aim of this procedure is to replace the anterior cruciate ligament (ACL) with an autologous tendon graft. Typical autologous graft sources are the hamstring tendon, patellar tendon and quadriceps tendon. The femoral tunnel for the ACL graft is drilled by a deep anteromedial portal under arthroscopic control. For anteromedial portal drilling the knee must be flexed more than 110°. Landmarks are the intercondylar line and the cartilage-bone interface. The position of the guidewire should be controlled by the medial portal (medial portal view). The

anterior horn of the lateral meniscus is used as a landmark on the tibia. For fixation of the graft to the femur a pivoted anchor is used and for the tibia an interference screw, if necessary with extracortical button. The follow-up treatment is divided into different phases. The progression until return to sport should be criteria-based.

Keywords

Pivot shift · Graft fixation · Portal view · Transtibial drilling · Portal aimer

Schritt 5: Femorale Insertion

In ■ Abb. 5 ist der laterale Femurkondylus in der Ansicht von medial dargestellt. Die femorale Insertion des vorderen Kreuzbandes hat eine ovale Form (*rote Fläche*) und befindet sich im hinteren Drittel des lateralen Femurkondylus. Vor der Insertion befindet sich ein Grat (*Pfeil*), der auch als „residents ridge“ bezeichnet wird [5]. Dieser Grat erschwert die Übersicht über die femorale Insertionszone des vorderen Kreuzbandes, wenn sich das Arthroskop im lateralen Standardportal befindet. Eine bessere Übersicht gelingt, wenn das Arthroskop über das mediale Portal in das Gelenk eingebracht wird. Bei fehlenden Kreuzbandfasern kann die Linea intercondylaris und die Knorpel-

Knochen-Grenze der Orientierung dienen.

Exkurs: Mediale Portalbohrtechnik

Grundsätzlich kann der femorale Tunnel entweder über den tibialen Tunnel (*transtibial*) oder über das *mediale Portal* gebohrt werden. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Insertion des VKB über das mediale Portal besser erreicht werden kann als über den tibialen Tunnel. Hier besteht das Risiko für hohe Tunnellagen („High-noon“-Position; [1, 2, 4]). Da der Bohrer mehrfach durch den tibialen Tunnel geführt werden muss, besteht auch das Risiko primärer Tunnelweitungen [4].

Operative Techniken: Standards

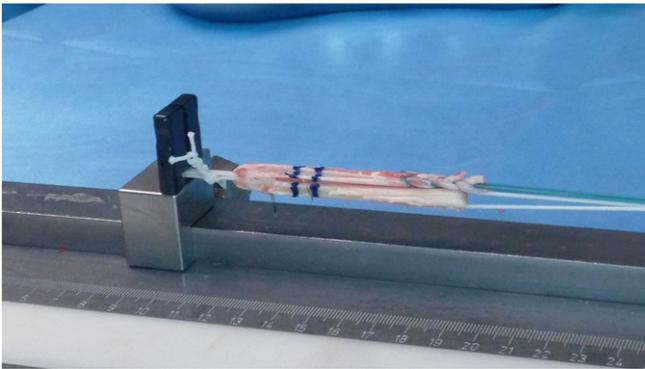


Abb. 4 ▲ Transplantatpräparation

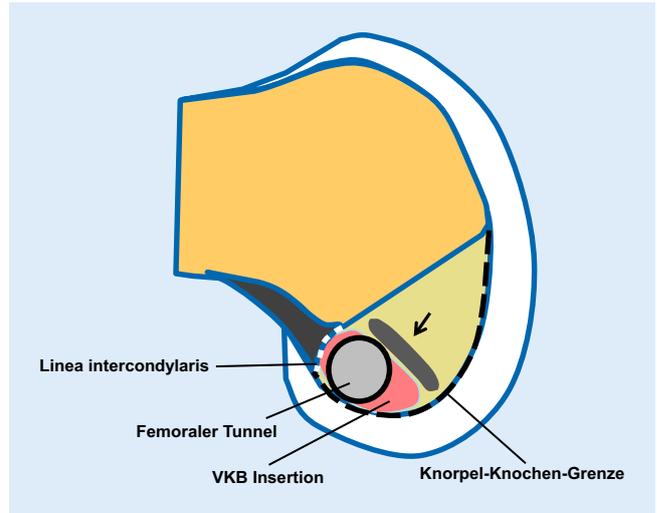


Abb. 5 ▲ Femorale Insertion. VKB vorderes Kreuzband



Abb. 6 ▲ Anlage des femoralen Tunnels

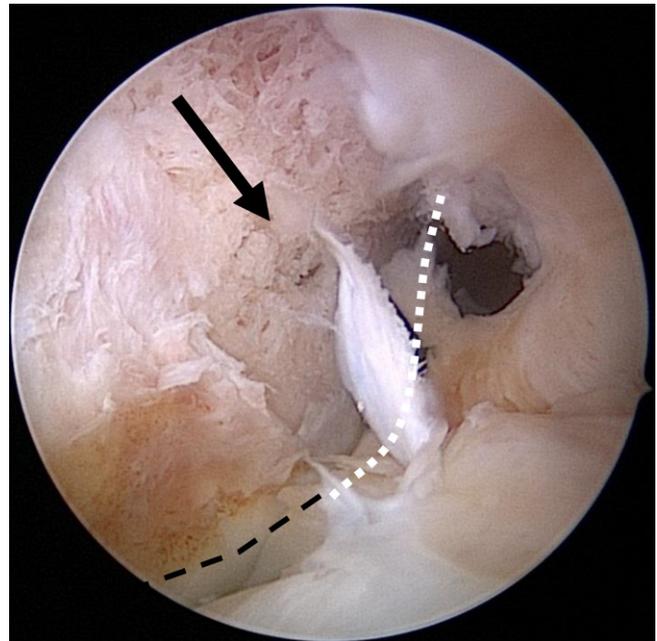


Abb. 7 ▲ Anlage des femoralen Tunnels. Gestrichelte Linie: Knorpel-Knochen-Grenze, gepunktete Linie: Linea intercondylaris, Pfeil: Loch des Zieldrahtes

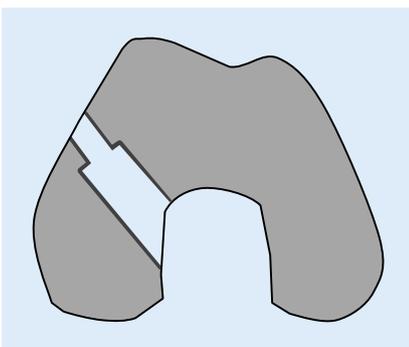


Abb. 8 ▲ Anlage des femoralen Tunnels

Aus diesen Gründen bevorzugen wir die mediale Portalbohrtechnik.

Schritt 6: Anlage des femoralen Tunnels

Das Zielgerät zur Platzierung des Führungsdrahtes für den Bohrer wird über das mediale Portal in das Gelenk eingebracht (z. B. „medial portal aimer“, Karl Storz, Tuttlingen). Der gebogene Haken des Zielgerätes wird hinter der Linea in-

tercondylaris an der Facies poplitea angelegt. Dann wird der Zieldraht (2,4 mm) in das Zentrum der Insertion des vorderen Kreuzbandes gebohrt (Abb. 6). Es sind verschiedene Abstände zwischen Haken und Zieldraht wählbar („off set“).

Praktischer Tipp

Das Kniegelenk muss bei der Anlage des femoralen Tunnels mehr als 110° gebeugt sein.

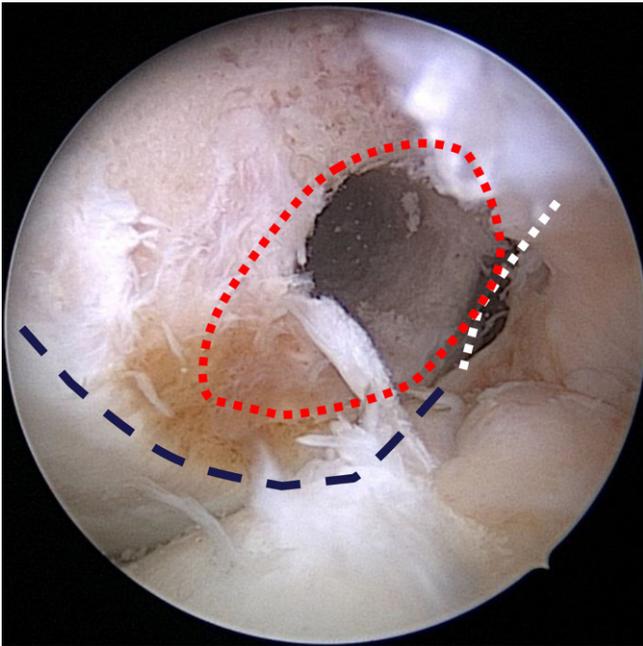


Abb. 9 ◀ Femoraler Tunnel. *Gestrichelte Linie* Knorpel-Knochen-Grenze, *gepunktete Linie* Linea intercondylaris

Praktischer Tipp

Es sollte ein spezielles Portalzielgerät verwendet werden, da sich transtibiale Zielgeräte nicht für die Portalbohrung eignen [3].

Schritt 7: Anlage des femoralen Tunnels

Der Zieldraht wird entfernt und die Position des verbliebenen Loches (▣ **Abb. 7**, *Pfeil*) kontrolliert, indem das Arthroskop über das mediale Portal in das Gelenk geschoben wird (*gestrichelte Linie* Knorpel-Knochen-Grenze, *gepunktete Linie* Linea intercondylaris).

Praktischer Tipp

Das Kniegelenk muss bei der Anlage des femoralen Tunnels mehr als 110° gebeugt sein.

Schritt 8: Anlage des femoralen Tunnels

Der Zieldraht wird wieder vorgebohrt (Kameraposition im anterolateralen Portal) und bikortikal mit dem schmalsten Bohrer (4,5 mm Durchmesser) überbohrt. Anschließend wird die Tunnellänge mit einer speziellen Messlehre gemessen. Die Gesamttunnellänge va-

riiert zwischen 30 und 45 mm. Nach der Bestimmung der Tunnellänge wird der Zieldraht wieder in den Tunnel geschoben und der Tunnel in den distalen 25–30 mm (Sackloch) schrittweise aufgebohrt, bis der Durchmesser des Transplantates erreicht ist. Alternativ kann der Tunnel auch mit Klingendilatatoren dilatiert werden (▣ **Abb. 8**).

Praktischer Tipp

Das Transplantat sollte mindestens 15 mm im femoralen Tunnel verankert sein [8].

Schritt 9: Femoraler Tunnel

Darstellung des femoralen Tunnels über das mediale Portal (▣ **Abb. 9**).

Schritt 10: Tibiale Insertion

Die tibiale Insertion hat eine dreieckige Form (▣ **Abb. 10**, *rote Fläche*;[5]). Sie befindet sich im mittleren Anteil der Area intercondylaris zwischen den Tuberculum intercondylare mediale und laterale. Ihre Ausdehnung ist variabel (ca. 17 mm in der Sagittalebene, ca. 11 mm in der Transversalebene). Das Außenmeniskusvorderhorn dient bei fehlendem Stumpf des vorderen Kreuzbandes als Landmarke für das tibiale Zielgerät.

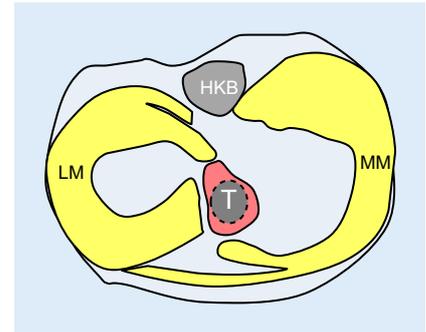


Abb. 10 ▲ Tibiale Insertion. *HKB* hinteres Kreuzband, *LM* lateraler Meniskus, *MM* medialer Meniskus, *T* tibialer Tunnel

Schritt 11: Anlage des tibialen Tunnels

Das Zielgerät wird über das mediale Portal in das Gelenk geschoben und so am Außenmeniskusvorderhorn angelegt, dass der Zieldraht auf Höhe der inneren Meniskusumfangs in der Mitte der Eminentia intercondylaris austritt (▣ **Abb. 11**).

Der Zieldraht wird soweit vorgebohrt, dass die Spitze durch das Loch im Zielbügel tritt. Danach wird der Zieldraht mit einem kanülierten Bohrer überbohrt (6 mm Durchmesser). Der Bohrkopf sollte kurz im Tunnel belassen werden. Wird das Knie gestreckt, kann geprüft werden, ob das Transplantat an der Fossa intercondylaris anstoßen würde („impingement“). In diesem Falle muss entweder die Tunnellage korrigiert werden oder eine „Notchplastik“ durchgeführt werden.

Praktischer Tipp

Zur Anlage des tibialen Tunnels sollte sich das Kniegelenk in ca. 30–40° Beugung befinden. Dann ist die Übersicht über die Eminentia intercondylaris am besten.

Schritt 12: Anlage des tibialen Tunnels (Korrektur der Tunnelposition)

Bei geringgradigen Fehllagen des Zieldrahtes kann die Tunnelposition durch schrittweises exzentrisches Bohren in die gewünschte Richtung korrigiert werden (▣ **Abb. 12**).

Operative Techniken: Standards

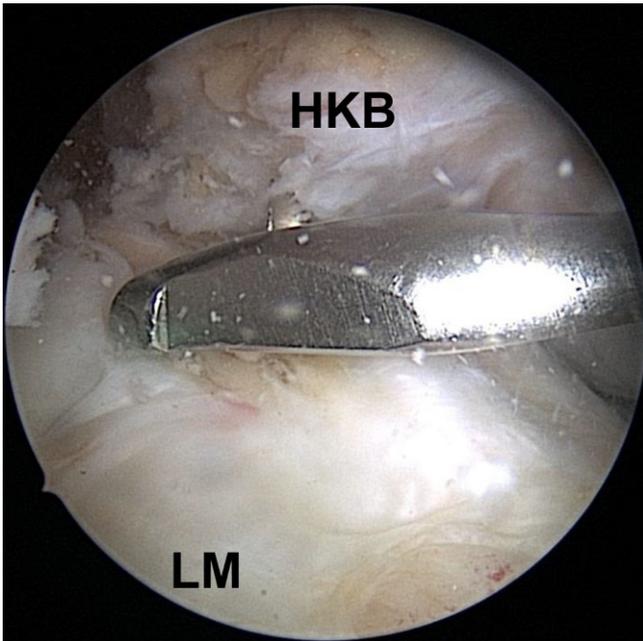


Abb. 11 ◀ Anlage des tibialen Tunnels. *HKB* hinteres Kreuzband, *LM* lateraler Meniskus

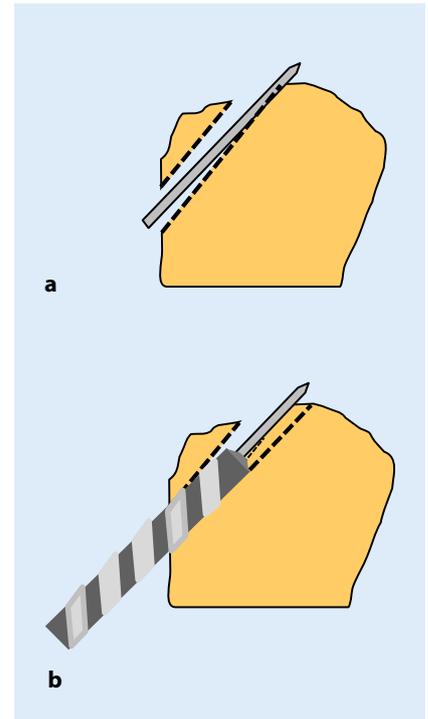


Abb. 12 ▲ Anlage des tibialen Tunnels (Korrektur der Tunnelposition). **a** Exzentrische Position des K-Dahtes im tibialen Tunnel, **b** exzentrisches Überbohren mit einem größeren Bohrer



Abb. 13 ◀ Einzug des Transplantates

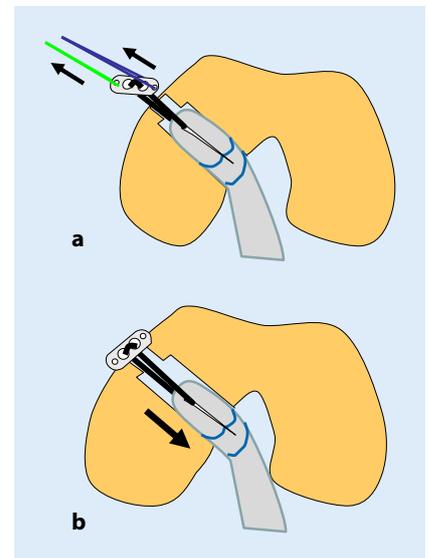


Abb. 14 ▲ Einzug des Transplantates und Fixation. **a** Der Kippanker wird am *grünen* Zugfaden vollständig aus dem Tunnel gezogen und dann durch Zug mit dem *blauen* Faden gekippt. **b** Durch Zug an den Haltefäden des Transplantates wird der Kippanker auf den Knochen gezogen

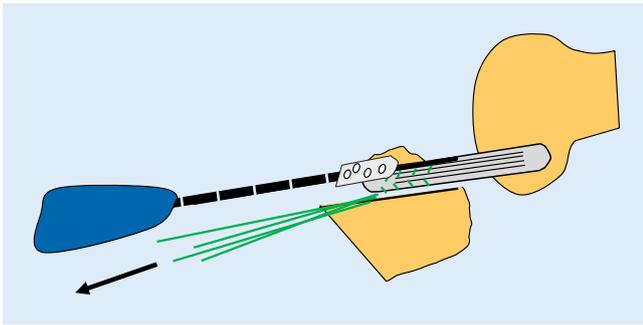


Abb. 15 ◀ Tibiale Fixation

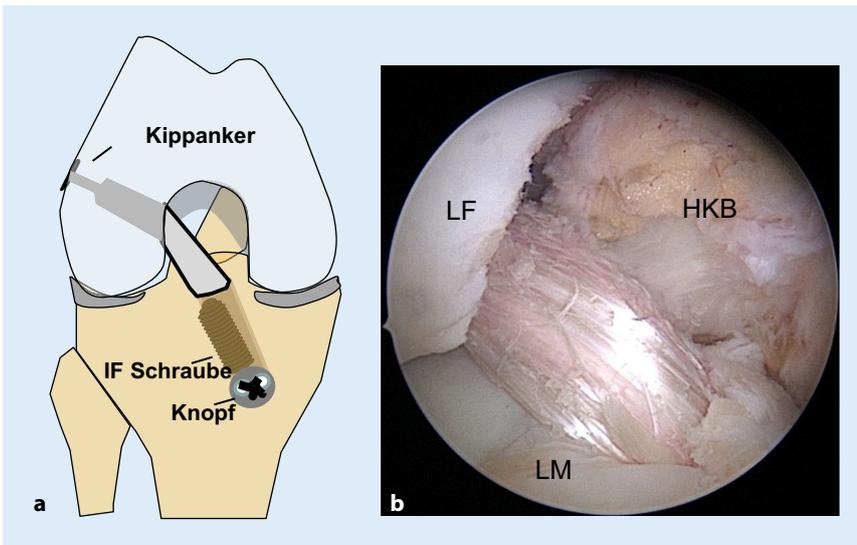


Abb. 16 ▲ a Anatomisches Kreuzbandtransplantat mit femoraler Kippankerfixation und tibialer Hybridfixation. b Arthroskopisches Bild einer VKB (vordere Kreuzband)-Plastik. HKB hinteres Kreuzband, IF Interferenz, LF lateraler Femurkondylus, LM lateraler Meniskus

Praktischer Tipp

Es wird empfohlen, den tibialen Tunnel schrittweise zu bohren, da dann noch leichte Korrekturen der Tunnelendlage möglich sind.

Praktischer Tipp

Bei chronischen Instabilitäten können Osteophyten die Fossa intercondylaris verengen. In diesen Fällen beginnt die Kreuzbandersatzplastik mit einer Osteophytenresektion (Notchplastik). Die Notchplastik kann mit einem scharfen Löffel, einem Rangeur oder einer Kugelfräse durchgeführt werden. Bei größeren Notchosteophyten eignet sich auch ein Meißel zur Abtragung des einengenden Knochens.

Schritt 13: Einzug des Transplantates

Ein K-Draht, an dem eine Fadenschleife fixiert ist, wird über das mediale Portal in den femoralen Tunnel geschoben. Anschließend wird der Faden mit einer Faszange (oder Fadenholer) aus dem tibialen Kanal ausgeleitet. Diese Fadenschleife dient dem Einzug des Transplantates (Abb. 13).

Schritt 14: Einzug des Transplantates und Fixation

Das Transplantat wird an der weißen Zugkordel bis zur zweiten Markierung in den femoralen Tunnel gezogen. Dann wird der Kippanker (z. B. FlipTack, Karl Storz, Tuttlingen) mithilfe des dünneren Kippfadens gekippt. Durch Zug am Transplantat setzt sich der Kippanker auf die Femurkortikalis (Abb. 14). Grund-

sätzlich können bei der beschriebenen Operationstechnik auch andere Fixationssysteme verwandt werden (z. B. Endobutton CL, Smith and Nephew, ACL Tight rope, Arthrex). Hier muss die Operationstechnik entsprechend angepasst werden.

Praktischer Tipp

Das Kniegelenk wird unter starkem Zug am Transplantat mehrfach (mindestens 20-mal) über den vollen Bewegungsumfang bewegt, damit sich der Kippanker setzen kann und das Transplantat gedehnt wird.

Schritt 15: Tibiale Fixation

Das Kniegelenk wird in ca. 15° Beugung gebracht und das Transplantat unter manuellem Zug gespannt. Zum Spannen kann auch ein Tensiometer verwendet werden. Zwischen Transplantat und vorderer Wand des tibialen Tunnels wird ein dünner Nitinoldraht geschoben. Dieser dient der Führung der Interferenzschraube (z. B. Megafix, Karl Storz, Tuttlingen). Diese wird so weit in den Tunnel gedreht, dass sie mit dem distalen Ende des Transplantates abschließt (Abb. 15).

In Abb. 16a ist ein anatomisches Kreuzbandtransplantat mit femoraler Kippankerfixation und tibialer Hybridfixation dargestellt. Bei der Hybridfixation wird das Transplantat nach Eindrehen der Interferenzschraube noch einmal gesichert, indem die distalen Fäden über einen Fixationsknopf gesichert werden.

Cave

Bei Kindern oder Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen sollte auf die tibiale Interferenzschraube verzichtet werden

Postoperative Behandlung

Das Nachbehandlungsschema gliedert sich in 4 bis 5 Phasen. Während der Entzündungsphase (ca. 1. bis 2. Woche) steht die Schmerz- und Ergussprophylaxe im Vordergrund. Der Patient belastet mit 20 kg Teilkörpergewicht. Während der zweiten Phase (ca. 2. bis 6. Woche)

Operative Techniken: Standards

| Fehler, Gefahren | Prävention, Lösung |
|--|--|
| Fehlplatzierung des femoralen und tibialen Tunnels | <ul style="list-style-type: none"> • Portalbohrtechnik • Landmarken (Linea intercondylaris, Knorpel-Knochengrenze; Außenmeniskusvorderhorn) |
| Infektion | <ul style="list-style-type: none"> • Zügiges Arbeiten • Einlegen des Transplantates in Vancomycinlösung (1g Vancomycin) |
| Arthrofibröse | <ul style="list-style-type: none"> • Keine Operation bei präoperativen Beugedefiziten (Flexion <90°) wenn nicht notwendig • Funktionelle Nachbehandlung |
| Verletzung des Knorpels am medialen Femurkondylus beim Bohren des femoralen Tunnels | <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung einer Kanüle zur Simulation des Portals bei Anlage der anteromedialen Bohrportals • Verwendung von Dilatatoren |
| Penetration des Sackloch-Bohrers durch die laterale Kortikalis: Unsichere Kippankerfixation. | <ul style="list-style-type: none"> • Wechsel des femoralen Fixationsverfahren |
| Verkleben des Transplantates beim Einzug | <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung des Transplantatdurchmessers kurz vor dem Einzug und ggf. Erweiterung der Tunnel |
| Abgebrochene Instrumente im Gelenk | <ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle der Instrumente durch den Instrumenteur • Bergung der abgebrochenen Instrumente (ggf. Reduktion der Flüssigkeitszufuhr) |
| Schädigung der Blutsperre durch die Zieldrähte | <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Anlage der Blutsperre am Oberschenkel |

Abb. 17 ▲ Fehler, Gefahren, Komplikationen

kann die Belastung und Beweglichkeit langsam gesteigert werden. Während der dritten Phase (ab. 6. Woche) stehen dann Kraftaufbau und Koordinationsübungen im Vordergrund. Phase 4 ist durch sportartspezifisches Training gekennzeichnet. Phase 5 entspricht dem Beginn des eingeschränkten Mannschaftstrainings. Die Progression von einer Phase zur anderen sollte kriterienbasiert erfolgen.

Die Fehler, Gefahren, Komplikationen der Operationstechnik sowie deren Prävention bzw. Lösung sind in **Abb. 17** zu finden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Wolf Petersen
 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
 Martin Luther Krankenhaus Berlin-Grunewald
 Caspar Theyß Straße 27–31, 14193 Berlin,
 Deutschland
 wolf.petersen@pgdiakonie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. W. Petersen und T. Zantop weisen auf folgende Beziehung hin: W. Petersen und T. Zantop erhalten Beraterhonorare der Firma Karl Storz. W. Petersen erhält Beraterhonorare der Firma Ottobock und Vortragshonorare der Firmen Plasma-concept und AAP Implantate. T. Hees gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Bedi A, Altchek DW (2009) The "footprint" anterior cruciate ligament technique: an anatomic approach to anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 25(10):1128–1138
2. Bedi A, Musahl V, Steuber V, Kendoff D, Choi D, Allen AA, Pearle AD, Altchek DW (2011) Transtibial versus anteromedial portal reaming in anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic and biomechanical evaluation of surgical technique. *Arthroscopy* 27(3):380–390
3. Behrendt S, Richter J (2010) Anterior cruciate ligament reconstruction: drilling a femoral

posterolateral tunnel cannot be accomplished using an over-the-top step-off drill guide. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18(9):1252–1256

4. Chhabra A, Kline AJ, Nilles KM, Harner CD (2006) Tunnel expansion after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous hamstrings: a comparison of the medial portal and transtibial techniques. *Arthroscopy* 22(10):1107–1112
5. Petersen W, Zantop T (2007) Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454:35–47
6. Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzloff S, Zantop T (2013) Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament in single bundle technique. *Oper Orthop Traumatol* 25(2):185–204
7. Sadoghi P, Kröpl A, Jansson V, Müller PE, Pietschmann MF, Fischmeister MF (2011) Impact of tibial and femoral tunnel position on clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 27(3):355–364
8. Zantop T, Ferretti M, Bell KM, Brucker PU, Gilbertson L, Fu FH (2008) Effect of tunnel-graft length on the biomechanics of anterior cruciate ligament-reconstructed knees: intra-articular study in a goat model. *Am J Sports Med* 36(11):2158–2166
9. Petersen W, Zantop T (2010) Die arthroskopische Ersatzplastik des anterolateralen Bündels des hinteren Kreuzbandes in Einzelbündeltechnik mit autologer Semitendinosus-/Grazilissehne. *Oper Orthop Traumatol* 22:354–372

3 Pathologien und Operationstechniken

3.1 Meniskusverletzungen

Wolf Petersen

3.1.1 Physiologische Grundlagen

Die Menisken bedecken als transportable Gelenkflächen nahezu 70% des Tibiaplateaus. Sie gleichen die Inkongruenz von Femur und Tibia aus und tragen zur gleichmäßigen Verteilung des Gelenkdrucks bei [14], [16]. Zerlegt man den auf die Meniskusoberfläche wirkenden Gelenkdruck in Normalkräfte, ergibt das eine Radiärkraft [16]. Dieser radiären Verschiebung kann ein unverletzter Meniskus jedoch nicht nachgeben, da er im Bereich von Vorder- und Hinterhorn am Tibiaplateau fixiert ist (► Abb. 3.1). Auf diese Weise entstehen im Meniskus zirkuläre Ringspannungen, und der im Tibiofemoralgelenk wirkende Gelenkdruck wird reduziert. Durch den Verlust der Menisken erhöhen sich die im Tibiofemoralgelenk übertragenen Druckkräfte deutlich [16], [18].

Eine weitere Funktion der Menisken liegt in der Stabilisierung des Kniegelenks. Der mediale Meniskus ist über das Lig. coronarium und das hintere Schrägband mit Femur und Tibia verbunden. Am Außenmeniskushinterhorn bestehen über die meniskofemorale Ligamente Verbindungen zum Femur. Über diese Verbindungen können die Meniskushinterhörner im Sinne eines Hemmschuhs als sekundärer Stabilisator gegen die anteriore und posteriore tibiale Translation wirken.

Aufgrund ihrer biomechanischen Bedeutung kann bei Meniskusverlust eine posttraumatische Gonarthrose entstehen [7], [10], [21]. Aus diesem Grund gilt in der Meniskuschirurgie heute der Grundsatz, so viel Gewebe wie möglich zu erhalten. Da die Menisken im äußeren Drittel vaskularisiert sind, können Läsionen in diesem Bereich durch Nähte zur Ausheilung gebracht werden (► Abb. 3.2).

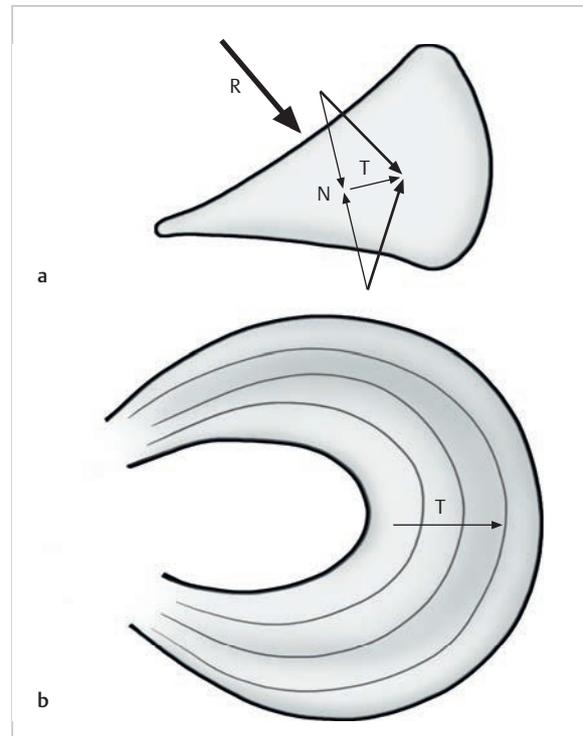


Abb. 3.1 Auf den unverletzten Meniskus wirkende Kräfte.

- a Werden die senkrecht auf die Meniskusoberfläche wirkenden Gelenkkräfte in Normalkräfte zerlegt, ergibt das eine radiär ausgerichtete Kraft, die den Meniskus nach außen drückt.
- b Dieser Radiärverschiebung kann der Meniskus jedoch nicht nachgeben, da er im Bereich der Insertionen am Tibiaplateau befestigt ist. Auf diese Weise entstehen zirkuläre Ringspannungen. Die auf den Meniskus wirkenden Druckkräfte werden also in zirkuläre Ringspannungen umgewandelt.

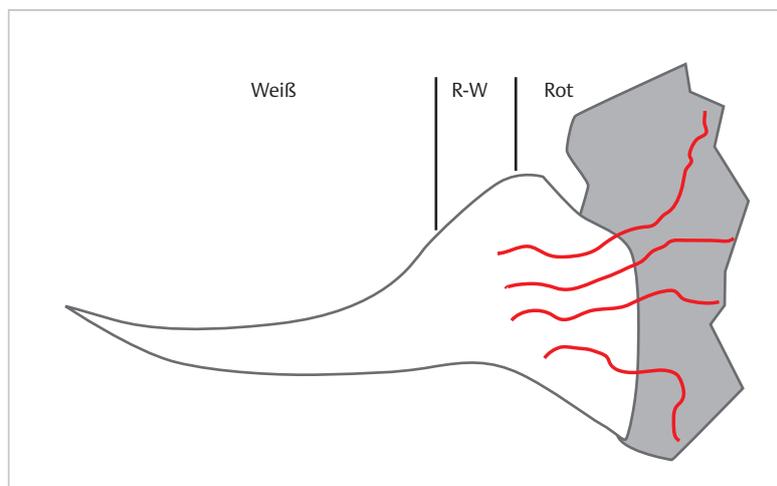


Abb. 3.2 Blutgefäßversorgung der Menisken. Die Blutgefäße dringen von der Gelenkkapsel in den Meniskus. Der innere Anteil der Menisken ist avaskulär (weiße Zone). In der äußeren Zirkumferenz sind die Menisken vaskularisiert (rote Zone). Die Übergangszonen werden als rot-weiße Zone bezeichnet.

3.1.2 Pathogenese

Meniskusläsionen können in nichttraumatische Läsionen und traumatische Läsionen unterteilt werden. Diese Unterscheidung hat einerseits therapeutische, andererseits aber auch rechtliche Relevanz.

Nichttraumatische Läsionen

Nichttraumatische Läsionen sind oft das erste Zeichen einer unikompartimentellen Gonarthrose [6]. Sie entstehen meist in der 4. und 5. Lebensdekade [6]. Durch das erhöhte Adduktionsmoment bei Genu varum kommt es zuerst zu einer erhöhten Belastung des peripher gelegenen Meniskusgewebes. Dies kann degenerative Veränderungen des Meniskusgewebes nach sich ziehen, die in der MRT oft frühzeitig als horizontale Signalalteration erkennbar sind. Aufgrund der reduzierten mechanischen Gewebeeigenschaften können bereits Bagatelltraumata zu Meniskusschäden führen. Zu diesen Bagatelltraumata zählen schon leichte Rotationsbewegungen mit fixiertem Fuß bei Tätigkeiten des alltäglichen Lebens.

Nichttraumatische Meniskusläsionen können aber auch als Folge symptomatischer chronischer Instabilitäten auftreten. Bei chronischer vorderer Instabilität kommt es zur anterioren Subluxation des Tibiaplateaus. Dadurch werden verstärkt die Meniskushinterhörner belastet. Die Innen- oder Außenmeniskushinterhornläsion ist eine typische Folge symptomatischer vorderer Instabilitäten. Oft kommen auch Kombinationen beider Mechanismen vor. Das betrifft besonders die Doppelvarussituation (Kombination aus ossärem und ligamentärem Varus).

Je nach Ausmaß und Rissform kann eine nichttraumatische Meniskusläsion die Progression der Gonarthrose jedoch auch beschleunigen. Dies betrifft besonders radiäre Rupturen oder Wurzelläsionen, bei denen es zu einem Verlust der zirkulären Ringspannungen kommt (► Abb. 3.4). Ein radiologisches Zeichen für diese Läsionen ist die Extrusion. Aber auch ausgedehnte Meniskusresektionen können die Progredienz der Gonarthrose fördern.

Nichttraumatische Meniskusläsionen können auch bei Anomalien der Menisken auftreten. Eine typische Anomalie ist der laterale Scheibenmeniskus. In diesen Fällen können sich nichttraumatische Meniskusläsionen auch bei Kindern und Jugendlichen manifestieren.

Traumatische Meniskusläsionen

Traumatische Meniskusläsionen können bei Knie-traumata entstehen, bei denen es auch zu Bandläsionen kommt. Eine häufige Kombination ist die Ruptur des vorderen Kreuzbands mit einer Ruptur des medialen oder des lateralen Meniskus. Typisch für diese Kombination sind Nicht-Kontakt-Traumata, bei denen es zu einem valgischen Kollaps des Kniegelenks kommt. Diese Verletzungen

können durch spezielle Aufwärmprogramme verhindert werden [20].

Traumatische Meniskusläsionen können aber auch bei Hochrasanztraumata entstehen. Hier kommt es dann meist zu einer Knieluxation. Traumatische Meniskusläsionen können in seltenen Fällen auch ohne begleitende Bandläsion entstehen. In diesen Fällen liegen aber oft La- xitäten vor, die entsprechende Translationen der Gelenkpartner erlauben.

3.1.3 Diagnostik

Diagnostiziert wird eine Meniskusläsion durch die Anamnese (traumatisch, nicht traumatisch), durch die klinische Untersuchung (Meniskuszeichen: z. B. Steinmann I und II) und die MRT. Die MRT hat eine sehr hohe Sensitivität im Hinblick auf die Diagnose von Meniskusläsionen.

3.1.4 Klassifikation

Meniskusläsionen können aufgrund der Rissform klassifiziert werden. Es werden Horizontalrisse, Radiärrisse, Längsrisse, Lappenrisse und Wurzelläsionen unterschieden (► Abb. 3.3). Die verschiedenen Rissformen können auch kombiniert vorkommen. Dann spricht man von

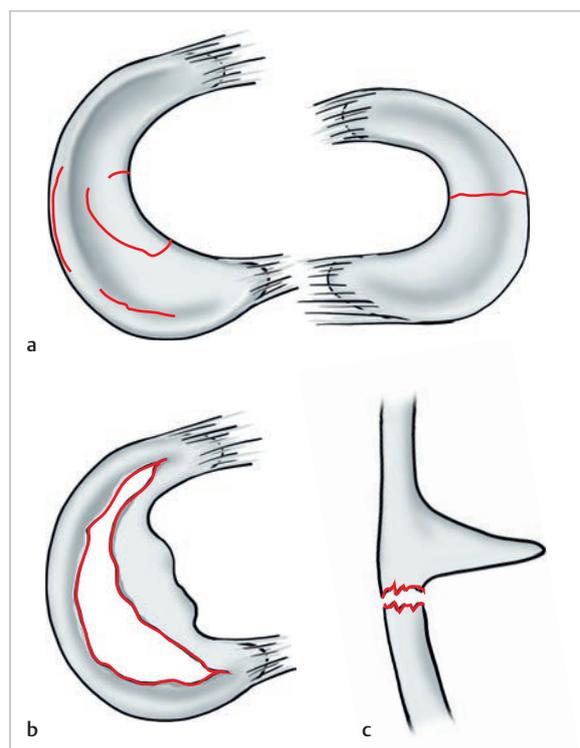


Abb. 3.3 Klassifikation von Meniskusläsionen. Darstellung der verschiedenen Rissformen.

- a Längsrisse, Radiärrisse, Lappenrisse.
- b Korbhenkelriss.
- c Rampenläsion.

einer komplexen Läsion. Die Einteilung und Unterscheidung der verschiedenen Risstypen kann prognostische und therapeutische Relevanz haben.

Horizontalriss

Horizontalrisse sind meist nichttraumatische Läsionen, die oft auch asymptomatisch sind. Treten Symptome (z. B. belastungsabhängiger Schmerz am medialen Gelenkspalt) auf, müssen diese von denen der Gonarthrose abgegrenzt werden.

Eindeutig sind Symptome auf die Horizontalläsion zurückzuführen, wenn ein begleitendes Meniskusganglion vorliegt. Meniskusganglien entstehen oft in Kombination mit Horizontalläsionen. Pathogenetisch liegt diesen Ganglien meist ein Ventilmechanismus zugrunde, bei dem Synovia in die Peripherie gedrückt wird und sich im Ganglion ansammelt. Ganglien können aber auch durch die Verlagerung von degenerativ verändertem Meniskusgewebe in die Peripherie entstehen.

Längsriss

Längsrisse werden häufig im Rahmen traumatischer Läsionen beobachtet. Sie entstehen oft im peripheren Drittel der Menisken. Eine Sonderform des Längsrisses ist die Korbhenkelläsion, bei der das innere Meniskusfragment in die Fossa intercondylaris luxieren kann und auf diese Weise Einklemmungssymptome (Bewegungseinschränkung) induzieren kann. Längsrisse eignen sich oft zur Reflexion, da sie oft in der vaskularisierten Peripherie lokalisiert sind und da sie parallel zu den zirkulären Ringspannungen verlaufen.

Radiärriss

Radiärrisse können traumatisch und nichttraumatisch bedingt sein. Komplette Radiärrisse haben eine ungünstige Prognose, da das zirkuläre Ringsystem unterbrochen wird. Die Folge ist eine erhöhte Druckbelastung des Tibiaplateaus. Die Prognose inkompletter Radiärläsionen ist günstiger. Aber auch diese Läsionen können Symptome verursachen, da die Meniskusfragmente einklemmen können. Auch eine Progredienz in Richtung kompletter Radiärläsion oder in Richtung Lappenriss ist möglich.

Lappenriss

Bei Lappenrissen handelt es sich um eine Kombination aus Radiär- und Längsriss. Diese Rissform ist häufig symptomatisch, da das lappenartig abgerissene Meniskusfragment im Gelenkspalt einklemmen kann [9]. Auch Lappenrisse können traumatisch und nichttraumatisch bedingt sein.

Wurzelläsion

Zu den Radiärrissen gehören auch die sog. Wurzelläsionen (► Abb. 3.4). Die Bedeutung dieser Avulsionsverletzungen im Bereich der Insertionszonen von Vorder- und Hinterhorn ist erst in den letzten Jahren erkannt worden.

Der biomechanische Effekt einer Wurzelläsion am medialen Meniskus ist einer kompletten Meniskektomie vergleichbar [18]. Aufgrund der deutlichen Druckerhöhung wird die mediale Wurzelläsion als Ursache für die Entstehung medialer Osteonekrosen gesehen [18]. Am lateralen Meniskus ist dieser Effekt geringer, da die Ringspannungen vom Lig. meniscofemorale posterior aufgenommen werden. Das laterale Meniskushinterhorn spielt jedoch eine wichtige Rolle für die das Kniegelenk stabilisierende Funktion des Meniskus.

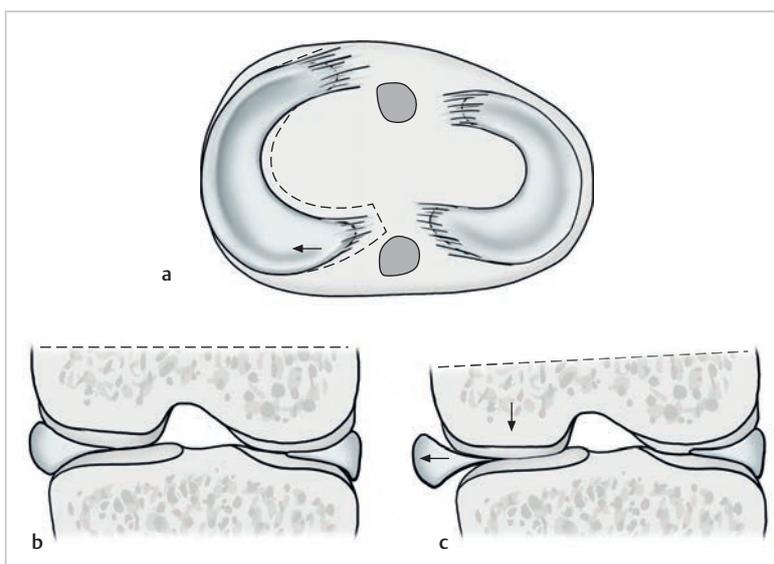


Abb. 3.4 Root Tear. Wurzelläsion eines Meniskus.

- a** Eine Wurzelläsion ist ein radiärer Meniskusriss mit einem Abstand von nicht mehr als 5 mm von der tibialen Insertion. Dadurch wird der Meniskus nach außen gedrückt und es kommt zur Extrusion (Pfeil).
- b** Position des Meniskus ohne Wurzelläsion, da der Meniskus der Radiärvorschiebung nicht nachgeben kann.
- c** Extrusion bei Wurzelläsion.

3.1.5 Therapie

Gerade bei der Therapie von Meniskusläsionen gilt der Grundsatz, dass möglichst viel funktionierendes Meniskusgewebe erhalten bleiben sollte.

Konservative Therapie

Bei nichttraumatischen Läsionen kann immer ein konservativer Therapieversuch gerechtfertigt sein, wenn die Beschwerden des Patienten das zulassen. Verschiedene randomisierte Studien haben gezeigt, dass sich die Beschwerden bei nichttraumatischen Meniskusläsionen unter konservativer Therapie besserten [19]. Die konservative Therapie bestand in diesen Studien aus physiotherapeutischen Übungen unter Anleitung oder in Eigenregie. Reines Abwarten mit temporärer NSAR-Medikation wurde bisher nicht untersucht. Dieses Vorgehen ist aber wahrscheinlich ähnlich effektiv.

Bessern sich die Beschwerden innerhalb der ersten sechs Monate der konservativen Therapie nicht, ist eine weitere Besserung nicht zu erwarten [9], [12]. Das ist bei ca. 30% der Patienten der Fall [19]. Die Rissmorphologie ist ein wichtiger prognostischer Faktor, um zu entscheiden, welcher Patient eher für eine konservative oder eine operative Therapie in Frage kommt. Horizontalläsionen eignen sich gut für ein konservatives Vorgehen. Lappenrisse sind dagegen weniger geeignet [9]. Hier besteht ein hohes Risiko, dass sich die Beschwerden ohne Operation nicht bessern [9].

Teilresektion

Die Meniskusteilresektion ist wahrscheinlich die am häufigsten durchgeführte orthopädische Operation. Sie kommt vor allem für symptomatische nichttraumatische Läsionen in Frage [19]. Insbesondere Lappenrisse eignen sich gut für eine partielle Meniskektomie. Auch bei begleitenden Arthrosezeichen bis zum Grad III nach Kellgren und Lawrence kann dieser Eingriff erfolgreich sein [12]. Bei Vorliegen einer viertgradigen Gonarthrose ist der Erfolg einer arthroskopischen partiellen Meniskusentfernung kritisch zu sehen.

Bei Hochleistungssportlern kann gelegentlich auch bei instabilen Längsrisen, die sich für eine Refixation eignen, an eine Teilresektion gedacht werden, da die Nachbehandlung nach einer Teilresektion wesentlich weniger aufwendig ist als nach einer Refixation, und der Sportler dann nicht so lange aussetzen muss. In diesem Fall muss

der Athlet aber genau über die Nachteile dieses Vorgehens aufgeklärt werden.

Grundsätzlich gilt für das operative Vorgehen, dass nur so viel Meniskusgewebe abgetragen werden muss, wie nötig [16]. Das bedeutet, dass nur die instabilen Anteile entfernt werden sollen [16]. Wenn möglich, sollte im Bereich der äußeren Zirkumferenz eine Randleiste bestehen bleiben. Dann kann der Meniskus weiterhin seine Ringspannungen aufbauen und die nicht veränderten Anteile der Menisken können ihre Funktion hinsichtlich der Umwandlung der Normalkräfte weiter wahrnehmen.

Die Meniskusteilresektion gliedert sich grundsätzlich in folgende operative Schritte (► Abb. 3.5):

1. Tasthakenprobe
2. mechanische Zerkleinerung der störenden Meniskusfragmente mit der Korbsschere
3. Entfernung abgetrennter Meniskusfragmente mit der Faszange oder Spülkanüle
4. Glättung der verbliebenen Meniskusränder mit dem Synovialresektor oder dem Meniskusresektor
5. abschließende Tasthakenprobe

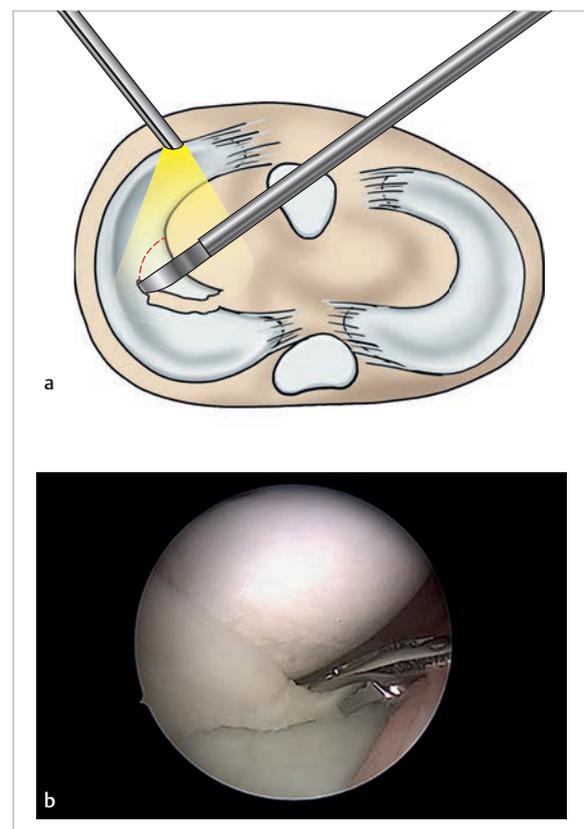


Abb. 3.5 Teilresektion.

- a Schematische Darstellung einer partiellen Meniskektomie bei Lappenriss.
- b Die Verbindung vom Lappenfragment zur Meniskusbasis kann mit der Korbsschere durchtrennt werden.

Refixation

Mit einer Meniskusrefixation kann das Meniskusgewebe weitgehend erhalten werden [3], [4], [5], [17], [23], [24], [25]. Da die Rerupturrate zwischen 10 und 20% liegt und die Nachbehandlung aufwendig ist, sollte die Indikation zur Refixation jedoch nicht unkritisch gestellt werden [5], [21]. Klinische Studien haben gezeigt, dass durch erfolgreiche Meniskusnähte gute klinische Ergebnisse erzielt und degenerative Veränderungen des Gelenks verhindert werden können [21].

Indikation

Bei der Entscheidung, ob eine Refixation durchgeführt wird, sollten immer verschiedene Faktoren gegeneinander abgewogen werden. Diese sind folgende:

- Topografische Beziehung zum Blutgefäßsystem, welches für die Heilung von Gewebeläsionen eine wichtige Rolle spielt [1], [15]. Daher sollten Meniskusrefixationen bevorzugt bei peripheren Läsionen in der roten und in der rot-weißen Zone durchgeführt werden (► Abb. 3.2).
- Ätiologie: Frische traumatische Rupturen eignen sich besser für eine Refixation als degenerative Rupturen, die ohne adäquates Trauma entstanden sind.
- Rissform: Da die Menisken unter Last zirkulär auf Zug beansprucht werden, eignen sich Längsrisse gut zur Refixation. Die Naht eines Radiärrisses wird durch die zirkulären Ringspannungen hingegen stark beansprucht. Es gibt im Schrifttum jedoch auch Mitteilungen über positive Verläufe nach der Naht von Radiärrissen, so dass bei jungen Patienten auch bei einem Radiärriss die Indikation zur Refixation gestellt werden kann [23]. Bei älteren Korbhenkelläsionen muss immer überprüft werden, ob das dislozierte Fragment reponierbar ist. Ist es nicht reponierbar oder luxiert es sofort wieder, sollte es reseziert werden.
- Lebensalter: Bei jüngeren Patienten sollte die Indikation zur Meniskusrefixation großzügiger als bei älteren Patienten gestellt werden. Zum einen sind die Heilungseigenschaften bei jüngeren Patienten besser, zum anderen sind die Folgen einer Meniskusteilentfernung bei älteren Patienten aufgrund der langjährigen Manifestationszeit einer sekundären Arthrose weniger von Nachteil.
- Stabilität des rupturierten Fragments.
- Zeitlicher Abstand zum Trauma: Es ist anzunehmen, dass das Heilungspotenzial bei frischer Läsion besser als bei chronischer ist. Ist das abgerissene Fragment jedoch reponierbar, streben wir auch bei älteren Läsionen eine Refixation an, wenn andere Kriterien dafürsprechen.
- Ansprüche des Patienten (Leistungssportler): Die postoperative Morbidität nach Meniskusteilresektion ist gering, und die Patienten erholen sich schnell von diesem arthroskopischen Eingriff. Nach einer Meniskusrefixation ist die Nachbehandlung aufwendiger. Das gilt besonders für die Behandlung von Leistungssportlern, bei de-

nen der lange Trainingsausfall nach Meniskusrefixation mitberücksichtigt werden muss. Aber auch berufliche Ansprüche sollten hier beachtet werden.

Merke



Der Patient ist vor der Operation realistisch über die Nachbehandlung aufzuklären. Seine Wünsche und Bedürfnisse sind bei der Therapieentscheidung mit zu berücksichtigen.

Management bei begleitender vorderer Instabilität: ein- oder zweizeitige VKB-Rekonstruktion?

Ein wesentlicher Faktor für den Erfolg einer Meniskusrefixation ist die Stabilität des Kniegelenks [7], [8]. Bei gleichzeitiger Durchführung einer Kreuzbandersatzplastik ist die Heilungsrate am höchsten. Das kann an den aus dem Knochen freigesetzten Wachstumsfaktoren liegen. Hohe Rerupturraten werden bei instabilen Kniegelenken beobachtet. Aus diesem Grunde sollte ein instabiles Kniegelenk nach Durchführung einer Meniskusrefixation ein- oder zweizeitig stabilisiert werden [4], [5]. Nachteilig ist am zweizeitigen Vorgehen die Notwendigkeit eines zweiten Eingriffs, die Verlängerung der Rehabilitationszeit und der schlechte Zustand der Muskulatur zum Zeitpunkt der VKB-Rekonstruktion.

Bei einer einzeitigen Versorgung muss das Arthrofibrosierisiko sorgfältig und individuell abgewogen werden. Vorteil des einzeitigen Vorgehens ist, dass die Heilungsrate der Meniskuläsion durch die gleichzeitig durchgeführte VKB-Rekonstruktion weiter gesteigert werden kann. Offenbar führen die durch die Eröffnung des Knochens in das Gelenk gespülten Wachstumsfaktoren zu einer Heilungsstimulation.

Bei starker Schwellung, Bewegungseinschränkung und Muskelatrophie wird aufgrund des Arthrofibrosierisikos ein zweizeitiges Vorgehen bevorzugt. Ist das Kniegelenk weitgehend reizfrei, wird bei guter Beweglichkeit ein einzeitiges Vorgehen angestrebt. Das gilt besonders für Meniskuläsionen, die aufgrund eines „Giving-Way“-Phänomens entstanden sind. In diesen Fällen handelt es sich oft um bisher unbemerkte VKB-Rupturen. Diese Fälle gehen nur mit geringer oder mäßiger Reizung des Gelenks einher.

OP-Technik

Längsrisse

Bei Längsrissen werden verschiedene Refixationstechniken unterschieden. Die Bezeichnung dieser Techniken richtet sich danach, wie der Faden durch den Meniskus geschoben wird: „outside in“, „inside out“ und „all inside“ (► Abb. 3.6, ► Abb. 3.7). Welche Technik verwendet wird, richtet sich nach der Lokalisation des Meniskusrisses. So

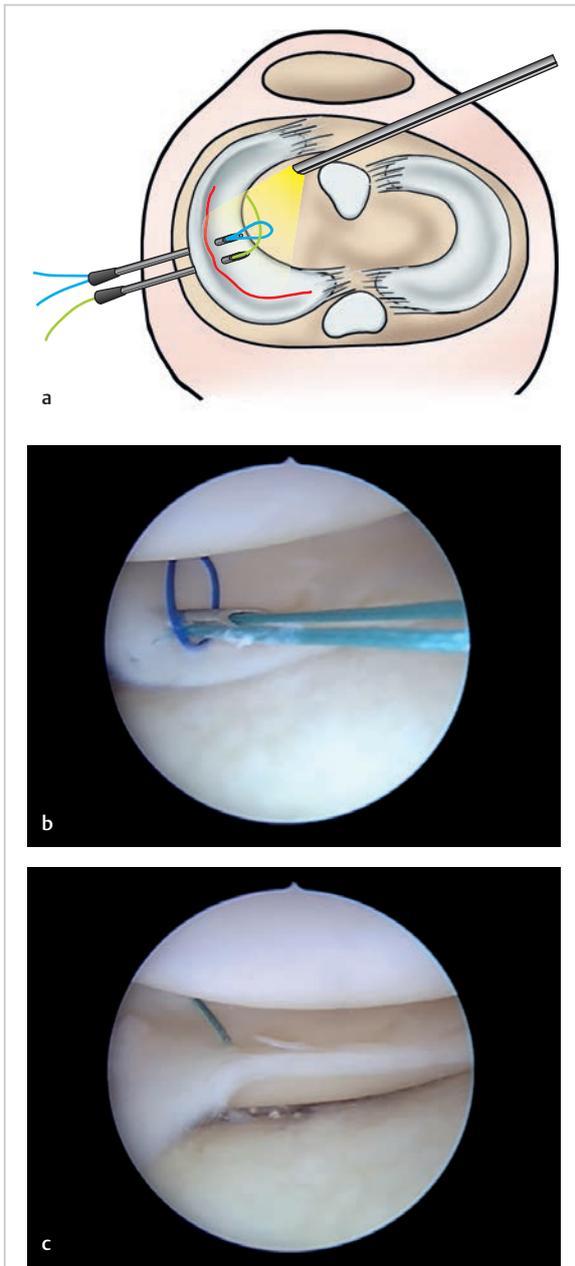


Abb. 3.6 OP-Technik bei Längsrissen.
a Schematische Darstellung der Refixation einer Korbhenkel-läsion am Innenmeniskus durch „Outside-in“-Naht.
b Penetration beider Fragmente mit Kanülen, in die ein Nahtfaden (z. B. 2-0 Fiber Wire) und eine monofile Fadenschleife gelegt wurden. Der Nahtfaden wird durch die Fadenschleife gezogen und diese zurückgezogen. Ausleiten des Nahtfadens im Bereich der Meniskusbasis.
c Knoten an der Meniskusbasis.

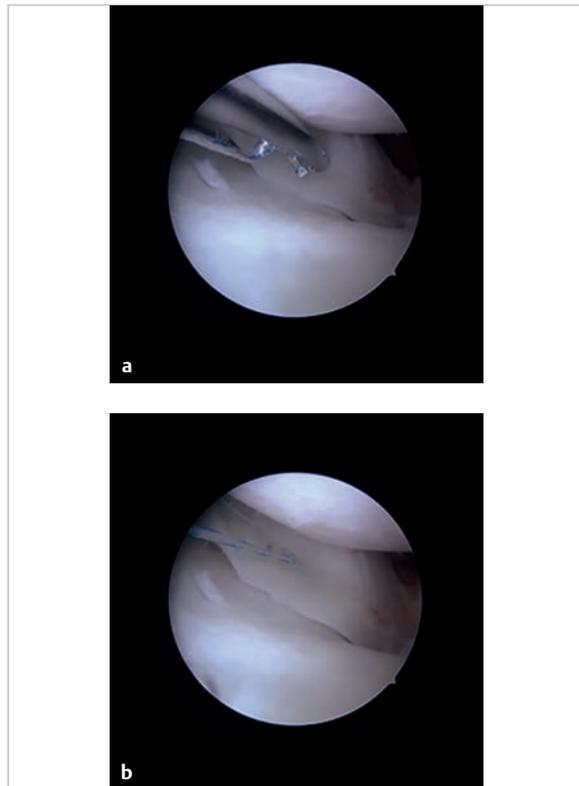


Abb. 3.7 OP-Technik bei Längsrissen. Arthroskopische Darstellung einer All-inside-Naht (Fast Fix) der Firma Smith and Nephew.

- a** Platzierung des Gerätes auf dem inneren Meniskusfragment und Penetration des Meniskus, bis die Nadelspitze in der Kapsel liegt. Durch Zurückziehen der Nadel verkippt der erste Anker. Die Nadel wird zurückgezogen und der zweite Anker vorgeschoben. Zweite Penetration in horizontaler Richtung im inneren Meniskusfragment.
- b** Schließen des vorgelegten Rutschknotens.

eignen sich Vorderhornläsionen nur für die „Outside-in“-Technik. Läsionen im Bereich der Pars intermedia können mit der „Outside-in-“ oder der „Inside-out“-Technik versorgt werden. Aufgrund der Gefäße und Nerven der Fossa poplitea eignen sich „All-inside“-Techniken besonders zur Versorgung von Hinterhornläsionen. Bei Wurzelläsionen kommen außerdem transossäre Nahttechniken zur Anwendung (► Abb. 3.8).

Ist die Entscheidung zur Meniskusrefixation gefallen, müssen zunächst die Meniskusbasis sowie das abgerissene Fragment angefrischt werden. Bei Läsionen in der Übergangszone (rot-weiße Zone) oder bei älteren Läsionen sollte die Heilungsreaktion noch durch weitere Maßnahmen stimuliert werden (Sticheln, suprameniskale Synovialektomie, Einbringen eines Fibringerinnsels oder PRP). In die Fossa intercondylaris luxierte Korbhenkelfragmente werden dann reponiert und mit einer Naht am peripheren Fragment oder der Gelenkkapsel fixiert.

Zur „**Outside-in**“-Naht sind keine speziellen Instrumente notwendig (► Abb. 3.6). Es reichen zwei Kanülen und zwei Fäden, die in jedem Operationssaal vorhanden sein sollten. Aus diesem Grund sollte die „**Outside-in**“-Technik von jedem Arthroskopeur beherrscht werden. Sie eignet sich besonders im Bereich der Pars intermedia und im Vorderhorn von Innen- und Außenmeniskus.

Für eine „**Inside-out**“-Naht sind spezielle Nahtinstrumente erforderlich. Diese Technik eignet sich besonders für die Pars intermedia. Es werden jedoch – insbesondere lateral - offene Zugänge zum Ausleiten des Nahtinstruments empfohlen, da das Risiko von Nervenverletzungen besteht (lateral: N. peroneus, medial: N. saphenus). Die „**Inside-out**“-Naht eignet sich besonders für die Fixation von Meniskusimplantaten (z.B. Kollagenmeniskus) und Transplantaten, da diese bei einer „**Outside-in**“-Naht durch die Kanüle in das Gelenk gedrückt werden.

„**All-inside**“-Nähte eignen sich besonders für die Refixation von Hinterhornläsionen, da bei anderen Nahttechniken in diesem Bereich das Risiko von Gefäß- und Nervenläsionen erhöht ist (► Abb. 3.7).

Mit **Fadenankersystemen** ist eine zeitsparende und sichere Versorgung von Hinterhornläsionen möglich. Es werden verschiedene flexible Fadenanker angeboten (Meniscal cinch, Arthrex und FastFix, Smith and Nephew). Nachteil der Fadenankersysteme ist ihr hoher Preis. Um die Implantatkosten zu reduzieren, kann der Einsatz des Fadenankersystems auf den Hinterhornbereich beschränkt bleiben. Die Pars intermedia wird mit konventionellen Nähten (z. B. outside in) versorgt (Hybridrefixation).

Radiärrisse

Die Naht einer radiären Läsion wird durch die zirkulären Ringspannungen stark belastet. Daher sind die Rerupturraten nach Refixation eines Radiärrisses hoch. Aufgrund der biomechanischen Relevanz dieser Läsionen besteht bei jungen Patienten dennoch die Indikation zur Refixation. Bei Radiärrissen sollte im Bereich der inneren Zirkumferenz zunächst eine sparsame Teilresektion durchgeführt werden, da Nähte im flachen Anteil des Meniskus keinen Halt haben und weil dieser Teil des Meniskus nicht mit Gefäßen versorgt ist. Es folgen Maßnahmen zur Heilungsstimulation. Dann werden in ca. 3–4mm Abstand zum Riss ein oder zwei horizontale Nähte gelegt. In Abhängigkeit von der Lokalisation eignen sich hier alle drei Nahttechniken (outside in, inside out, und all inside).

Naht bei Rampenläsion

Eine Rampenläsion ist eine Längsruptur mit Riss in der tibialen Kapsel. Diese Läsionen treten nur im Hinterhornbereich auf. Aus diesem Grund kommen bei der Refixation dieser Läsionen bevorzugt „**All-inside**“-Fadenankersysteme zum Einsatz. Um den Nahtanker in der inferioren Gelenkkapsel zu platzieren, ist eine gebogene Nahtkanüle erforderlich.

Posteriore Avulsionsverletzungen (Wurzelläsionen)

Am Innenmeniskus liegt eine klare Indikation zur Refixation einer Wurzelläsion nur bei den seltenen traumatischen Verletzungen vor. Bei atraumatischen Läsionen erscheint ein Refixationsversuch nur bei neutraler Beinachse und geringen Knorpelschäden sinnvoll. Bei varischer Beinachse sollte eine Refixation nur in Kombination mit einer valgierenden Umstellungsosteotomie durchgeführt werden. Beide Eingriffe können ein- oder zweizeitig erfolgen.

Avulsionsverletzungen im Bereich der Insertionen können transossär über einen kleinen Knochentunnel refixiert werden (► Abb. 3.8).

Am Außenmeniskus werden drei verschiedene Typen der Avulsionsverletzung unterschieden:

- Bei der Typ-I-Läsion handelt es sich um eine reine Avulsionsverletzung am Tibiaplateau.

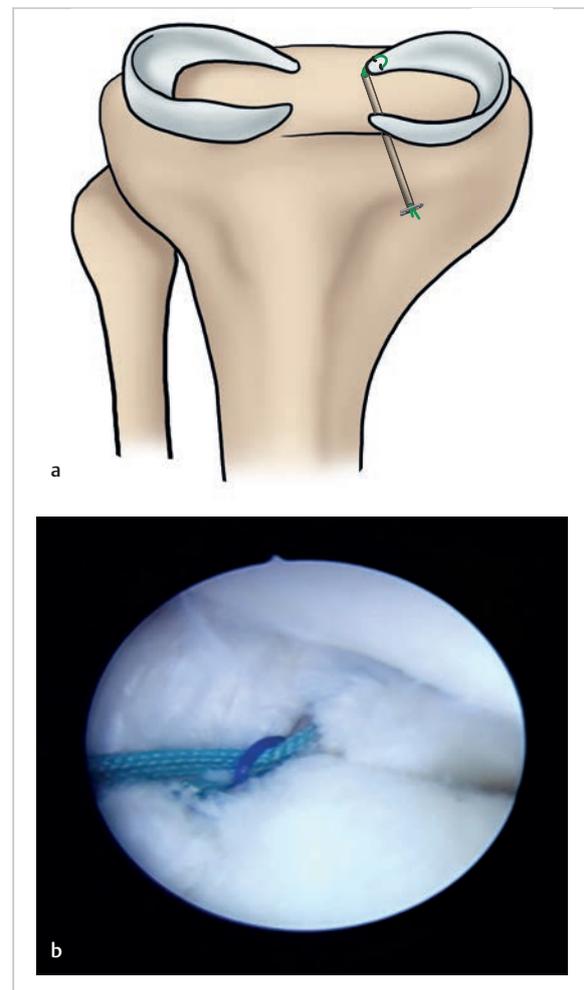


Abb. 3.8 OP-Technik bei Längsrissen. Transossäre Refixation einer medialen Wurzelläsion.

- a** Schematische Darstellung. Der Nahtfaden wird tibial über einen Kippanker (z. B. Flip Tack) verknötet.
b Arthroskopische Darstellung.

- Die Typ-II-Läsion befindet sich zwischen Insertion und Abgang des meniskofemorales Bandes.
- Bei der Typ-III-Läsion ist das meniskofemorales Band zusätzlich durchtrennt. Das zirkuläre Ringsystem ist nur bei der Typ-III-Läsion komplett unterbrochen.

Auch wenn Typ-I- und -II-Läsionen wahrscheinlich eine günstigere Prognose als Typ-III-Läsionen haben, sollte eine Refixation immer in Betracht gezogen werden. Eine klare Indikation zur Refixation liegt allerdings nur bei einer selten nachweisbaren Extrusion in der MRT vor. Da es sich bei den lateralen Wurzelverletzungen fast immer um eine intraoperative Diagnose handelt, wird auch die Indikation zur Refixation nahezu immer im Rahmen einer Kreuzbandersatzplastik gestellt.

Bei einer Typ-II-Läsion erfolgt eine Seit-zu-Seit-Naht wie bei einem Radiärriss in der Pars intermedia. Die Heilungseigenschaften des Gewebes sind in dieser Zone jedoch besser als im Bereich der Pars intermedia, da der Meniskus hier besser vaskularisiert ist. Da sich die Typ-II-Läsion jedoch immer im Bereich des Hinterhorns befindet, kommen hier ausschließlich Fadenankersysteme zum Einsatz. Diese werden entweder über ein hohes anteromediales Portal oder ein tiefes anterolaterales Portal eingebracht.

Bei Typ-I- und -III-Läsionen kommen transossäre Refixationstechniken über einen kleinen Knochentunnel in Frage. Da die tibiale Insertion von Außenmeniskushinterhorn und VKB in unmittelbarer Nachbarschaft liegen, erleichtert es die Operation, wenn die im Meniskus fixierten Fäden in den tibialen Knochentunnel der VKB-Ersatzplastik gezogen und dort mit dem VKB-Transplantat zusammen fixiert werden.

Ersatz

Zum Ersatz von Meniskusgewebe kommen Meniskusimplantate oder allogene Spendermenisken in Frage [8], [22], [26]. Meniskusimplantate bestehen entweder aus Kollagen (Collagen Meniscus Implant, CMI) oder aus Polyurethan (Actifit). Sie eignen sich zum partiellen Ersatz der Menisken. Mit allogenen Transplantaten kann der komplette Meniskus ersetzt werden, da sie mit den Insertionszonen transplantiert werden.

Meniskusimplantat

Bei partiellem Verlust von Meniskusgewebe besteht die Möglichkeit dieses durch ein Implantat zu ersetzen [8], [26]. Diese eignen sich nur zum Teilersatz und nicht zum kompletten Ersatz nach Meniskektomie (► Abb. 3.9). Eine periphere Randleiste sowie ein Teil von Vorder- und Hinterhorn sollten erhalten bleiben, damit das Implantat fixiert werden kann. Das Material der Implantate besteht aus Rinderkollagen (CMI, Ivy Sports) oder aus Polyurethan (Actifit). Das Prinzip dieser Operationstechnik ist, dass eine artifizielle Matrix im Defekt verankert wird, die postoperativ von körpereigenen Zellen besiedelt wird, damit sich neues Meniskusgewebe bilden kann.

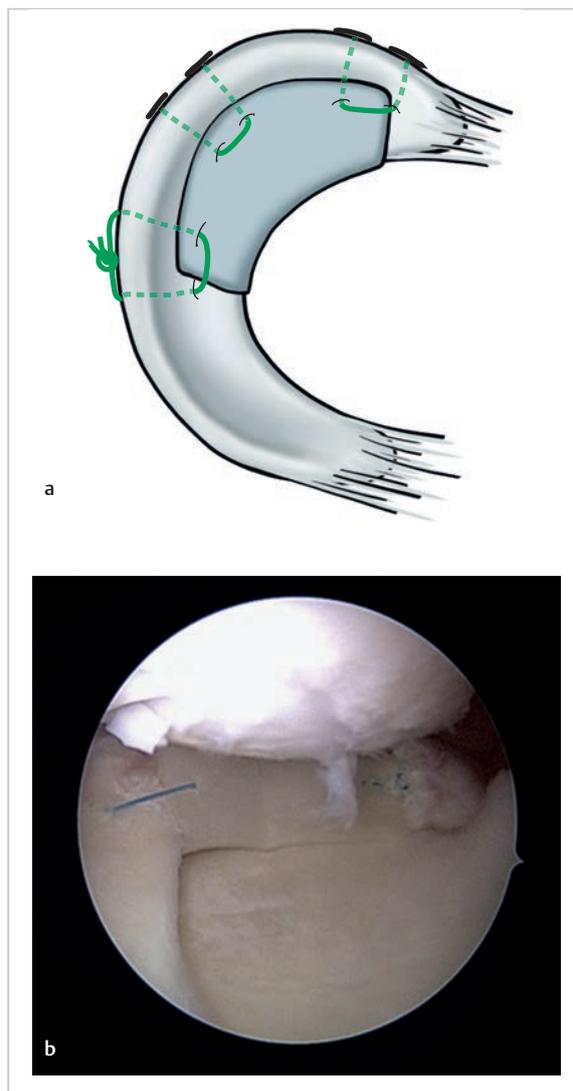


Abb. 3.9 Meniskusersatz.

- a Schematische Darstellung der Versorgung mit einem Meniskusimplantat.
- b Defektdeckung durch partiellen Meniskusersatz mit einem Meniskusimplantat (CMI) der Firma Stryker.

Die Indikation zum Einbringen eines Meniskusimplantats besteht bei Patienten, bei denen nach partieller Meniskusentfernung belastungsabhängige Schmerzen am medialen oder lateralen Gelenkspalt auftreten. Eine Beinachsdeviation mit Überlastung des betroffenen Kompartiments sowie andere Ursachen für die medialen Schmerzen (z. B. Osteonekrose) sollten ausgeschlossen werden.

Die Operation beginnt mit der arthroskopischen Gelenk-inspektion zur Überprüfung der Indikation (erhaltene Randleiste sowie Vorder- und Hinterhorn). Danach wird der Defekt mit einer entsprechenden Messlehre ausgemessen. Das Einbringen des Implantats erfolgt über eine kleine Arthrotomie. Über diesen Zugang wird das Implantat mit einer speziellen gebogenen Zange in das Gelenk eingeführt

und in den Bereich des Meniskusdefekts gebracht. Zur Fixation von Meniskusimplantaten eignen sich All-inside-Nahtankersysteme und Inside-out-Nähte.

Ein systematisches Review hat gezeigt, dass mit Meniskusimplantaten die klinischen Scores von Patienten nach partieller Meniskektomie signifikant verbessert werden können [8]. Es liegen mittlerweile Langzeitergebnisse von elf Jahren vor [8].

Allogenes Meniskustransplantat

Bei komplettem Verlust durch Ruptur oder Meniskektomie kann der Meniskus nur durch ein allogenes Transplantat ersetzt werden [22]. Die Verfügbarkeit allogener Transplantate ist in Deutschland limitiert. Sie müssen über ausländische Gewebebanken bezogen werden (z. B. Musculoskeletal Transplantation Foundation, MTF, USA). Der Bezug der Transplantate über die USA ist mit sehr hohen Kosten verbunden, sodass die Kosten für eine allogene Meniskustransplantation in Deutschland gegenwärtig über die normale DRG nicht gedeckt sind.

Die Spendermenisken können mit verschiedenen Sterilisationsverfahren aufbereitet werden (z. B. Y-Strahlung). Die meisten Sterilisationsverfahren beeinträchtigen jedoch die biomechanische Qualität des Meniskusgewebes. Bei frisch gefrorenen Menisken (fresh frozen) sind keine Einschränkungen der Gewebequalität zu erwarten. Hier besteht jedoch ein Restrisiko der Übertragung von Infektionskrankheiten.

Die Indikation zur Meniskustransplantation besteht, wenn nach einem kompletten Meniskusverlust belastungsabhängige Schmerzen am medialen oder lateralen Gelenkspalt auftreten. Eine Beinachsendeformation mit Überlastung des betroffenen Kompartimentes sowie andere Ursachen für die medialen Schmerzen (z. B. Osteonekrose) sollten ausgeschlossen werden. Fortgeschrittene Knorpelschäden im entsprechenden Kompartiment (3–4°) gelten als Kontraindikation.

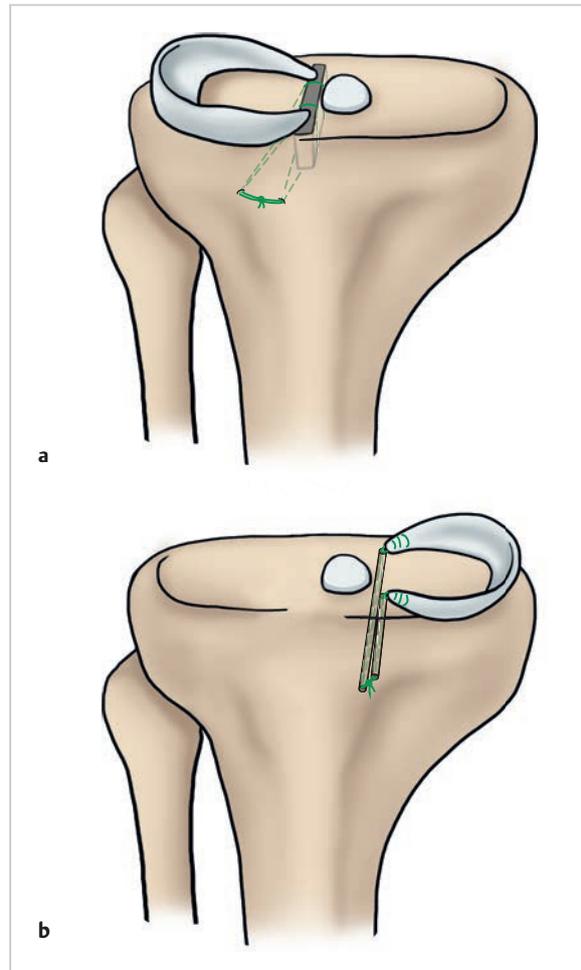
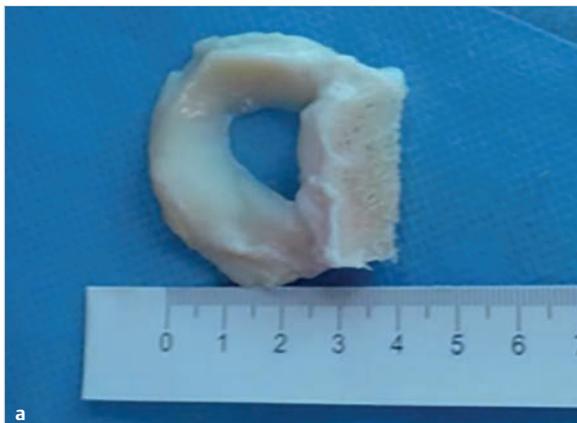
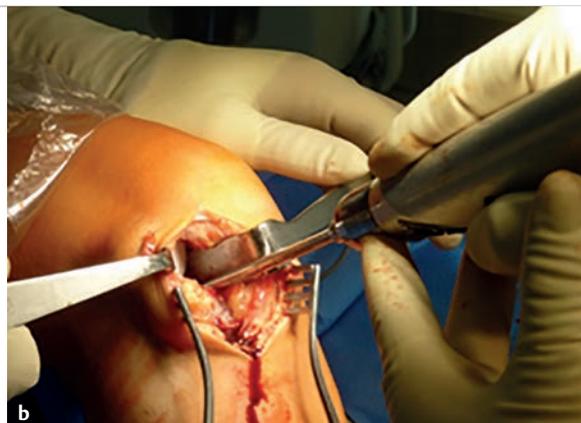


Abb. 3.10 Meniskusersatz. Schematische Darstellung einer Meniskustransplantation.

- a Lateral.
- b Medial.



a



b

Abb. 3.11 Meniskusersatz.

- a Allogenes Meniskustransplantat (lateral).
- b Laterale Arthrotomie zum Fräsen der Rinne für den Knochenblock.

Bei der Meniskustransplantation handelt es sich um eine offene Operationstechnik, die arthroskopisch gestützt durchgeführt wird (► Abb. 3.10, ► Abb. 3.11). Der laterale Meniskus wird mit einem Knochenblock in einer Rinne fixiert, die im Bereich des lateralen Eminentiahöckers gefräst wird. Die Meniskusbasis wird mit Outside-in- oder All-inside-Nähten an der Kapsel fixiert. Die Insertionen des medialen Meniskus werden über Knochen-tunnel am Tibiaplateau fixiert. Wichtig für den Erfolg der Operation ist, dass die Größe des Spendermeniskus zum Tibiaplateau des Empfängers passt.

Ein systematisches Review hat gezeigt, dass mit der allogenen Meniskustransplantation gute mittelfristige Ergebnisse bei akzeptablen Komplikations- und Versagensraten erzielt werden können.

3.1.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung nach Meniskusoperationen richtet sich nach dem angewandten Verfahren [2], [13].

Meniskusteilresektion

Nach einer Meniskusteilresektion werden die Patienten frühzeitig schmerzadaptiert mit Vollbelastung mobilisiert. Das Gelenk sollte in den ersten Tagen geschont werden. Der Patient bekommt Anspannungsübungen für den M. quadriceps gezeigt, die er selbstständig durchführen sollte. Das Gelenk sollte intermittierend gekühlt werden. Zur Reduktion von Schmerzen und Synovialitis wird dem Patienten für einige Tage ein nichtsteroidales Antirheumatikum verordnet.

Meniskusrefixation

Die postoperative Behandlung nach Meniskusrefixation richtet sich nach dem Ausmaß und der Stabilität der Läsion. Bei instabilen Läsionen (Korbhenkelriss, langer Längsriss, Radiärriss) ist die Limitierung der Beugung auf 60° für sechs Wochen sinnvoll, da die Menisken bei extremer Beugung über die hintere Kante des Tibiaplateaus gezogen werden.

Wird der Patient mit einer Orthese versorgt, kann eine Teilbelastung zur allgemeinen Schonung des Gelenks sinnvoll sein. In Streckung ist die Vollbelastung möglich, da das innere Meniskusfragment durch den Gelenkdruck nach außen gegen das periphere Fragment gedrückt wird. Werden Meniskusrefixationen in Kombination mit einer Kreuzbandersatzplastik durchgeführt, muss das Kreuzbandschema dem Meniskus angepasst werden.

Bei kleineren, stabilen Rupturen (1–2 Nähte) kann der Patient wie bei einer isolierten Kreuzbandersatzplastik nachbehandelt werden. Zur Limitierung der postoperativen Gelenkreizung kommen physikalische Maßnahmen (Kühlung) sowie isometrische Anspannungsübungen zur Anwendung. Auf die Gabe nichtsteroidaler Antiphlogistika (NSAR) sollte verzichtet werden, da diese Medikamen-

te in der Frühphase auch Heilungsreaktionen inhibieren können.

Nach medialer Wurzelrefixation sollte das Kniegelenk postoperativ für 6–8 Wochen entlastet werden, um eine Extrusion zu vermeiden. Die Beugung wird auf 60° für sechs Wochen limitiert.

Wenn präoperativ in der MRT eine Extrusion erkennbar war, sollte das Kniegelenk für sechs Wochen entlastet werden, und die Beugung wird auf 60° für sechs Wochen limitiert. Wenn keine Extrusion erkennbar ist, sollte mit 10–20 kg Teilkörpergewicht belastet werden. Die Beugung wird ebenfalls auf 60° für sechs Wochen limitiert.

Meniskusimplantat und Transplantat

Postoperativ sollte das Kniegelenk für sechs Wochen mit 10–20 kg Teilkörpergewicht belastet werden. Die Beugung wird auf 60° für vier Wochen limitiert.

Literatur

- [1] Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med* 1982; 10: 90–95
- [2] Barber FA. Accelerated rehabilitation for meniscus repairs. *Arthroscopy* 1994; 10 (2): 206–210
- [3] Barrett GR, Richardson K, Ruff CG, Jones A. The effect of suture type on meniscus repair. A clinical analysis. *Am J Knee Surg* 1997; 10 (1): 2–9
- [4] Cannon WD, Vittori JM. The incidence of healing in arthroscopic meniscus repairs in anterior cruciate ligament reconstructed knees versus stable knees. *Am J Sport Med* 1992; 20: 176–181
- [5] DeHaven KE, Lohrer WA, Lovelock JE. Long term results of open meniscal repair. *Am J Sports Med* 1995; 23: 524–530
- [6] Englund M, Haugen IK, Guermazi A et al. Evidence that meniscus damage may be a component of osteoarthritis: the Framingham study. *Osteoarthritis Cartilage* 2016; 24 (2): 270–273
- [7] Fairbanks TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* 1948; 30-Br: 664–670
- [8] Grassi A, Zaffagnini S, Marcheggiani Muccioli GM et al. Clinical outcomes and complications of a collagen meniscus implant: a systematic review. *Int Orthop* 2014; 38 (9): 1945–1953
- [9] Herrlin SV, Wange PO, Lapidus G et al. Is arthroscopic surgery beneficial in treating non-traumatic, degenerative medial meniscal tears? A five year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21 (2): 358–364
- [10] Howell JR, Handoll HH. Surgical treatment for meniscal injuries of the knee in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2000; 2: 1353
- [11] Johnson MJ, Lucas GL, Lucas GL et al. Isolated arthroscopic meniscus repair: a long term outcome study more than 10 years. *Am J Sport Med* 1999; 27: 44–49
- [12] Katz JN, Brophy RH, Chaisson CE et al. Surgery versus physical therapy for a meniscal tear and osteoarthritis. *N Engl J Med* 2013; 368 (18): 1675–1684. doi: 10.1056/NEJMoa1301408. Erratum in: *N Engl J Med* 2013; 369 (7): 683
- [13] Mariani PP, Santori N, Adriani E, Mastrantuono M. Accelerated rehabilitation after arthroscopic meniscus repair: a clinical and magnetic resonance imaging evaluation. *Arthroscopy* 1996; 12: 680–686
- [14] Petersen W, Tillmann B. Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anat Embryol* 1998; 197: 317–324
- [15] Petersen W, Tillmann B. Age-related blood and lymph supply of the knee menisci. A cadaver study. *Acta Orthop Scand* 1995; 66 (4): 308–312
- [16] Petersen W, Tillmann B. Structure and vascularization of the knee joint menisci. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1999; 137 (1): 31–37

- [17] Petersen W, Zantop T. Arthroscopic meniscal suture. *Oper Orthop Traumatol* 2006; 18 (5–6): 393–410
- [18] Petersen W, Forkel P, Feucht MJ et al. Posterior root tear of the medial and lateral meniscus. *Arch Orthop Trauma Surg* 2014; 134 (2): 237–255
- [19] Petersen W, Achtnich A, Lattermann C, Kopf S. The Treatment of Non-Traumatic Meniscus Lesions. *Dtsch Arztebl Int* 2015; 112 (42): 705–713
- [20] Petersen W, Diermeier T, Mehl J et al. Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen. *Dtsch Ärzteverlag OUP* 2016; 5 (10): 542–550
- [21] Rockborn P, Messner K. Long-term results of meniscus repair and meniscectomy: a 13-year functional and radiographic follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000; 8 (1): 2–10
- [22] Rosso F, Bisicchia S, Bonasia DE, Amendola A. Meniscal allograft transplantation: a systematic review. *Am J Sports Med* 2015; 43 (4): 998–1007
- [23] Yoo JC, Ahn JH, Lee SH et al. Suturing complete radial tears of the lateral meniscus. *Arthroscopy* 2007; 23 (11): 1249.e1–7
- [24] Zantop T, Eggers AK, Musahl V et al. Cyclic testing of flexible all-inside meniscus suture anchors: biomechanical analysis. *Am J Sports Med* 2005; 33 (3): 388–394
- [25] Zantop T, Temmig K, Weimann A et al. Elongation and structural properties of meniscal repair using suture techniques in distraction and shear force scenarios: biomechanical evaluation using a cyclic loading protocol. *Am J Sports Med* 2006; 34 (5): 799–805
- [26] Zaffagnini S, Grassi A, Marcheggiani Muccioli GM et al. Two-Year Clinical Results of Lateral Collagen Meniscus Implant: A Multicenter Study. *Arthroscopy* 2015; 31 (7): 1269–1278

3.2 Kreuzbandverletzungen

Martin Engelhardt, Thore Zantop

3.2.1 Physiologische Grundlagen

Das vordere und das hintere Kreuzband sind die zentralen Pfeiler des Kniegelenks. Sie sichern das Kniegelenk gegen die anteriore und posteriore Translation. Mit den peripheren Bändern (Sicherung vornehmlich gegen Varus- und Valgusstress) bilden sie eine funktionelle Einheit (► Abb. 3.12) [3].

3.2.2 Epidemiologie

Die Ruptur der Kreuzbänder zählt zu den häufigsten traumatischen Bandverletzungen im Sport. In den USA werden pro Jahr ca. 75000 Kreuzbandrupturen registriert (1:3500 Einwohner). 70% ereignen sich zwischen dem 15. und 45. Lebensjahr. Die Inzidenz in der Altersgruppe zwischen dem 15. und 25. Lebensjahr liegt bei 1:1000. Hintere Kreuzbandverletzungen sind seltener (10% der Kreuzbandverletzungen). Frauen haben ein um das 2,3- bis 9,7-fach erhöhtes Risiko gegenüber Männern [2].

Sportler in Sportarten mit Sprüngen und plötzlichen Richtungswechseln (Ball sportarten, Ski Alpin, Gymnastik etc.) sowie Kampfsportarten (Ringern, Judo etc.) sind von Kreuzbandverletzungen besonders gefährdet. Sie benötigen aber zur erfolgreichen Sportausübung ein stabiles Kniegelenk. Kreuzbandverletzungen sind nicht selten mit einer langen Beeinträchtigung der Sport- und Wettkampffähigkeit verbunden und erfordern monatelange Rehabilitationszeiten. Die Ausfalldauer von Sportlern nach Vorderem-Kreuzband-Ersatz beträgt 6–9 Monate.

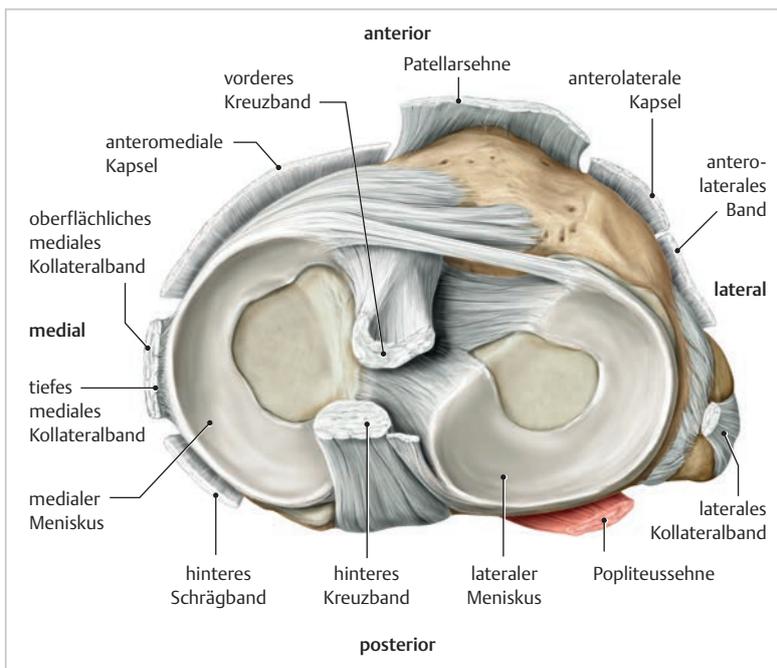


Abb. 3.12 Kreuzbänder. Zeichnerische Darstellung eines Horizontalschnittes durch das Kniegelenk. Die Stabilität des Kniegelenks wird durch den zentralen Pfeiler (vorderes Kreuzband = VKB, hinteres Kreuzband = HKB) und die peripheren Strukturen gewährleistet. Zu den peripheren Strukturen zählen der laterale und mediale Komplex. Der mediale Komplex besteht aus dem oberflächlichen (sMCL) und tiefen (dMCL) medialen Kollateralband, dem hinteren Schrägband (posterior oblique ligament = POL) und der posteromedialen und anteromedialen Kapsel. Zu den lateralen Strukturen gehören das laterale Kollateralband (LCL), die Popliteusesehne (POP), das anterolaterale Band (ALL), die anterolaterale Kapsel (ALC) und der Tractus iliotibialis (TIT). MM: medialer Meniskus, LM: lateraler Meniskus. (Quelle: nach Petersen W, Achtnich A, Diermeier T et al. Das instabile Kniegelenk: Diagnostik, Prävention und Therapie. *Sports Orthop Traumatol* 2017; 33: 29–37)

Die primäre Revision mit Replastik des vorderen Kreuzbandes

**W. Petersen, K. Karpinski, S. Bierke,
T. Hees & M. Häner**

Operative Orthopädie und Traumatologie

Bilingual Edition of Orthopedics and
Traumatology

ISSN 0934-6694

Volume 31

Number 3

Oper Orthop Traumatol (2019)

31:221-247

DOI 10.1007/s00064-019-0606-8



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Oper Orthop Traumatol 2019 · 31:221–247
<https://doi.org/10.1007/s00064-019-0606-8>
Eingegangen: 25. September 2018
Überarbeitet: 27. Januar 2019
Angenommen: 28. Januar 2019
Online publiziert: 6. Juni 2019
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil
von Springer Nature 2019

Redaktion
A.B. Imhoff, München
Zeichner
H.J. Schütze, Köln



© bfw tailormade communication GmbH



Online teilnehmen

3 Punkte sammeln auf CME.SpringerMedizin.de

Teilnahmemöglichkeiten

Die Teilnahme an diesem zertifizierten Kurs ist für 12 Monate auf CME.SpringerMedizin.de möglich. Den genauen Teilnahmeschluss erfahren Sie dort.

Teilnehmen können Sie:

- als Abonnent dieser Fachzeitschrift,
- als e.Med-Abonnent.

Zertifizierung

Diese Fortbildungseinheit ist zertifiziert von der Ärztekammer Nordrhein gemäß Kategorie D und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig. Es werden 3 Punkte vergeben.

Anerkennung in Österreich

Gemäß Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) werden die auf CME.SpringerMedizin.de erworbenen Fortbildungspunkte von der Österreichischen Ärztekammer 1:1 als fachspezifische Fortbildung angerechnet (§26(3) DFP Richtlinie).

Kontakt

Springer Medizin Kundenservice
Tel. 0800 77 80 777
E-Mail: kundenservice@springermedizin.de

CME Zertifizierte Fortbildung

W. Petersen · K. Karpinski · S. Bierke · T. Hees · M. Häner

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin, Deutschland

Die primäre Revision mit Replastik des vorderen Kreuzbandes

Zusammenfassung

Operationsziel. Wiederherstellung der Kniestabilität nach Reruptur einer vorderen Kreuzband-(VKB-)Plastik.

Indikation. Akute und chronische funktionelle Instabilität mit Reruptur eines VKB-Transplantats bei anatomischen oder nichtanatomischen Knochentunneln ohne Tunnelweitung.
Kontraindikationen. Partiiell anatomische Knochentunnel der vorherigen Operation, signifikante Tunnelweitung anatomischer Knochentunnel, lokale Infektion im Bereich des Kniegelenks, lokale Weichteilschädigung.

Operationstechnik. Geeignete Revisionstransplantate sind die autologen Beugesehen (M. semitendinosus, M. gracilis), die Quadrizepssehne, die Patellarsehne sowie ein Peroneusehnen-Split-Graft. Bei anatomischen Tunneln sorgfältiges Débridement bis auf die Tunnelwand; bei nichtanatomischen Tunneln der Voroperation Bohren des femoralen Kanals über ein tiefes anteromediales Portal bei mehr als 110° gebeugtem Knie im VKB-Insertionsgebiet. Eine schonende Tunnelpräparation gelingt mit Dilatoren. An der Tibia dient das Außenmeniskusvorderhorn bei fehlendem VKB-Stumpf als Landmarke. Sondieren der gelenkfernen Tunnelöffnung mit einem Zieldraht und schrittweises Aufbohren der Tunnel bis zum Erreichen der Tunnelwand, die mit einem Löffel oder Synovialresektor debridiert wird. Dabei Entfernen von Transplantatresten und Implantaten aus dem Tunnel. Die femorale Fixation erfolgt mit einem Kippanker, einer Interferenzschraube oder bei einem Knochenblocktransplantat auch implantatfrei. Transplantatfixierung tibial mit resorbierbarer Interferenzschraube und Fixationsknopf.

Weiterbehandlung. Nachbehandlungsschema besteht aus 4–5 Phasen. Entzündungsphase I (1.–2. Woche): Schmerz- und Ergussprophylaxe (Kühlung, isometrische Anspannungsübungen, 20-kg-Teilbelastung). Phase II (2.–6. Woche): Langsame Steigerung von Belastung und Beweglichkeit mit Übungen in geschlossener Kette (Ziel: Extension/Flexion 0–0–120°). Phase III (ab der 6. Woche): Kraftaufbau und Koordinationsübungen. Phase IV: Balance, Kraft und Sprungübungen. Wiederkehr zum Wettkampfsport nicht vor dem 6.–10. postoperativen Monat.

Ergebnisse. Nachuntersucht wurden 51 Patienten mit Rezidivinstabilität nach VKB-Plastik, bei denen ein primärer Reersatz des VKB mit ipsilateralem Knochen-Quadrizepssehnen-Transplantat oder kontralateralem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat durchgeführt wurde. Alle Patienten hatten anatomische oder nichtanatomische Bohrkanaalpositionen ohne signifikante Bohrkanaalweitung (>11 mm). Nach 2 Jahren betrug der Seit-zu-Seit-Unterschied für die anteriore Translation gemessen mit dem KT-1000-Arthrometer $2,0 \pm 1,2$ mm für die Quadrizeps-Gruppe und $3,0 \pm 2,9$ mm für die Semitendinosus-Gracilis-Gruppe ($P = 0,461$). Kein Unterschied in der Rate positiver Pivot-Shift-Tests ($P = 0,661$), kein signifikanter Unterschied in den einzelnen Subscores des KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) sowie beim vorderen Knieschmerz.

Schlüsselwörter

Kniesgelenk · Gelenkinstabilität · Sehnentransfer · Transplantate · Revision

Primary revision with replasty of the anterior cruciate ligament

Abstract

Objective. Restoration of knee stability after rerupture of an anterior cruciate ligament (ACL) graft.

Indication. Acute and chronic functional instability with rerupture of an ACL graft with subjective instability with anatomical or non-anatomical bone tunnel without tunnel widening.

Contraindications. Partial anatomical bone tunnels of the previous operation, significant tunnel widening of anatomical bone tunnels, local infection of the knee joint, local soft tissue damage.

Surgical technique. Graft choices are hamstring tendons (semitendinosus muscle, gracilis muscle), the quadriceps tendon, patellar tendon and a peroneus tendon split graft. In cases with anatomical tunnels, careful debridement is performed down to the tunnel wall. In non-anatomical tunnels, a new femoral tunnel is drilled over a deep anteromedial portal with the knee flexed more than 110° in the insertion area of the ACL. Using drills and dilators, a tunnel is prepared. At the tibia, the anterior horn of the lateral meniscus serves as a landmark in the absence of an ACL stump. The cortical tibial tunnel aperture is probed with a guide wire and the tunnel is drilled stepwise until the tunnel wall is reached, which is debrided with a spoon or synovial resector to remove graft residues and implants from the tunnel. The femoral fixation can either be done with a flip button, an interference screw or in the case of a bone block graft implant-free. At the tibial side, the graft is fixed with a resorbable interference screw and fixation button.

Postoperative management. The rehabilitation program comprises 4–5 phases. Inflammatory phase (weeks 1–2): control of pain and swelling (cooling, isometric tension exercises, 20 kg partial load). Phase 2 (weeks 2–6): increasing load and range of motion with closed chain exercises (target: extension/flexion 0–0–120°). Phase 3 (from week 6): strength and coordination exercises. Phase 4: balance, strength and jump exercises. Return to competitive sport not before postoperative month 6–10.

Results. Included were 51 patients with recurrent instability after ACL surgery where primary ACL replacement was performed with ipsilateral bone quadriceps tendon graft or contralateral semitendinosus–gracilis graft. All patients had anatomical or non-anatomical tunnel locations without significant widening (>11 mm). After 2 years, the side-to-side difference for anterior tibial translation measured with the KT 1000 arthrometer was 2.0 ± 1.2 mm for the quadriceps group and 3.0 ± 2.9 mm for the semitendinosus–gracilis group ($P = 0.461$). No difference in the rate of positive pivot shift tests ($P = 0.661$); no significant difference in the individual Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) subscores or in the frequency of anterior knee pain.

Keywords

Knee joint · Joint instability · Tendon transfer · Grafts · Revision surgery

Tab. 1 Ursachen für das Versagen einer VKB-Plastik

| | Diagnostik | Therapie |
|--|---|---|
| <i>Tunnelfehlposition</i> | 3D-CT | Bei partieller Fehllage oder Tunnelweitung Bohrkanalfüllung mit allogenen oder autologem Knochen, |
| <i>Infekt</i> | Labor (Blutbild, C-reaktives Protein), Punktion, arthroskopische Biopsie | Arthroskopische Spülung, ggf. mit Transplantatresektion, ggf. zweizeitiger VKB-Ersatz |
| <i>Übersehene Begleitinstabilitäten</i> Posteromedial Posterolateral Anterolateral HKB | Klinische Untersuchung der Stabilität (Varus-Valgusstress, Lachman, Pivot shift, hintere Schublade), gehaltene Röntgenaufnahmen | Zusätzliche HKB-, posterolaterale, anterolaterale, posteromediale Rekonstruktion |
| <i>Deformitäten</i> Doppelvarus Reklination („Slope“) des Tibiaplateaus >12° | Ganzbein-Röntgenaufnahme mit Bestimmung des Varuswinkels, Röntgenaufnahme der Tibia seitlich zur „Slope“-Bestimmung | Valgisierende und/oder „Slope“-reduzierende Korrekturosteotomie |

3D-CT dreidimensionale Computertomographie, HKB hinteres Kreuzband, VKB vorderes Kreuzband

Lernziele

Nach der Lektüre dieses Beitrags ...

- können Sie die wichtigsten Indikationskriterien für eine primäre Replastik des vorderen Kreuzbandes (VKB) benennen.
- sind Sie in der Lage, die Risikofaktoren für eine Rezidivinstabilität zu identifizieren und zu erkennen.
- können Sie die richtigen Schlüsse aus der präoperativen Diagnostik ziehen.
- verstehen Sie die operativen Schritte zur Durchführung einer primären VKB-Replastik.

Vorbemerkung

Registerdaten aus Skandinavien haben gezeigt, dass das Risiko für eine **Rezidivinstabilität** nach Rekonstruktion des VKB bei 4% liegt [1]. Da bei diesen Patienten bereits präoperativ die Indikation zur VKB-Plastik bestanden haben muss, besteht auch in den meisten Fällen im Falle der Rezidivinstabilität die Indikation zur Durchführung einer Replastik des VKB.

Diese Revisionseingriffe sind nicht nur eine technische Herausforderung, sie erfordern auch eine präzise präoperative Planung und Diagnostik, denn nicht immer ist die Rezidivinstabilität auf ein erneutes Trauma zurückzuführen [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Oft liegt dem Versagen nach Kreuzbandersatzplastik eine andere Ursache zugrunde. Wenn diese Ursache nicht erkannt wird, macht die Durchführung einer Replastik keinen Sinn, denn dann ist ein nochmaliges Versagen des Transplantats sehr wahrscheinlich. Vor Revisionsoperationen bei Rezidivinstabilität nach VKB-Plastik ist daher immer eine genaue Ursachenanalyse erforderlich.

Diese Ursachenanalyse erfordert eine sorgfältige präoperative Diagnostik, aus der sich dann eine **Revisionsstrategie** ergibt (■ Tab. 1). Auch bei einem erneuten adäquaten Trauma können neuromuskuläre Faktoren vorliegen, die ein Risiko für eine erneute Reruptur darstellen [9]. Zu diesen neuromuskulären Risikofaktoren gehört das dynamische **Genu valgum**, das durch spezielle Trainingsprogramme korrigiert werden kann [9, 10]. Ein Beispiel für ein Präventionstraining ist das **Stop-X-Programm** der Deutschen Kniesgesellschaft (www.stop-x.de).

Weitere Ursachen oder Risikofaktoren für eine Rezidivinstabilität sind Fehllagen der Knochentunnel der vorherigen Operation, Infekte, Begleitinstabilitäten und angeborene oder erworbene Deformitäten der unteren Extremität. Zur Korrektur dieser Ursachen sind im Rahmen der Revisionschirurgie oft mehrere Operationen notwendig, um ein gutes Ergebnis zu erreichen.

Ziel der Replastik des VKB ist es, die Knochentunnel anatomisch im Bereich der normalen Kreuzbandinsertionen anzulegen [11]. Werden die Knochentunnel nicht im Bereich der anatomischen Insertionen angelegt, resultiert eine gestörte **Kinematik** des Kniegelenks [7, 12, 13, 14]. Folge können Bewegungseinschränkungen und Rezidivinstabilitäten sein. Fehllagen der

Nicht immer ist die Rezidivinstabilität auf ein erneutes Trauma zurückzuführen

Auch bei einem erneuten adäquaten Trauma können neuromuskuläre Risikofaktoren für eine Reruptur vorliegen

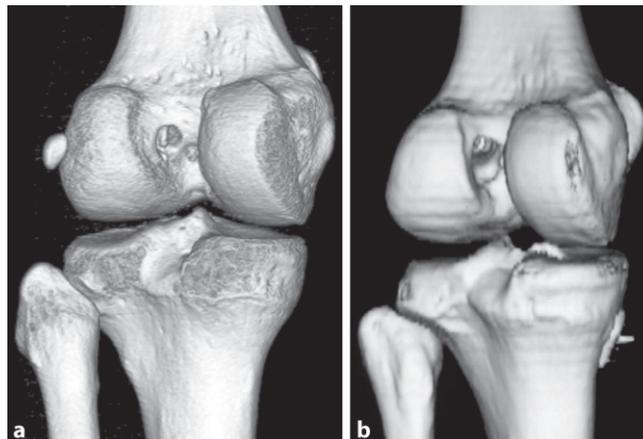


Abb. 1 ◀ Dreidimensionale Rekonstruktion einer Computertomographie von Kniegelenken von Patienten mit nichtanatomischer femoraler Tunnelposition (a) und mit anatomischer Tunnelposition der Primäroperation (b). (Aus [5])

Knochtunnel stellen jedoch nicht nur eine häufige Ursache für das Versagen einer VKB-Plastik dar, sie erschweren auch die Revisionsoperation (**Abb. 1, 2, 3 und 4**; [7, 13, 14, 15]).

Tunnelpositionen können in anatomisch, partiell anatomisch und nichtanatomisch eingeteilt werden (**Abb. 3 und 4**). Kritisch im Hinblick auf eine primäre Revision sind partiell anatomische Tunnelpositionen, da sich durch die Anlage eines neuen anatomischen Tunnels oft stark erweiterte Tunnel ergeben, in denen ein neues Transplantat nur schwer verankert werden kann [7, 15, 16]. In diesen Fällen sollten die partiell anatomischen Knochtunnel vor einer erneuten VKB-Plastik mit allogenen oder autologem Knochen gefüllt werden (zweizeitiges Vorgehen; [15]). Die Replastik kann nach Einheilung des Knochens nach ca. 4–6 Monaten erfolgen. Liegt eine nichtanatomische Tunnelposition vor, kann meist eine einzeitige Revision erfolgen, da neben dem alten Tunnel ein neuer Tunnel gebohrt werden kann [3, 5]. Es kann allerdings erforderlich sein, den alten Tunnel zu augmentieren (z. B. durch eine **resorbierbare Interferenzschraube**; [5]). Bei anatomischen Tunneln hängt die Entscheidung, ob ein- oder zweizeitig vorgegangen wird, davon ab, ob eine Tunnelweitung vorliegt. Von einer relevanten Tunnelweitung spricht man ab einem Tunneldurchmesser von 11 mm [15].

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Differenzialindikation zur primären und sekundären Revision in Abhängigkeit von der Tunnelposition. Die beste Methode zur Diagnostik von Tunnelposition und Tunnelweite ist die Computertomographie (CT) mit dreidimensionaler (3D) Rekonstruktion der knöchernen Strukturen (**Abb. 1**; [16]).

Infekte nach VKB-Plastik sind selten und manifestieren sich oft akut in den ersten 2–3 Wochen nach VKB-Plastik [17]. Sog. „**Low-grade**“-**Infekte** können aufgrund unspezifischer Symptome lange unerkannt bleiben und zum Transplantatversagen führen. Bei Infektverdacht sollten entsprechende diagnostische Maßnahmen eingeleitet werden (Blutbild [BB], **C-reaktives Protein** [CRP], Punktion, ggf. arthroskopische Biopsie; [17]).

Übersehene Begleitinstabilitäten stellen ein Risiko für Rezidivinstabilitäten dar, weil durch die Insuffizienz sekundärer Stabilisatoren eine erhöhte Beanspruchung der VKB-Plastik resultiert. Zu diesen Begleitinstabilitäten zählen Verletzungen der posteromedialen oder posterolateralen Gelenkecke, Verletzungen des anterolateralen Komplexes, Verletzungen des hinteren Kreuzbandes sowie anteromediale Rotationsinstabilitäten mit vermehrter Außenrotationsinstabilität [18, 19, 20].

Auch knöcherne Deformitäten sind im Hinblick auf die Entstehung von Rezidivinstabilitäten relevant [4, 6, 21, 8]. Dabei sollten sowohl Deformitäten in der Sagittalebene als auch in der Frontalebene beachtet werden [4, 6]. In der Sagittalebene ist die sog. **Doppelvarussituation** von



Abb. 2 ▲ Sagittale Rekonstruktion einer Computertomographie eines Kniegelenks mit partiell anatomischer posteriorer tibialer Tunnelposition und zusätzlicher Tunnelweitung

Tunnelpositionen lassen sich in anatomisch, partiell anatomisch und nichtanatomisch einteilen

Bei einer nichtanatomischen Tunnelposition kann ein neuer Tunnel neben dem alten gebohrt werden

Die beste Methode zur Diagnostik von Tunnelposition und -weite ist ein 3D-CT

Infekte manifestieren sich oft akut in den ersten 2–3 Wochen nach VKB-Plastik

Übersehene Begleitinstabilitäten stellen ein Risiko für Rezidivinstabilitäten dar

Knöcherne Deformitäten können Rezidivinstabilitäten begünstigen

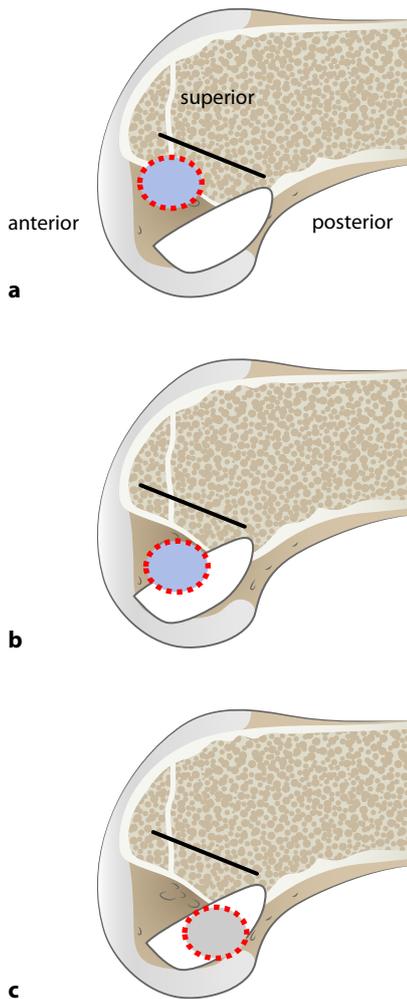


Abb. 3 ▲ Schematische Darstellung einer nichtanatomischen femoralen Tunnelposition (a), einer partiell anatomischen femoralen Tunnelposition (b) und einer anatomischen femoralen Tunnelposition (c)

Relevanz. Darunter versteht man die Kombination aus einer ossären und ligamentären Varusdeformität (Insuffizienz des lateralen Bandapparats; [4, 6]). Die daraus resultierende Weitung des lateralen Gelenkspalts bezeichnet man als „**varus thrust**“. Folge ist eine vermehrte Druckbelastung des medialen Kompartiments sowie eine erhöhte Zugbeanspruchung der VKB-Plastik. Verstärkt wird diese Situation durch einen primären oder sekundären Meniskusverlust. Auch Deformitäten in der Sagittalebene können zu einer Rezidivinstabilität beitragen. Für die vordere Rezidivinstabilität ist dabei die erhöhte posteriore Reklination des Tibiaplateaus („posterior tibial slope“) relevant [4, 6]. Daher werden bei einem posterioren „**Slope**“ von mehr als 12° oder einer Doppelvarussituation im Fall einer Rezidivinstabilität **Korrekturosteotomien** empfohlen [4, 6, 21, 8].

Auch die eigentliche Revisionsoperation mit einer erneuten Kreuzbandplastik steckt voller Tücken. Vorhandene Implantate, Knochenqualität und die eingeschränkte Transplantatwahl können das operative Vorgehen erschweren. Die Transplantatwahl hängt davon ab, welches Transplantat bei der Primäroperation verwendet wurde. Grundsätzlich kommen die Beugesehen (M. semitendinosus/gracilis), die Quadrizepssehne oder die Patellarsehne (ipsi- oder kontralateral) in Frage. Begleitschäden wie Meniskus- und Knorpelschäden können das postoperative Ergebnis beeinträchtigen [22, 23].

Ziel dieses CME-Beitrags ist es, die präoperative Diagnostik vor einer Replastik des VKB bei vorderer Rezidivinstabilität zu skizzieren, die Operationstechnik darzustellen sowie auf Tipps und Tricks hinzuweisen. Es handelt sich um eine anatomische Operationstechnik, bei der der Einsatz verschiedener autologer Transplantate sowie verschiedener Fixationstechniken möglich ist [2, 5].

Operationsprinzip und -ziel

Ziel der Revisionsoperation nach VKB-Plastik ist der erneute Ersatz des VKB durch ein autologes Sehmentransplantat, das anatomisch im Bereich der Insertionszonen des VKB verankert wird. Dabei sollten die Prinzipien der anatomischen VKB-Rekonstruktion berücksichtigt werden (Portalbohrtechnik, medialer Portalblick; [14]). Begleitende Risikofaktoren sollten präoperativ identifiziert und in der Revisionsstrategie berücksichtigt werden.

Vorteile

- Ein einzeitiges Vorgehen bedeutet ein geringeres operatives Trauma, weniger Narkosezeit und geringere postoperative Rehabilitationszeit.
- Die Anlage des femoralen Tunnels über das mediale Portal beinhaltet ein geringeres Risiko für hohe Fehlpositionen des femoralen Tunnels [12, 13].
- Die arthroskopische Darstellung von **Landmarken** (Linea intercondylaris) hilft bei der Platzierung der Zieldrähle zur Anlage der Knochentunnel [11, 19].

Vorhandene Implantate, Knochenqualität und die eingeschränkte Transplantatwahl können das operative Vorgehen erschweren

Bei der anatomischen Operationstechnik sind verschiedene autologe Transplantate und Fixationstechniken möglich

Tab. 2 Differenzialindikation zur ein- oder zweizeitigen Revision

| | Keine Tunnelweiteung | Tunnelweiteung >11 mm |
|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Anatomisch | Primäre Revision | Zweizeitiges Vorgehen |
| Partiell anatomisch | Zweizeitiges Vorgehen | Zweizeitiges Vorgehen |
| Nichtanatomisch | Primäre Revision | Ein- oder zweizeitiges Vorgehen |

- Der Blick über das mediale Portal erlaubt eine sichere Kontrolle der Lage des Zieldrahts bei Analyse, Débridement oder Neuanlage des femoralen Tunnels [11].
- Einsatz verschiedener Transplantate möglich, abhängig von bereits verwendeten Transplantaten sowie den individuellen Anforderungen der Patienten: Semitendinosus- und Gracilissehne, Patellarsehne, Quadrizepssehne, **Peroneussehnen-Split-Graft** und allogene Transplantate [2, 24, 25]
- Kombination verschiedener Fixationstechniken möglich

Nachteile

- Die primäre Replastik des VKB ist technisch aufwendiger als eine Primäroperation oder eine VKB-Replastik nach vorheriger Auffüllung der Knochentunnel, da Transplantatreste sowie Fixationsimplantate und Materialien der vorherigen Operation aus den Knochentunneln entfernt werden müssen.

Indikationen

- Reruptur eines VKB-Transplantats mit symptomatischer chronischer Instabilität
- Anatomische oder nichtanatomische Bohrkanallage ohne signifikante Tunnelweiteung (Durchmesser ≤ 11 mm)
- Korrektur von bekannten Risikofaktoren für eine Rezidivinstabilität (■ Tab. 1)

Kontraindikationen

- Partiell anatomische Knochentunnel der Voroperation und/oder signifikante Bohrkanalweiteung (Durchmesser >11 mm)
- Vorliegen einer bakteriellen Infektion im Bereich des Kniegelenks
- Nichtkorrigierte knöcherne Deformitäten (Doppelvarussituation mit „varus thrust“, posteriorer Slope von $>12^\circ$)

Patientenaufklärung

- Rezidivinstabilität
- Einbrechen der Tunnelwand vom neuen Tunnel zum alten, mit der Notwendigkeit den knöchernen Defekt mit Knochen zu augmentieren, ohne die Bandplastik durchführen zu können
- Postoperative Schwellneigung des Kniegelenks
- Schwellung des Unterschenkels durch Austritt von Spülflüssigkeit

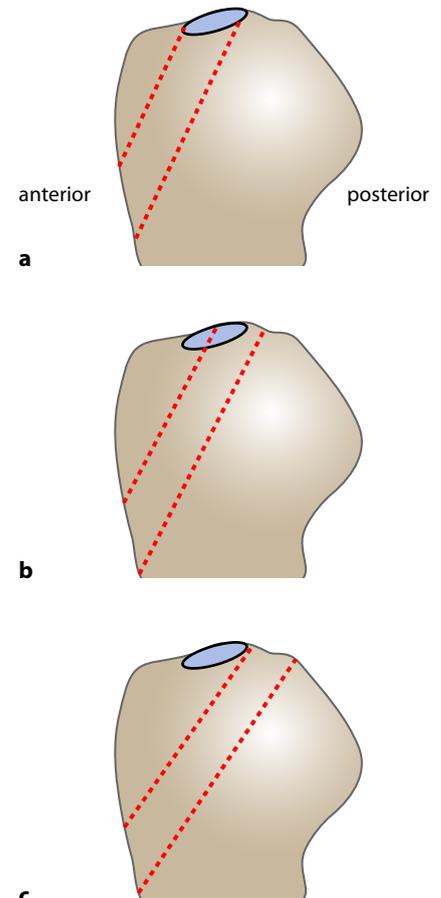


Abb. 4 ▲ Schematische Darstellung einer anatomischen tibialen Tunnelposition (a), einer partiell anatomischen tibialen Tunnelposition (b) und einer nichtanatomischen tibialen Tunnelposition (c)

Eine Bohrkanalweiteung mit einem Durchmesser >11 mm gilt als Kontraindikation

- Risiko des Instrumentenbruchs und Verbleib von Material im Gelenk
- **Arthrofibrose**
- Nachbehandlung
- Ungefähre Dauer der Arbeitsunfähigkeit
- Rückkehr zum Sport nach 6–10 Monaten
- Allgemeine Operationsrisiken: Thrombose, Embolie, Infektion, Gefäß- und Nervenverletzungen

Operationsvorbereitungen

- Präoperative Diagnostik zur Ursachenanalyse mit konventionellen Röntgenbildern, radiologischer Beinachsen- und Slope-Bestimmung, 3D-CT, Labor (BB, CRP), ggf. Punktion, klinische und radiologische Stabilitätsdiagnostik (gehaltene Aufnahmen), Magnetresonanztomographie (MRT; **Tab. 1**)
- Ggf. Durchführung einer „Staging“-Arthroskopie mit Entfernung von Fixationsimplantaten und/oder Entnahme von Biopsien zur mikrobiologischen Infektdiagnostik
- Rasur und Markierung des verletzten Kniegelenks
- Präoperative Antibiose beginnt 30 min vor Operation
- Präoperative Narkoseuntersuchung mit **Lachman-Test** in 20°-Beugung, „**Pivot-shift**“-Phänomen, Schubladephänomen (hintere und vordere Schublade) in Neutralstellung sowie Innen- und Außenrotation, Seitenbandtests in 0° und 20°-Beugung und Erfassung der Beweglichkeit nach der **Neutral-Null-Methode**
- Bei kontralateraler Transplantatentnahme muss auch die Haut der Gegenseite desinfiziert und steril abgedeckt werden.

Instrumentarium

- Arthroskop mit hochauflösender Kamera
- Lichtkabel und Dokumentationssystem
- Trokar mit Wasserzu- und -ablauf
- Motorbetriebener Synovialresektor
- Küretten und scharfe Löffel zum Débridement der Knochentunnel
- Bohrmaschine
- Zieldraht zum Überbohren
- Portalzielgerät zur Anlage des femoralen Tunnels
- Kanülierte Bohrer in den Größen 4,5–11 mm
- Dilatatoren 6–11 mm
- Präparationsbrett für das Sehnenstransplantat
- Sehnenmesser für die Quadrizepssehne, Patellarsehne oder Semitendinosus- und Gracilissehne
- Messblock zur Bestimmung des Sehnen- oder Knochenblockquerschnitts
- Fixationsimplantate: **Kippanker**, **Interferenzschrauben** und **Fixationsknopf** für die Tibia
- Geflochtener Polyesterfaden der Stärke 3 zur distalen Armierung des Transplantats

Anästhesie und Lagerung

- Operation in Allgemein- und Spinalanästhesie möglich
- Lagerung in Rückenlage
- Elektrischer beweglicher Beinhalter erleichtert die Operation [14]
- Operateur in sitzender oder auch stehender Position vor dem Kniegelenk
- Unterschenkel sollte mit einer sterilen elastischen Binde gewickelt werden, da so verhindert werden kann, dass die Spülflüssigkeit Schwellungen des Unterschenkels verursacht.

Mitunter kann eine „Staging“-Arthroskopie mit Entfernung von Fixationsimplantaten oder Entnahme von Biopsien sinnvoll sein

Ein Umwickeln des Unterschenkels mit einer elastischen Binde beugt Schwellungen vor

Operationstechnik

(**■** Abb. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32)

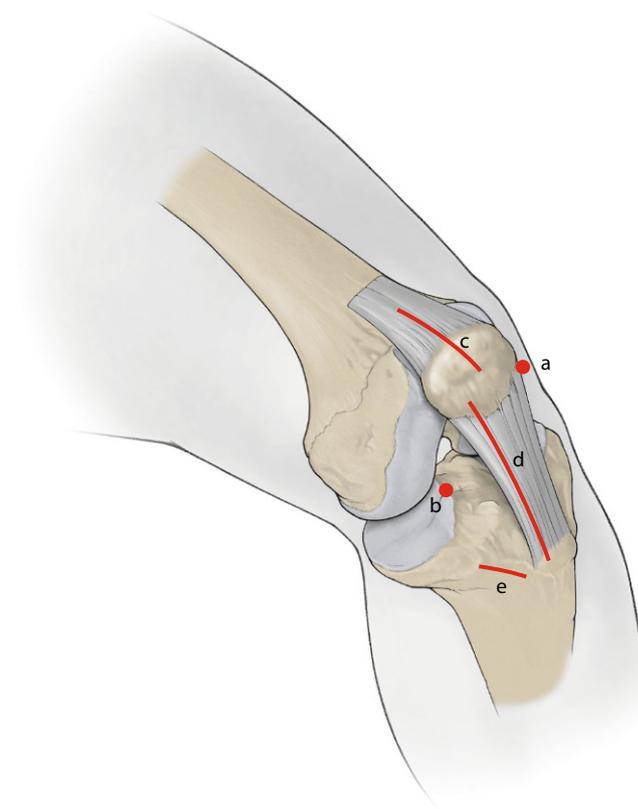


Abb. 5 ▲ Arthroskopieportale und Zugänge für die Entnahme der autologen Sehnentransplantate für eine Revisionsoperation nach vorderer Kreuzbandplastik. Anlage eines hohen anterolateralen Portals (a) zum Einbringen des Arthroskops und eines tiefen anteromedialen Bohrportals (b) zur Anlage und Präparation des femoralen Knochentunnels. Vorbestehende Inzisionen müssen nicht zwangsläufig verwendet werden. Je nach Transplantatwahl erfolgt die Transplantatentnahme entweder über eine ca. 3 cm lange Inzision über dem proximalen Patellapol (Quadrizepssehne), über eine 4–5 cm lange Inzision medial der Patellarsehne (Patellarsehne) oder über einen ca. 3 cm langen Schrägschnitt ca. 1 cm distal und medial der Tuberositas tibiae (Semitendinosussehne). Bei Verwendung der Quadrizepssehne ist ein weiterer ca. 2 cm langer Zugang am medialen Tibiakopf für die Anlage des tibialen Bohrkanals erforderlich. Die Peroneussehnen-Split-Graft-Entnahme erfolgt über einen 2 cm langen Schnitt etwa 2 cm proximal und dorsal des distalen Malleolus lateralis [24]. c Inzision für die Entnahme der Quadrizepssehne, d Inzision für die Entnahme der Patellarsehne, e Inzision für die Entnahme der Beugesehen

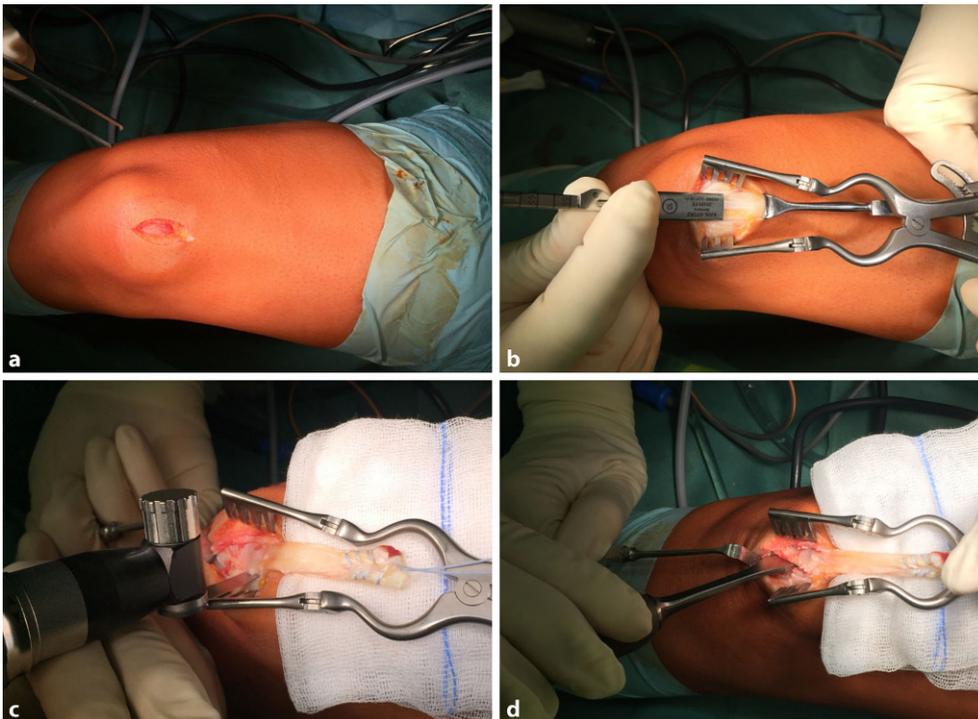


Abb. 6 ▲ Eine ca. 4 cm lange Hautinzision zur Entnahme des Quadrizepssehnentransplantats erfolgt am oberen Patellapol und die Quadrizepssehne wird nach Inzision der Faszie dargestellt (a). Mit einer Doppelklinge wird ein 10 mm breiter Sehnenstreifen auf eine Länge von ca. 65 mm geschnitten; mit einer Schere oder einem speziellen Sehnenseparator wird das Transplantat vom gelenknahen Sehnenblatt sowie proximal abgetrennt (b). In der Verlängerung der Ränder des Sehnenstreifens wird ein Knochenblock von 8–10 mm Breite und 1,5–2 cm Länge mit einer oszillierenden Säge unter kontinuierlicher Spülung gesägt (c). Anschließend wird im distalen Anteil des Blocks ein Loch gebohrt (Durchmesser ca. 2 mm) und der Block mit einem Meißel aus der Patella gelöst (d). (Aus [5])

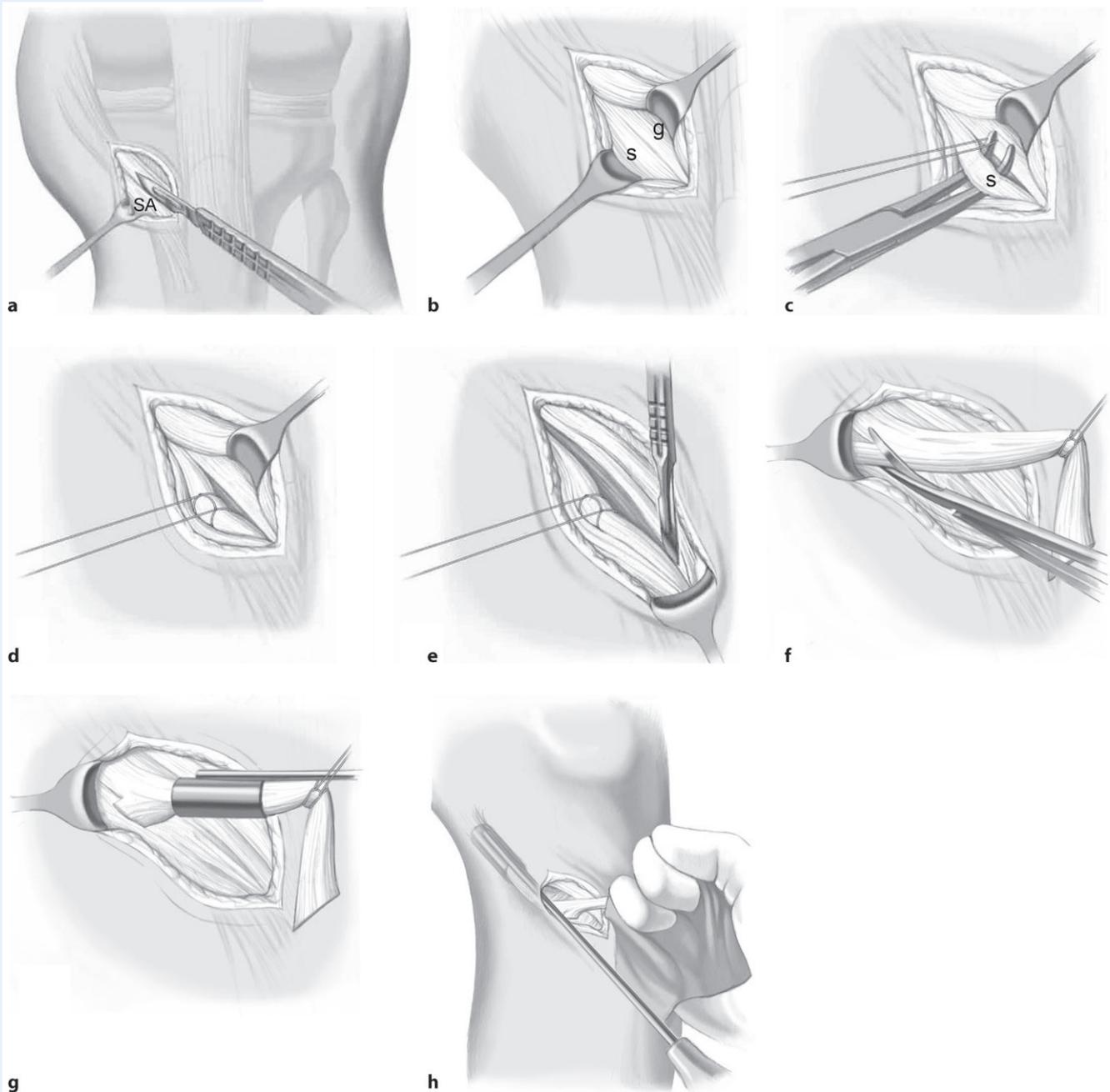


Abb. 7 ▲ Zur Entnahme der Semitendinosussehne wird ein ca. 3 cm langer schräger Hautschnitt ca. 1 cm distal und medial der Tuberositas tibiae angelegt (a; [17]) und danach die Satoriusaponeurose (SA) längs gespalten. Nach Spaltung der Sartoriusfaszie werden die Sehnen der Mn. semitendinosus (s) und gracilis (g) sichtbar (b). Zuerst wird die kaudal gelegene Sehne des M. semitendinosus mit einer Overholt-Klemme unterfahren (c) und mit einer Fadenschleife umschlungen (c, d). Danach wird die Sehne mit einem Skalpell am Ansatz im Bereich der Tuberositas tibiae abgelöst (e). Mit einer Schere werden die Verbindungen (der Semitendinosussehne zum M. gastrocnemius getrennt (f). Dabei wird die Sehne an der Fadenschleife gehalten. Anschließend wird die Sehne mit Hilfe der Fadenschleife in ein rundes Sehnenmesser („Sehnenstripper“) geführt (f) und die Sehne durch langsames Vorschieben parallel zur Oberschenkelachse entnommen. Dabei wird die Sehne mit einer feuchten Kompresse gehalten (h). Danach wird bei Bedarf die Ansatzsehne des M. gracilis auf gleiche Weise entnommen. Ab einer Länge von 26 cm reicht die Semitendinosussehne aus. (Aus [19])

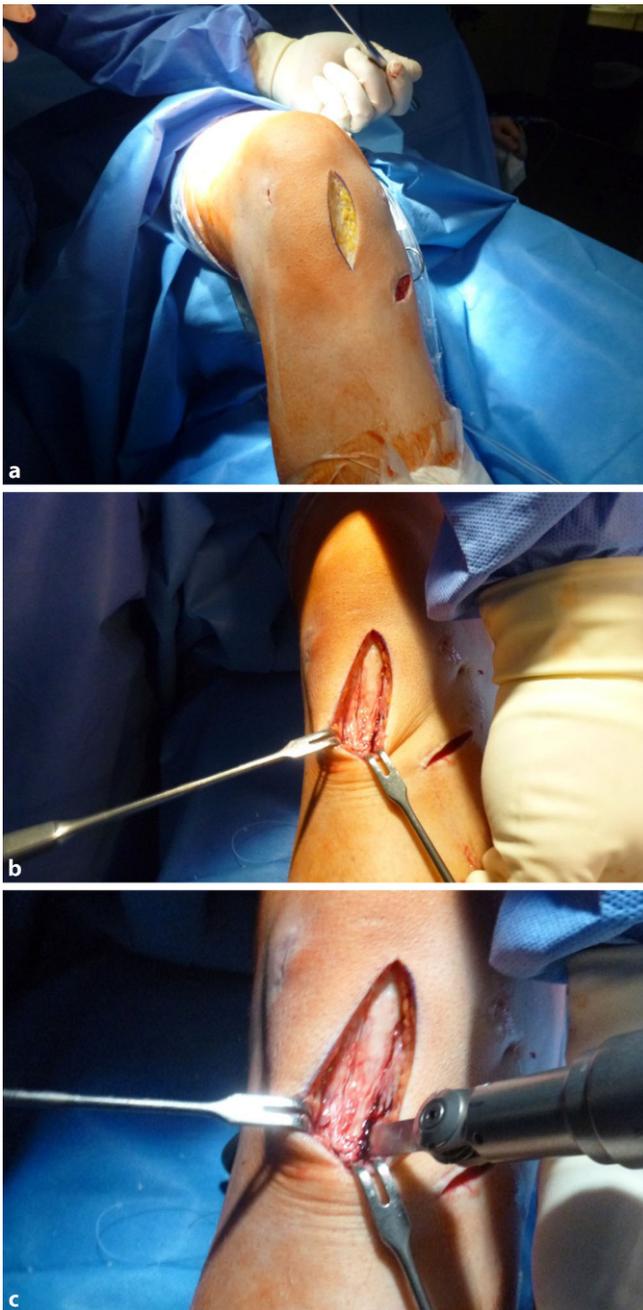


Abb. 8 ▲ a Inzision medial und parallel zur Patellarsehne, Spaltung des Subkutangewebes und des Peritendineums. b Aus dem medialen Drittel der Patellarsehne wird ein ca. 10 mm breiter Sehnenstreifen geschnitten. c Mit einer oszillierenden Säge wird aus der Tuberositas tibiae sowie aus dem unteren Patellapol jeweils ein Knochenblock mit einer Länge von 15–20 mm und einem Durchmesser von ca. 9 mm gelöst

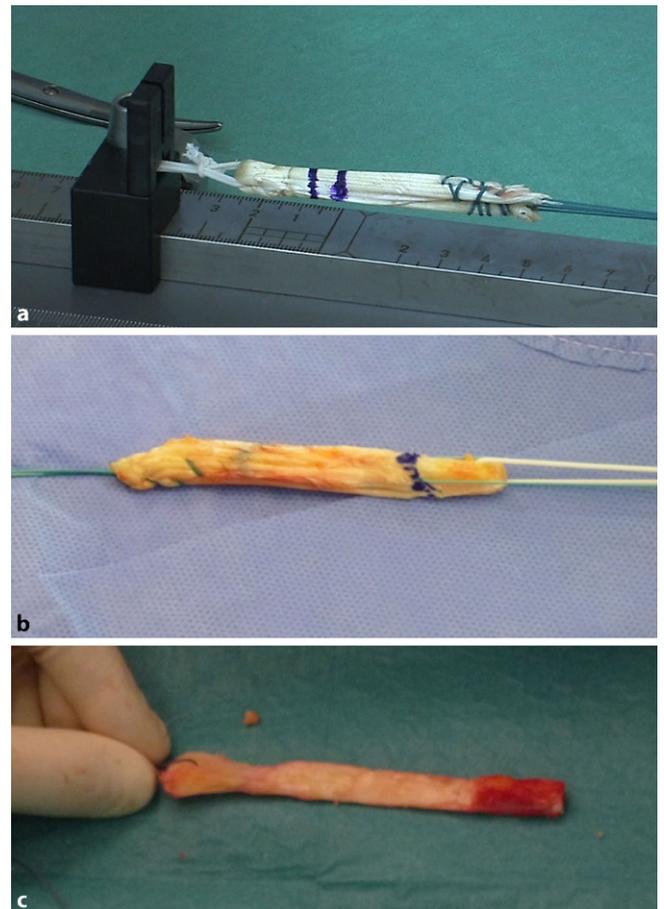


Abb. 9 ▲ Verschiedene autologe Sehnen transplantate zur Kreuzbandrekonstruktion: Semitendinosussehne ohne Knochenblock (a), Quadrizepssehne mit einem Knochenblock (b), autologe Patellarsehne mit zwei Knochenblöcken (c). (b aus [5])

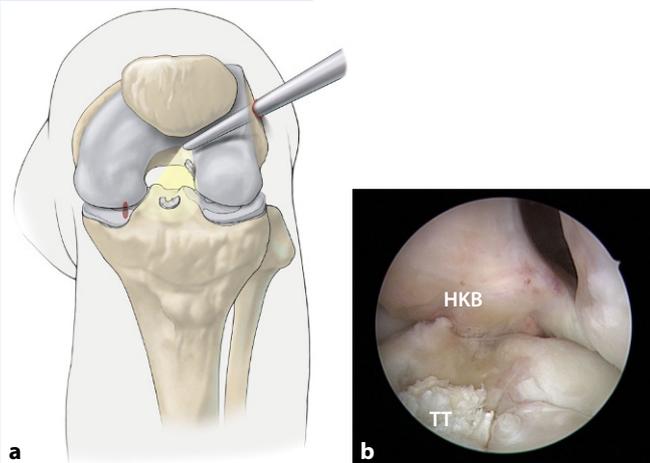


Abb. 10 ▲ Der intraartikuläre Teil der Operation beginnt mit einer diagnostischen Arthroskopie über das hohe anterolaterale Portal (a). Über dieses Portal wird die 4,5-mm-Standardoptik in das Gelenk geschoben. Dabei werden alle Kompartimente im Hinblick auf Knorpel- und Meniskusschäden, freie Gelenkkörper (Fixationsmaterialien) sowie auf Hinweise für Instabilitäten inspiziert. Begleitende Meniskusschäden werden entweder refixiert oder reseziert [10]. Bei viertgradigen Knorpelschäden erfolgt ggf. eine Mikrofrakturierung. Der tibiale Tunnel ist der Inspektion über das hohe anterolaterale Portal gut zugänglich (b). Der femorale Tunnel kann über das anterolaterale Portal nur schlecht dargestellt werden, da ein länglicher Knochenvorsprung die Sicht („Residents ridge“) versperrt (s. ▣ **Abb. 12**). Bei chronischen Instabilitäten können Osteophyten die Fossa intercondylaris verengen. In diesen Fällen beginnt die Kreuzbandersatzplastik mit einer Osteophytenresektion (Notch-Plastik). Zur Technik der Notch-Plastik siehe Petersen et al. [14]. HKB hinteres Kreuzband, TT tibialer Tunnel. (b aus [5])

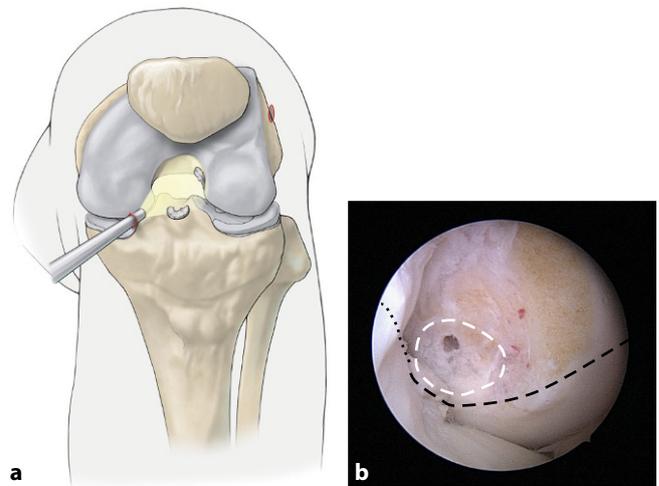


Abb. 11 ▲ Der Wechsel der Optik in das anteromediale Portal ermöglicht eine direkte Visualisierung der medialen Wand des lateralen Femurkondylus, da der Lichtkegel nahezu orthograd auf den Knochen trifft (a) [5]. Auf diese Weise wird der femorale Ansatz des vorderen Kreuzbandes (VKB) sichtbar und die Position eines vorhandenen Knochentunnels kann im Hinblick auf die normale femorale VKB-Insertion analysiert werden. (b aus [5]). Punktlinie Linea intercondylaris, schwarze gestrichelte Linie Knorpel-Knochen-Grenze, weiße gestrichelte Linie Femorale Insertion des VKB

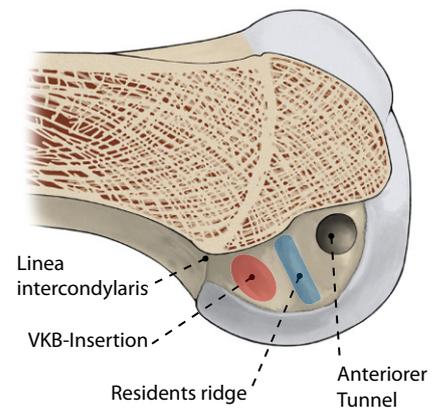


Abb. 12 ▲ Die Zeichnung zeigt den lateralen Femurkondylus in der Ansicht von medial [5]. Die femorale Insertion des vorderen Kreuzbandes (VKB) hat eine ovale Form und befindet sich im hinteren Drittel des lateralen Femurkondylus. Vor der Insertion befindet sich ein Grat, der auch als „Residents ridge“ bezeichnet wird. Dieser Grat erschwert die Übersicht über die femorale Insertionszone des VKB, wenn sich das Arthroskop im lateralen Portal befindet. Eine bessere Übersicht gelingt, wenn das Arthroskop über das mediale Portal in das Gelenk eingebracht wird. Bei fehlenden Kreuzbandfasern kann die Linea intercondylaris und die Knorpel-Knochen-Grenze der Orientierung dienen

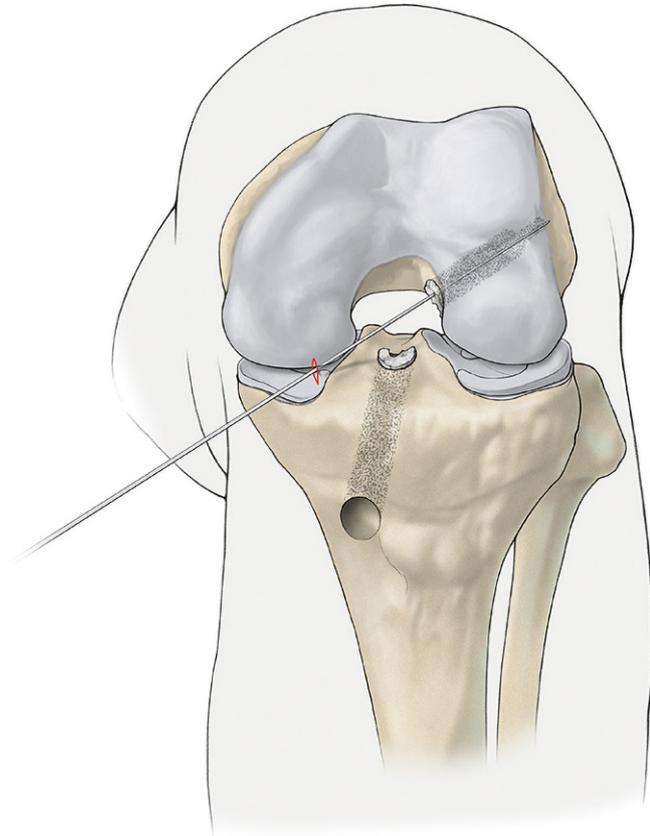


Abb. 13 ▲ Anatomische femorale Tunnellage: Bei anatomischer femoraler Tunnellage wird dieser zunächst mit dem Synovialresektor debridiert, sodass der Tunneleingang sichtbar ist. Dann wird der Tunneleingang mit einem Zieldraht, der über das mediale Portal eingebracht wird, sondiert. Alternativ kann der Zieldraht auch über den tibialen Tunnel in das Gelenk gebracht werden (transtibiale Technik). Das kann sinnvoll sein, wenn der alte Tunnel ebenfalls transtibial gebohrt wurde. Mehr Freiheit haben Zieldraht und Bohrer jedoch, wenn sie über das mediale Portal eingebracht werden. Das Kniegelenk muss bei der Anlage und Präparation des femoralen Tunnels in der medialen Portaltechnik mehr als 110° gebeugt sein

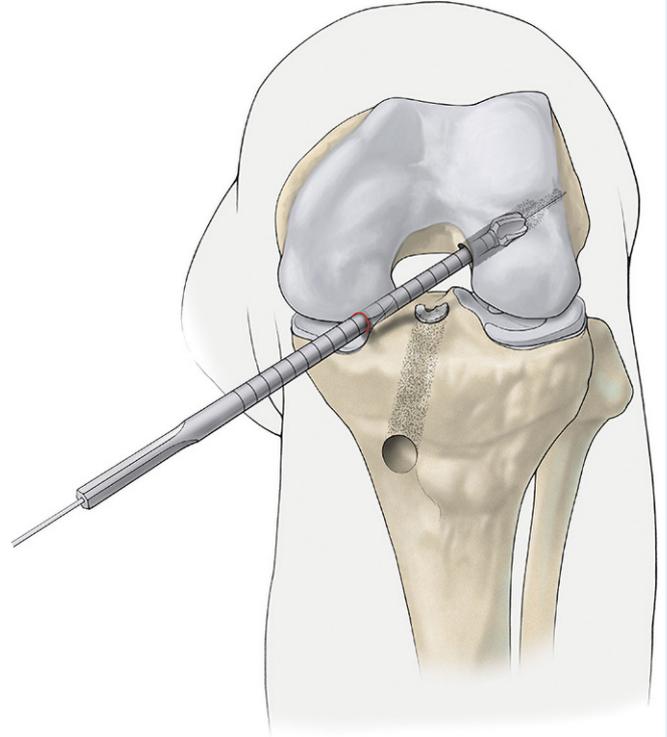


Abb. 14 ▲ Anatomische femorale Tunnellage: Der Zieldraht wird zunächst auf voller Länge mit dem schmalsten Bohrer (4,5-mm-Durchmesser) überbohrt. Anschließend wird die Tunnellänge mit einer speziellen Messlehre gemessen. Danach wird der Tunnel in den distalen 30 mm schrittweise aufgebohrt und auf diese Weise Transplantatreste entfernt. Der Tunnel wird schrittweise soweit aufgebohrt, bis die Schneideblätter des Bohrers die osäre Tunnelwand erreichen

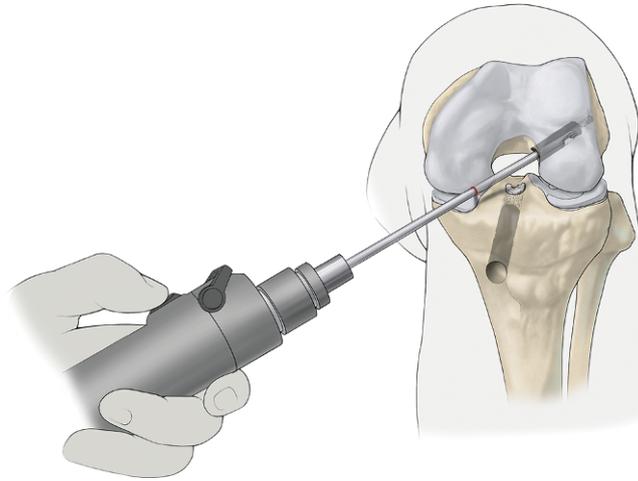


Abb. 15 ◀ Anatomische femorale Tunnellage: Anschließend wird die knöcherne Tunnelwand solange mit einem Löffel oder einem motorgetriebenen Synovialresektor debridiert, bis alle Transplantatreste entfernt sind



Abb. 16 ▲ Anatomische femorale Tunnellage: Arthroscopische Darstellung eines bereits präparierten femoralen Knochentunnels. *Gepunktete Linie* Linea intercondylaris. *Gestrichelte Linie* Knorpel-Knochen-Grenze. (Aus [5])

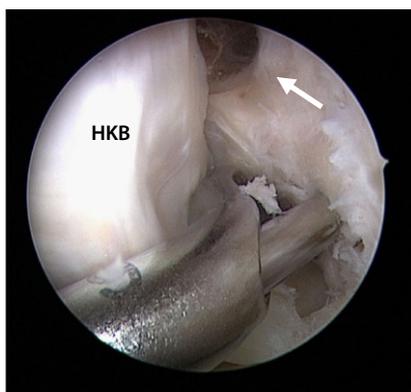


Abb. 17 ▲ Nichtanatomische femorale Tunnellage: Arthroscopische Darstellung eines nicht-anatomischen femoralen Knochentunnels mit liegender Interferenzschraube (*Pfeil*). Unter dem nichtanatomischen hoch angelegten femoralen Tunnel („High-noon“-Position) kann mit einem speziellen Portalzielgerät ein Zieldraht für die neue Tunnelanlage im Insertionsgebiet des vorderen Kreuzbandes (VKB) platziert werden. *HKB* hinteres Kreuzband. (Aus [5])

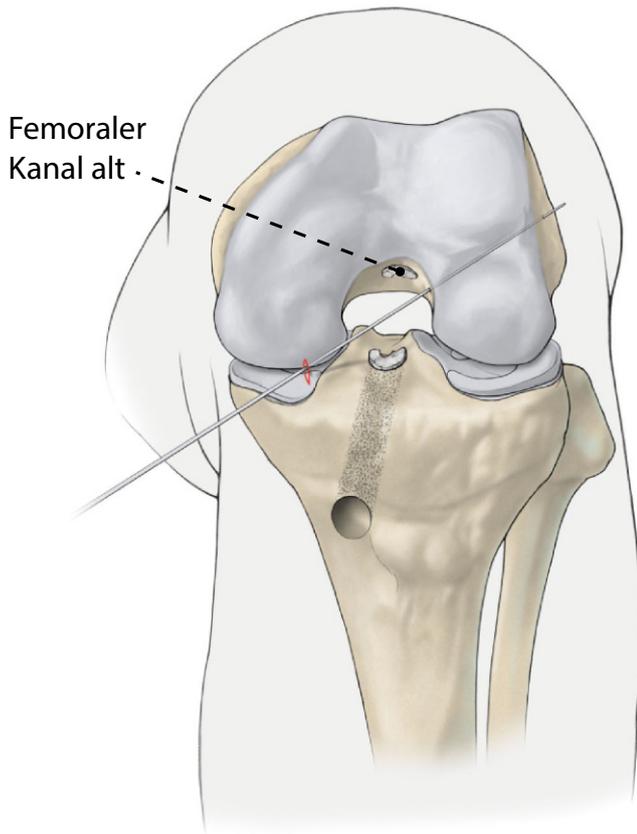


Abb. 18 ▲ Nichtanatomische femorale Tunnellage: Nach Entfernung des Portalzielgeräts verbleibt der Zieldraht im Knochen

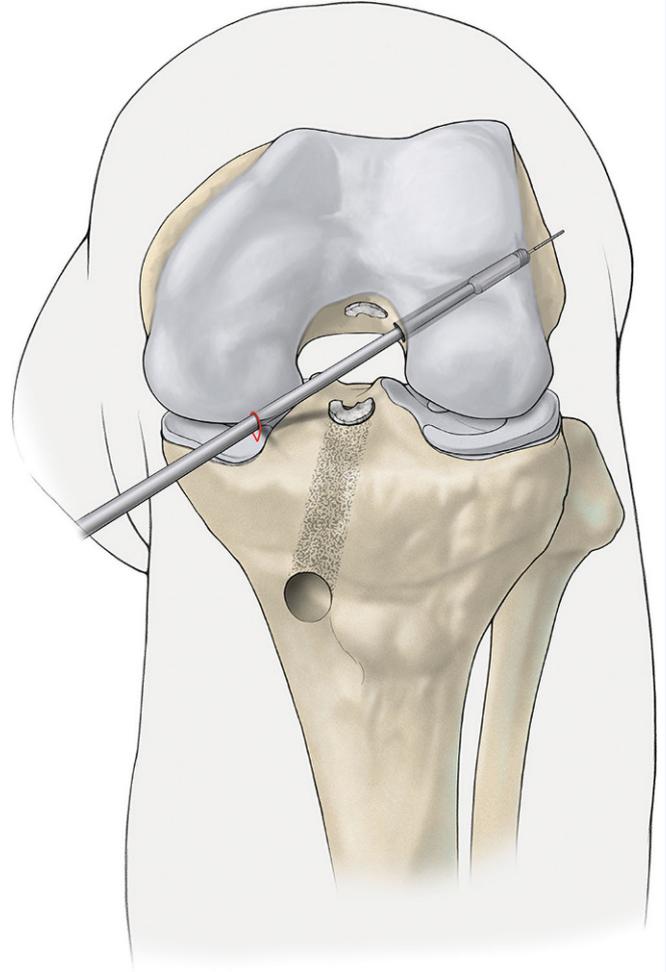


Abb. 19 ▲ Nichtanatomische femorale Tunnellage: Der Zieldraht wird komplett mit einem 4,5-mm-Bohrer überbohrt

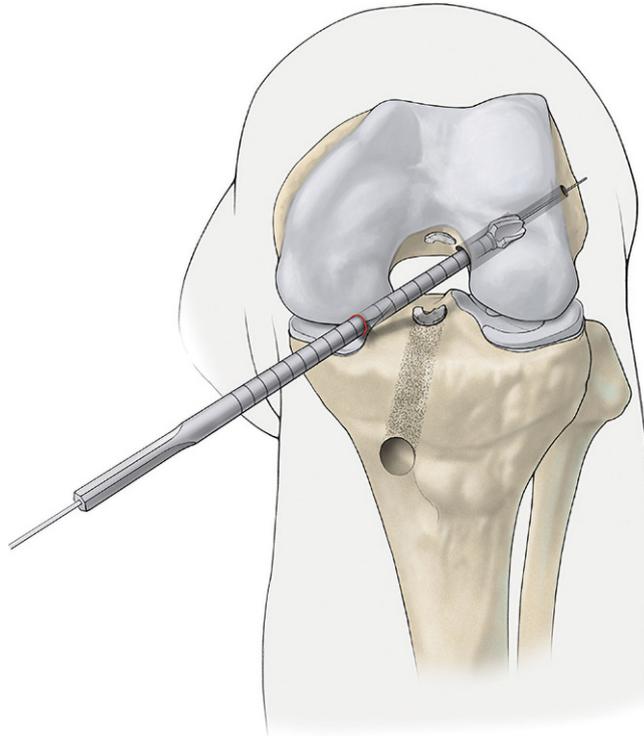


Abb. 20 ◀ Nichtanatomische femorale Tunnellage: Nach der Bestimmung der Tunnellänge erfolgt das schrittweise Aufbohren des Sacklochs mit Kopfbohrern

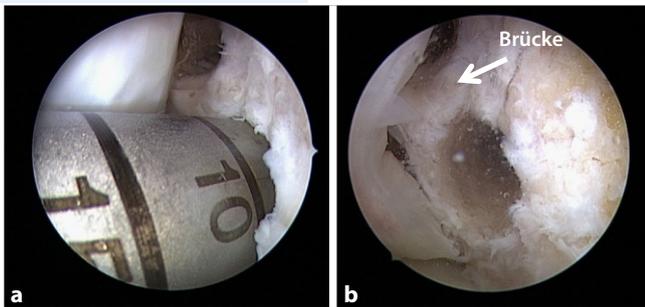


Abb. 21 ▲ Nichtanatomische femorale Tunnellage: Arthroscopische Darstellung der femoralen Tunnelpräparation bei nichtanatomischer Lage des Primärtunnels. Um die Knochenbrücke zum alten Tunnel zu schonen, wird empfohlen, die letzten Millimeter des Tunneldurchmessers zu dilatieren (a). Zum Dilatieren wird ein sog. Klingendilatator verwendet. Dieser ermöglicht ein schonendes Weiten des Tunnels, ohne die Gefahr die Tunnelwand zu sprengen. Man beachte die dünne Knochenbrücke zum alten Tunnel (b). (Aus [5])

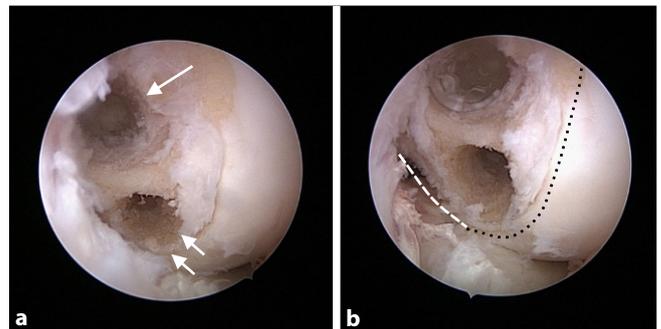


Abb. 22 ▲ Nichtanatomische femorale Tunnellage (Pfeil): Femorales Tunnelmanagement bei hoher und vorderer Fehllage des vorherigen Tunnels. Im Tunnel befanden sich nur Fasern des alten Transplantats (keine Interferenzschraube), da zur femoralen Fixation ein Kippanker verwendet wurde. Der neue Tunnel konnte posterior im Bereich der anatomischen VKB-Insertion platziert werden (Doppelpfeil). Da ein Einbrechen des Transplantats in den ehemaligen nichtanatomischen Knochentunnel befürchtet wurde, wurden die Transplantatreste aus dem ehemaligen Tunnel entfernt und die Tunnelwand mit dem Synovialresektor debridiert (a). Anschließend wurde der ehemalige femorale Tunnel mit einer resorbierbaren Interferenzschraube augmentiert (b). (Aus [5])

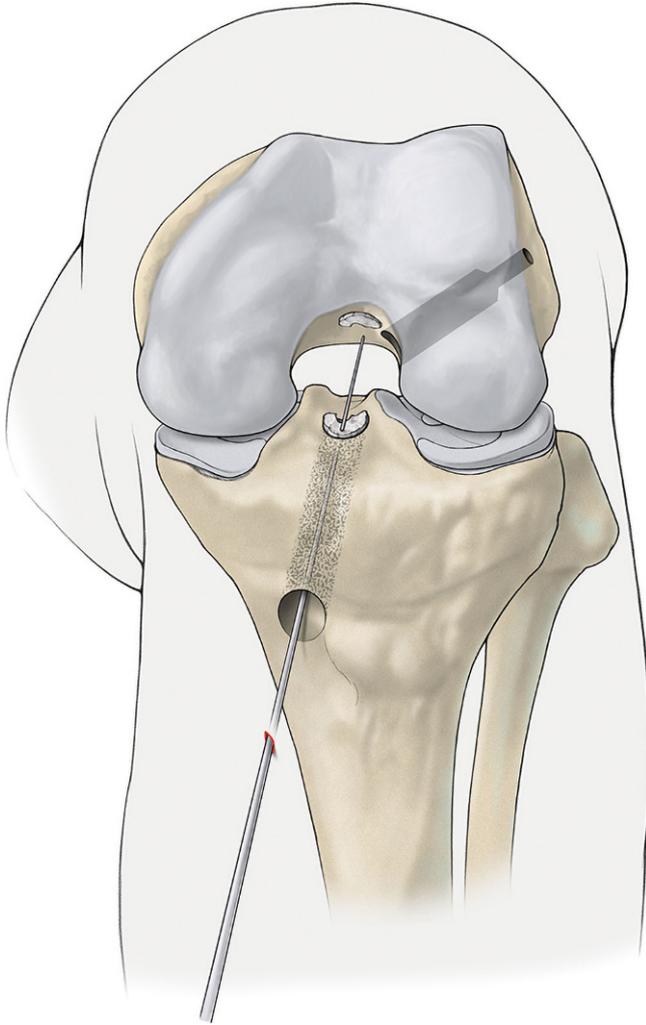


Abb. 23 ◀ Tibiale Tunnelpräparation bei anatomischer Tunnellage. Extraanatomische Tunnellagen kommen an der Tibia in der Praxis nur äußerst selten vor. Medial der Tuberositas tibiae wird die alte Inzision mit einem Skalpell geöffnet, die Tunnelöffnung aufgesucht und dann der Tunnel mit einem 2,5-mm-Zieldraht sondiert



Abb. 24 ▲ Arthroskopische Darstellung der gelenkseitig aus dem tibialen Tunnel herausragenden Zieldrahtspitze. (Aus [5])

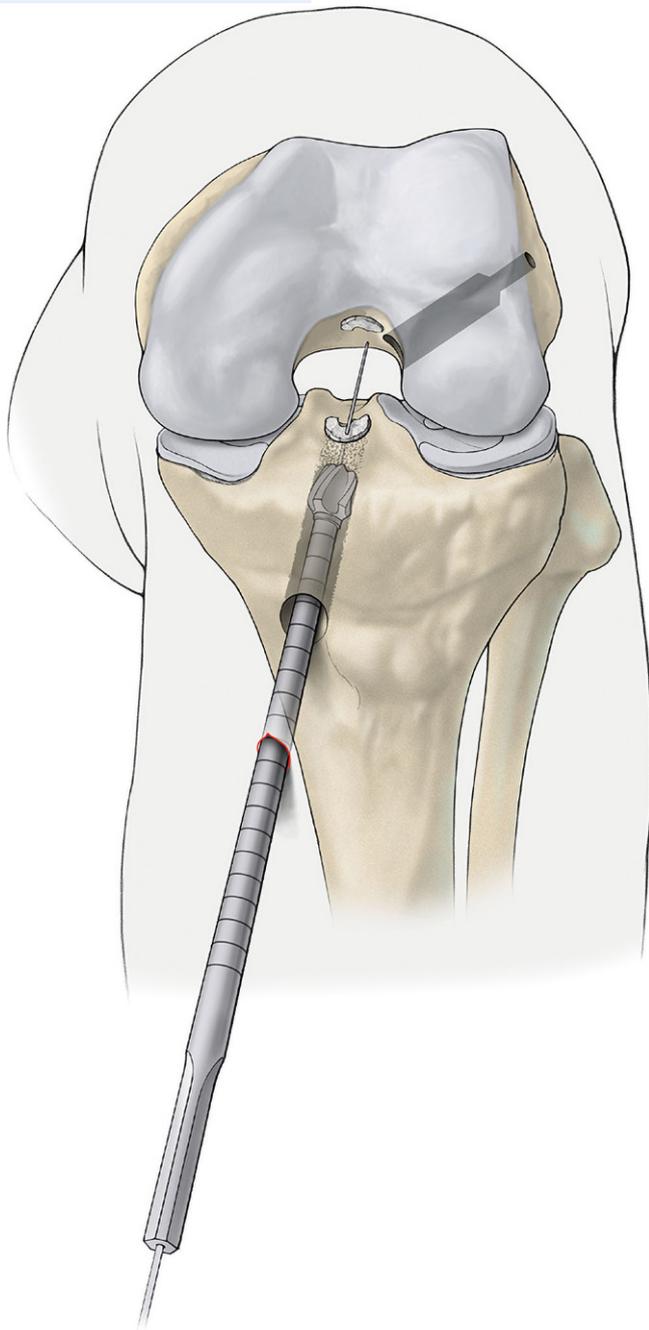


Abb. 25 ▲ Der Zieldraht wird anschließend mit Kopfbohrern schrittweise aufgebohrt und Reste der resorbierbaren Interferenzschraube sowie Transplantatreste werden entfernt

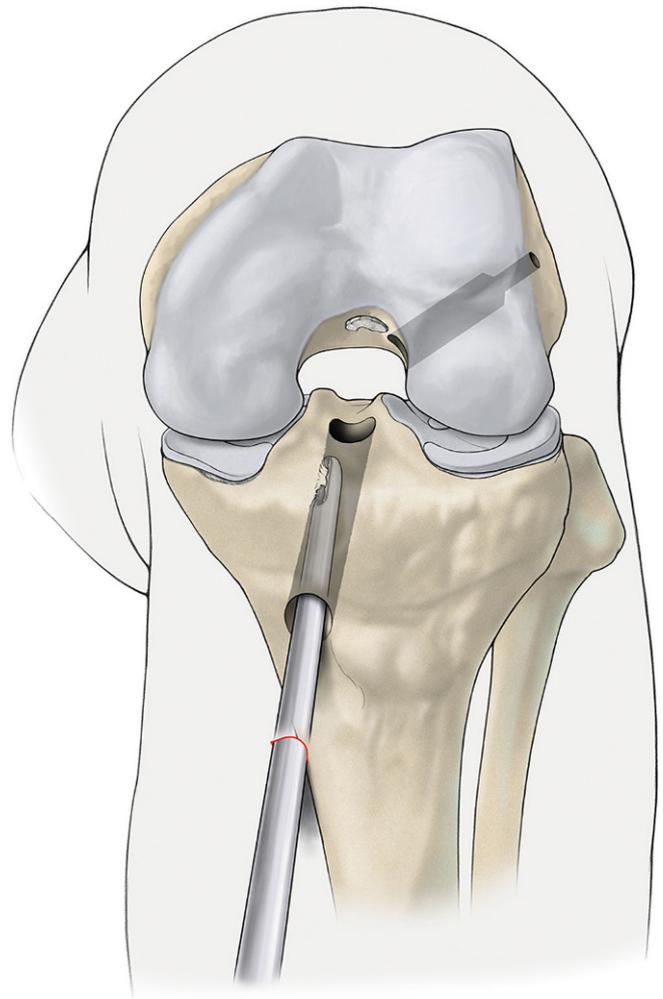


Abb. 26 ▲ Nachdem der letzte Bohrer die Tunnelwand berührt hat, erfolgt ein Débridement mit dem Synovialresektor, bis die Tunnelwand sichtbar ist und erste Blutungen im Knochen erkennbar sind



Abb. 27 ▲ Arthroskopische Darstellung des gelenkseitig aus dem tibialen Tunnel herausragenden Synovialresektors. (Aus [5])

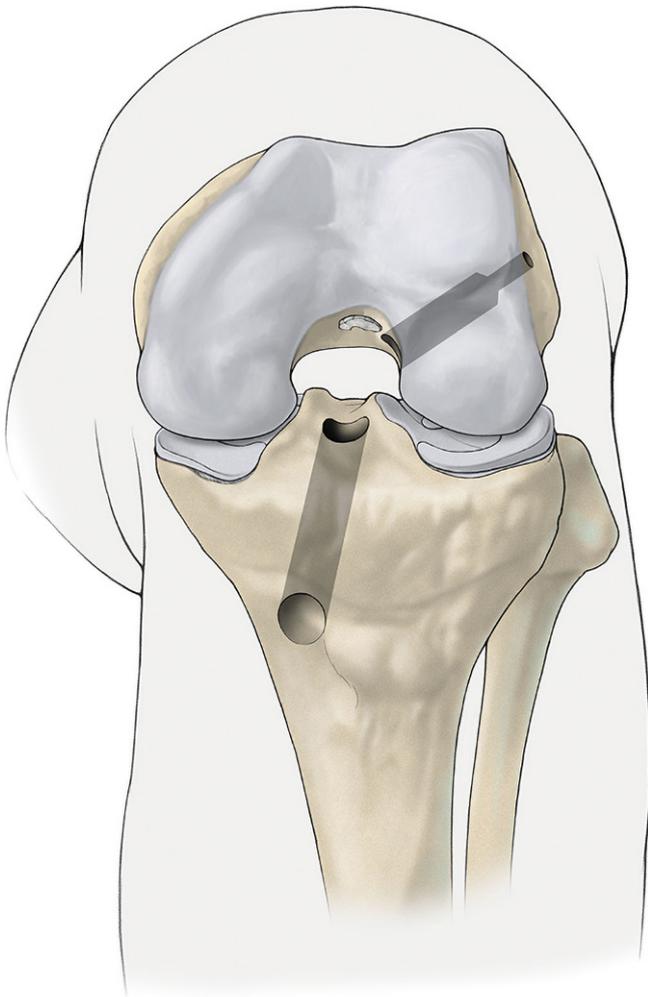


Abb. 28 ◀ Zeichnerische Darstellung des neu angelegten femoralen Tunnels unterhalb des alten femoralen Tunnels sowie des debridierten und präparierten alten tibialen Tunnels



Abb. 29 ▲ Einzug eines Knochenblocktransplantats (Quadrizepssehne; a). Der Knochenblock wird mit einem Stößel in den neu angelegten femoralen Tunnel gedrückt (b). Da der Durchmesser des Knochenblocks ca. 0,5–1 mm größer als der femorale Tunnel ist, verklemmt er sich im femoralen Tunnel („Press-fit“-Fixation, c; [2, 5, 25]). Die vorgestellte Operationstechnik erlaubt aber auch andere femorale Fixationsmethoden (z. B. Kippanker, Interferenzschrauben oder transversale Stifte). (Aus [5])

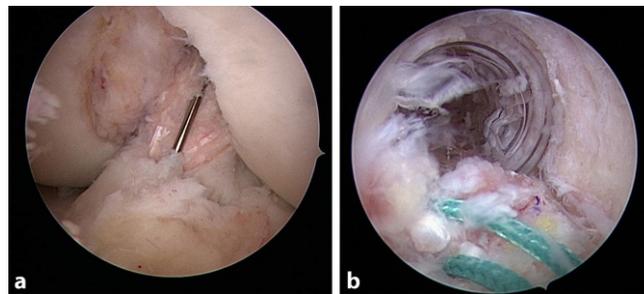


Abb. 30 ▲ Tibiale Hybridfixation mit resorbierbarer Interferenzschraube und Fixationsknopf. Zwischen Transplantat und anteriorer Tunnelwand wird ein schmaler Führungsdraht (Nitinoldraht) geschoben (a). Dann wird das Transplantat manuell gespannt und das Gelenk mehrfach von der Extension in die Flexion bewegt. Die Fixation des Transplantats erfolgt dann in ca. 20°-Beugung mit einer resorbierbaren Interferenzschraube. Die Schraube sollte bis zum distalen Transplantatende eingedreht werden. Die Tiefe der Schraube kann kontrolliert werden, indem das Arthroskop über die gelenkferne Tunnelöffnung in den tibialen Tunnel geschoben wird (b). (Aus [5])

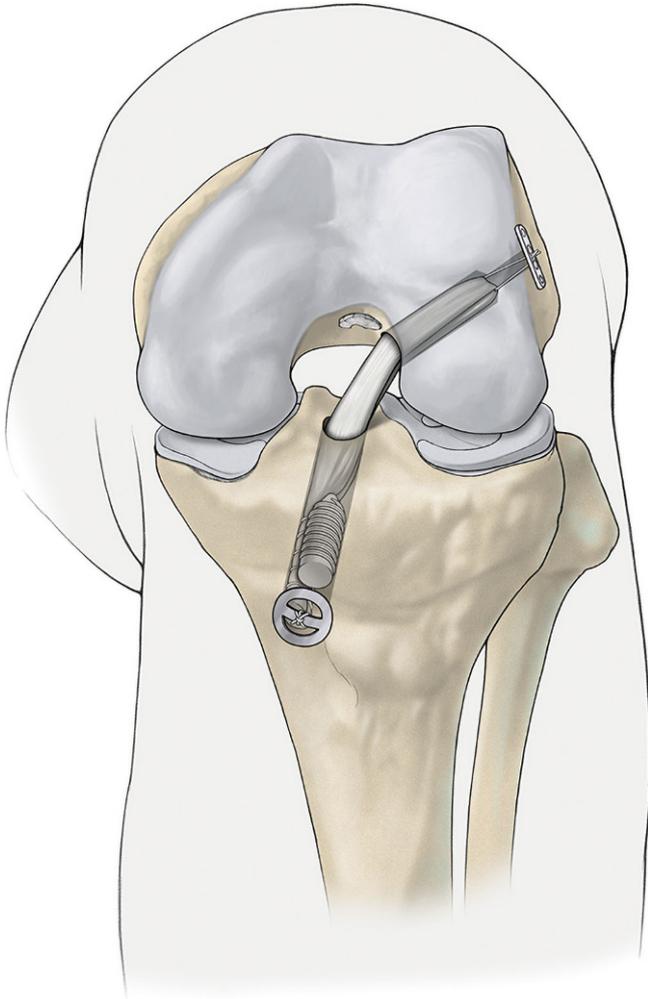


Abb. 31 ▲ Zeichnerische Darstellung einer primären Revisionsoperation bei nichtanatomischer Tunnelposition mit einem autologen Quadrizeps-sehnentransplantat mit Knochenblock und femoraler „Press-fit“-Fixation [26]. Tibiale Hybridfixation mit resorbierbarer Interferenzschraube und Fixationsknopf

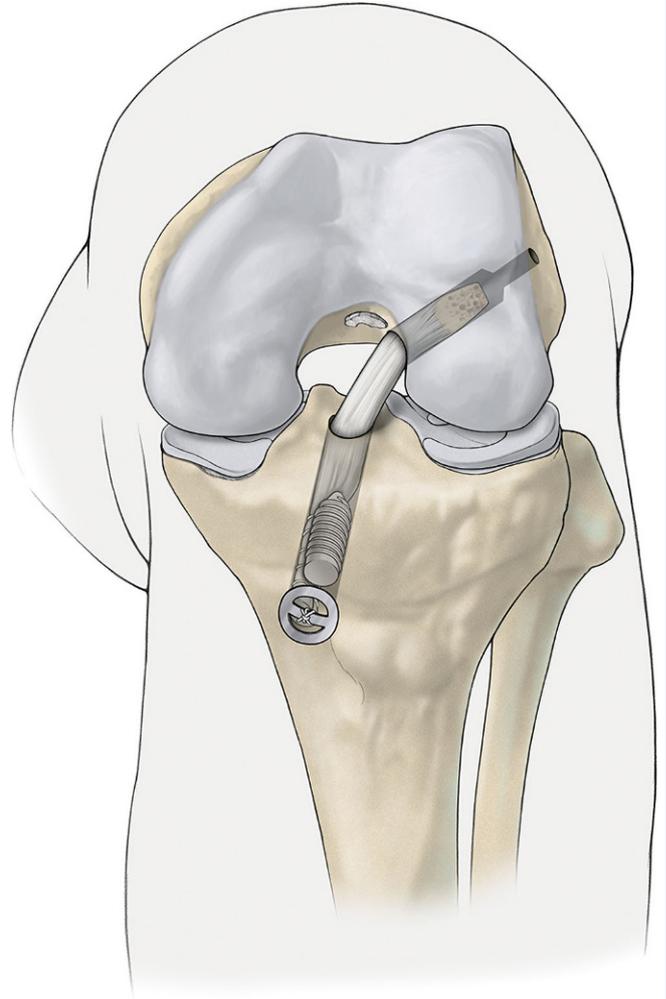


Abb. 32 ▲ Zeichnerische Darstellung einer primären Revisionsoperation bei nichtanatomischer Tunnelposition mit einem autologen Semitendinosus-Gracilis-Sehnentransplantat. Die femorale Fixation erfolgte mit einem Kippanker. Tibial erfolgte eine Hybridfixation mit resorbierbarer Interferenzschraube und Fixationsknopf

| Tab. 3 Phasen der Nachbehandlung | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|
| | Phase I | Phase II | Phase III | Phase IV | Phase V |
| Ziele | Schmerzen, Schwellung und Entzündung kontrollieren | Minimaler Schmerz und geringe Schwellung | Weitere Verbesserung von Ausdauer, Kraft und Koordination | Fähigkeit schmerzfrei und sicher zu laufen und sicher zu springen | Ausübung von Sport ohne Verletzung |
| | Beweglichkeit steigern | Weitere Verbesserung der Beweglichkeit | | | |
| | Quadrizepsaktivierung erzielen | Normalisierung des Gangs unter voller Last Weitere Verbesserung der Muskelkraft | | Maximierung von Kraft, Ausdauer, Balance und Agilität | |
| Maßnahmen | Teilbelastung 10–20 kg | Übergang auf Vollbelastung im schmerzfreien Bereich | Bewegungsübungen, bis das Bewegungsausmaß der kontralateralen Seite erreicht ist | Krafttraining vom Kraftausdauerbereich in Richtung Maximalkraft | Wiedereinstieg in das individualisierte eingeschränkte Mannschaftstraining |
| | Kryotherapie | Bewegungsübungen bis E/F 0–0–120° | Übungen in geschlossener oder offener Kette | Komplexes Balance-training | Fortsetzung des Kraft-, Balance-, Lauf- und Sprungtrainings |
| | Bewegungsübungen bis E/F 0–0–90° | Quadrizepsinnervationsschulung aus Phase I (Anheben des gestreckten Beins) | Schmerzadaptierter Übergang vom Kraftausdauerbereich zum Widerstandstraining | Steigerung des Lauftrainings hinsichtlich Dauer und Geschwindigkeit | Stop-X-Programm |
| | Dehnübungen in die Streckung auf 0° | Übungen für den M. quadriceps in geschlossener Kette oder im Sicherheitsbereich von 90–40° | Komplexere Balanceübungen | Agilitätstraining | Ggf. bewegliche Orthese (bei sportartspezifischen Übungen) |
| | Quadrizepsaktivierung (ggf. mit EMS) | Beinpresse 0–0–60° | Korrektur des dynamischen Valgus | Plyometrisches Training | |
| | Gestrecktes Bein anheben (Kokontraktion) | Isotonische Übungen im Ausdauerbereich | Training der Hüftabduktoren und Außenrotatoren | Korrektur des dynamischen Valgus | |
| | Aktiv assistierte Streckübungen 0–90° | Hüftabduktorentraining | Leichte Laufübungen auf dem Laufband | Übungen in Eigenregie | |
| | Patellamobilisierung | Einfache Balanceübungen | Übungen in Eigenregie | Stop-X-Programm | |
| | Aktive Beugung | Gehtraining auf dem Laufband | Ggf. bewegliche Orthese bei gefährdenden Übungen | Ggf. bewegliche Orthese (bei sportartspezifischen Übungen) | |
| | Hüftübungen | Ausdauertraining auf dem Ergometer | | | |
| | Mini-Kniebeuge | Übungen in Eigenregie | | | |
| | Beinpresse mit geringem Gewicht beidseits von 80–5°, wenn ROM: 0–0–90° | Bewegliche Orthese 0–0–120° | | | |
| | Übungen in Eigenregie | | | | |
| Immobilizer oder bewegliche Orthese geblockt bei 0° beim Gehen und in Ruhe (Nacht) | | | | | |

Postoperative Behandlung

- Es sollte eine phasen- und kriterienadaptierte Rehabilitation erfolgen (■ Tab. 3).
- Nach Wundverschluss Anlage eines Kompressionsverbands
- Das Nachbehandlungsschema gliedert sich in 4–5 Phasen:
 - Während der Entzündungsphase (1.–2. Woche, Phase I) steht die Schmerz- und Ergussprophylaxe im Vordergrund (Kühlung, isometrische Anspannungsübungen). Der Patient

Das Nachbehandlungsschema gliedert sich in Phase I–V

Tab. 3 (Fortsetzung)

| | Phase I | Phase II | Phase III | Phase IV | Phase V |
|------------------------|---|---|---|---|---|
| Kriterien für Progress | Beweglichkeit E/F 0–90° | Korrekte und weitgehend schmerzfremde Ausführung der Übungen | Korrekte und weitgehend schmerzfremde Ausführung der Übungen | Korrekte und weitgehend schmerzfremde Ausführung der Übungen | „Return to Sports“-Test (z. B. Algorithmus der DKG) |
| | Fähigkeit, das gestreckte Bein ohne Schmerzen und Quadrizepsverzögerung anzuheben | Nur minimaler Schmerz (VAS, NAS) und geringe Schwellung (Maßband) | Kein Schmerz (VAS, NAS) und keine Schwellung | Ausreichende Kraft (80 % LSI) | Basiskriterien: Ergussneigung, passive Stabilität und Beweglichkeit: A oder B (IKDC-Klassifikation) |
| | Belastbarkeit und Übungen der betroffenen Extremität ohne Schmerz | ROM: E/F 0–120° (Goniometer) | Nahezu volle Beweglichkeit | Beinachsenkontrolle im Drop-Jump-Test: kein dynamisches Genu valgum | Kraft, LSI >85 % |
| | Geringer Erguss und geringe Schwellung | Weitgehend normales Gangbild | Quadrizeps- und Beugerkraft (Isokinetik: 75 % der Gegenseite [LSI]) | Dynamische Stabilität im Front-Hop-Test, LSI >80 % | Sprungtests, LSI >85 % |

DKG Deutsche Kniegesellschaft, E/F Extension/Flexion, EMS Elektrische Muskelstimulation, IKDC International Knee Documentation Committee, LSI Limb Symmetry Index, NAS numerische Analogskala für Schmerz, ROM „range of motion“, VAS visuelle Analogskala Schmerz

belastet mit 20-kg-Teilkörpergewicht. Für die Phase der Teilbelastung sollte eine medikamentöse Thromboseprophylaxe durchgeführt werden.

- Während Phase II (2.–6. Woche) können Belastung und Beweglichkeit gesteigert werden. Ziel ist das Erreichen der vollen Streckung, der Vollbelastung und einer Beugung von 120°. Übungen sollten in geschlossener Kette durchgeführt werden.
- In Phase I und II wird eine Orthese empfohlen.
- Während Phase III (ab. 6. Woche) stehen Kraftaufbau und Koordinationsübungen im Vordergrund.
- In Phase IV stehen Balance-, Kraft- und Sprungübungen im Vordergrund.
- Phase V kommt bei Leistungssportler mit dem Einstieg in das individualisierte Mannschaftstraining zum Tragen. Die Wiederkehr zum Wettkampfsport sollte nicht vor dem 6.–10. Monat erfolgen. Vorher sollte ein spezieller Test absolviert werden, bei dem funktionelle Parameter erfasst werden (s. Empfehlungen des Ligamentkomitees der Deutschen Kniegesellschaft, DKG [7]).

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Brechen der Brücke zum alten Bohrkanaal mit der Entstehung eines sehr großen Defekts, der eine Fixation des Transplantats unmöglich und eine Auffüllung des Defekts notwendig macht
- Verletzung des Knorpels am medialen Femurkondylus beim Bohren des femoralen Tunnels über das mediale Portal: Portalanlage in Kanülentechnik
- Verklemmen des Transplantats beim Einzug: Die Knochenblocklänge sollte 20 mm nicht übersteigen.
- Schwellung des Unterschenkels durch Austritt von Spülflüssigkeit: Wickeln des Unterschenkels mit einer sterilen Binde.
- Arthrofibrose: Frühzeitige passive Bewegungsübungen
- Höheres Infektionsrisiko durch längere Operationszeit als bei einer Primäroperation: Inkubation des Transplantats in Vancomycinlösung, Verkürzung der OP Zeit durch sorgfältige präoperative Planung
- Tunnelweitung: Vermeidung nicht anatomischer Tunnelpositionen.
- Verbleib abgebrochener Instrumente im Gelenk: Prüfung der Instrumente auf Intaktheit bevor sie in das Gelenk eingebracht werden.

Bei Leistungssportler schließt sich mit dem Einstieg in das individualisierte Mannschaftstraining Phase V an

Nach einem Durchbruch zum alten Bohrkanaal ist eine Fixation des Transplantats unmöglich

Die klinischen Ergebnisse waren bei beiden verwendeten Transplantaten in Bezug auf Kniestabilität und -funktion ähnlich

Ergebnisse

In diese Studie eingeschlossen wurden 51 Patienten mit Rezidivinstabilität nach VKB-Plastik, bei denen im Zeitraum von Januar 2010 bis Dezember 2012 ein primärer Reersatz des VKB entweder mit ipsilateralen Knochen-Quadrizepssehnen-Transplantaten oder kontralateralen Semitendinosus-Gracilis-Transplantaten durchgeführt wurde [26]. Alle Patienten hatten entweder anatomische oder nichtanatomische Bohrkanaalpositionen ohne signifikante Bohrkanaalweitung (>11 mm) und eigneten sich damit für eine primäre Replastik. Alle Patienten wurden prospektiv mit KT-1000-Arthrometer-Tests, mit dem objektiven **IDKC-Score** (International Knee Documentation Committee), dem **Lysholm-Score**, dem Knee-Osteoarthritis-Outcome-Score (**KOOS**) sowie im Hinblick auf einen vorderen Knieschmerz untersucht.

Nach einer Nachuntersuchungszeit von 2 Jahren betrug der Seit-zu-Seit-Unterschied für die anteriore tibiale Translation gemessen mit dem **KT-1000-Arthrometer** $2,0 \pm 1,2$ mm in der Quadrizeps-Gruppe und $3,0 \pm 2,9$ mm in der Semitendinosus-Gracilis-Gruppe. Der Unterschied war nicht statistisch signifikant ($P=0,461$). Es gab auch keinen Unterschied in der Rate positiver Pivot-shift-Tests zwischen den Gruppen ($P=0,661$). Der Lysholm-Score betrug $82,5 \pm 18$ in der Quadrizeps-Gruppe und $73,8 \pm 19$ in der Semitendinosus-Gracilis-Gruppe. Trotz der Tendenz zu besseren Ergebnissen in der Quadrizeps-Gruppe war der Unterschied nicht signifikant ($P=0,060$). Es gab auch keinen signifikanten Unterschied in den einzelnen KOOS-Subscores sowie in der Häufigkeit des vorderen Knieschmerzes. Es trat keine Reruptur auf.

Diese Ergebnisse erlauben folgende Schlussfolgerungen: Die Revisions-VKB-Rekonstruktion unter Verwendung des Quadrizepssehnentransplantats zeigte ähnliche klinische Ergebnisse wie das kontralaterale Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Bezug auf Kniestabilität und -funktion. Verglichen mit den Ergebnissen von Studien über Primäroperationen war in den objektiv erfassten Stabilitätswerten kein Unterschied zu sehen. Die subjektiven „patients reported outcome measures“ (**PROM**) waren nach den Revisionsoperationen in Übereinstimmung mit Mitteilungen aus der Literatur schlechter als nach einer primären VKB-Plastik [1, 23].

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. W. Petersen

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus
Caspar Theysstraße 27–31, 14193 Berlin, Deutschland
wolf.petersen@pgdiakonie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Gemäß der Richtlinien des Springer Medizin Verlags werden Autoren und Wissenschaftliche Leitung im Rahmen der Manuskripterstellung und Manuskriptfreigabe aufgefordert, eine vollständige Erklärung zu ihren finanziellen und nichtfinanziellen Interessen abzugeben.

Autoren. **W. Petersen:** Finanzielle Interessen: AAP Implantate: Lunchworkshop auf dem DKOU-Kongress am 24.10.2018; Plasmaconcept: Lunchworkshop auf dem DKOU-Kongress am 24.10.2018; Otto Bock: Lunchworkshop auf dem DKOU-Kongress am 25.10.2018; DIZG: Lunchworkshop auf dem Sylter Arthroskopikurs am 17.11.2018 – Beraterhonorare: Firma Karl Storz, Firma Otto Bock. Nichtfinanzielle Interessen: Angestellter Orthopädie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin | Institutsleiter, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin | Vize-Präsident, der Deutschen Kniegesellschaft | Vorstandsmitglied der GOTS. **K. Karpinski** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: Ärztin in Weiterbildung, Martin-Luther-Krankenhaus Berlin, Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie | Mitgliedschaften: AGA, DGOU. **S. Bierke:** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: S. Bierke gibt an, dass kein nichtfinanzieller Interessenkonflikt besteht. **T. Hees** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: T. Hees gibt an, dass kein nichtfinanzieller Interessenkonflikt besteht. **M. Häner** gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: Assistenzarzt Orthopädie und Unfallchirurgie am Martin-Luther-Krankenhaus Berlin | Mitglied der AGA und GOTS.

Wissenschaftliche Leitung. Die vollständige Erklärung zum Interessenkonflikt der Wissenschaftlichen Leitung finden Sie am Kurs der zertifizierten Fortbildung auf www.springermedizin.de/cme.

Der Verlag erklärt, dass für die Publikation dieser CME-Fortbildung keine Sponsorengelder an den Verlag fließen.

Eine Genehmigung der Ethikkommission der Charité für die dem Artikel zugrundeliegende klinische Studie liegt vor.

Literatur

- Gifstad T, Drogset JO, Viset A, Grøntvedt T, Hortemo GS (2013) Inferior results after revision ACL-reconstructions: a comparison with primary ACL reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21(9):2011–2018
- Forkel P, Petersen W (2014) Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament with the autologous quadriceps tendon. Primary and revision surgery. *Oper Orthop Traumatol* 26(1):30–42
- Häner M, Bierke S, Petersen W (2016) Anterior cruciate ligament revision surgery: Ipsilateral quadriceps versus Contralateral Semitendinosus-Gracilis Autografts. *Arthroscopy* 32(11):2308–2317
- Petersen W, Hees T, Karpinski K, Bierke S (2017) Knöchelne Deformitätenkorrektur bei vorderer Instabilität?: „Slope“ und „varus thrust“, Bony deformity correction and anterior instability?: „Slope“ and „varus thrust“. *Sportorthopädie Sporttraumatologie* 33(4):379–39e
- Petersen W, Karpinski K, Bierke S, Häner (2018) Einzeitige Revision nach vorderer Kreuzbandplastik mit autologer Quadrizepssehne. *Arthroscopie* 31:193–195
- Tischer T, Paul J, Pape D, Hirschmann MT, Imhoff AB, Hinterwimmer S, Feucht MJ (2017) The impact of osseous Malalignment and realignment procedures in knee ligament surgery: a systematic review of the clinical evidence. *Orthop J Sports Med* 5(3):2325967117697287
- Trojani C, Sbihi A, Djian P, Potel JF, Hulet C, Jouve F, Bussièrre C, Ehkirch FP, Burdin G, Dubrana F, Beauflis P, Franceschi JP, Chassaing V, Colombet P, Neyret P (2011) Causes for failure of ACL reconstruction and influence of meniscectomies after revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(2):196–201
- Hees T, Petersen W (2018) The anterior closed wedge osteotomy for the correction of increased anterior slope in ACL deficient patients. *Arthrosc Tech* 7(11):e1079–e1087. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2018.07.003>
- Mehl J, Diermeier T, Herbst E, Imhoff AB, Stoffels T, Zantop T, Petersen W, Achtnich A (2018) Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch Orthop Trauma Surg* 138(1):51–61
- Petersen W et al (2016) Wiederkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion Empfehlungen der DKG-Expertengruppe Ligament. *OUP Orthop Unfallchir Prax* 5(3):166–176
- Petersen W, Zantop T (2007) Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454:35–47
- Alentorn-Geli E, Samitier G, Alvarez P, Steinbacher G, Cugat R (2010) Anteromedial portal versus transtibial drilling techniques in ACL reconstruction: a blinded cross-sectional study at two- to five-year follow-up. *Int Orthop* 34(5):747–754
- Bedi A, Altchek DW (2009) The “footprint” anterior cruciate ligament technique: an anatomic approach to anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 25(10):1128–1138
- Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzloff S, Zantop T (2013) Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament in single bundle technique. *Oper Orthop Traumatol* 25(2):185–204
- Zantop T, Petersen W (2011) Arthroscopic filling of misplaced and wide bone tunnels after reconstruction of the anterior cruciate ligament with bone graft in patients with recurrent instability. *Oper Orthop Traumatol* 23(4):337–350
- Tscholl PM, Biedert RM, Gal I (2014) Radiological evaluation for conflict of the femoral tunnel entrance area prior to anterior cruciate ligament revision surgery. *Int Orthop* 38(3):607–615
- Petersen W, Herbort M, Höyneck E, Zantop T, Mayr H (2014) Stage-adapted treatment of infection after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Oper Orthop Traumatol* 26(1):63–74
- Forkel P, Seppel G, Imhoff A, Petersen W (2015) Suturing and refixation of the medial collateral ligament in severe acute medial instability of the knee. *Oper Orthop Traumatol* 27(2):155–171
- Petersen W, Zantop T (2010) Arthroscopic reconstruction of the anterolateral bundle of the posterior cruciate ligament in single-bundle technique with autologous hamstring grafts. *Oper Orthop Traumatol* 22(4):354–372
- Zantop T, Petersen W (2010) Modified Larson technique for posterolateral corner reconstruction of the knee. *Oper Orthop Traumatol* 22(4):373–386
- Diermeier T, Beitzel K, Imhoff A, Achtnich A, Petersen W (2018) Rolle der Extensionsosteotomie bei vorderen Instabilitäten. *Arthroscopie* 31:240–244
- Petersen W, Zantop T (2006) Arthroscopic meniscal suture. *Oper Orthop Traumatol* 18(5–6):393–410
- Wright RW, Gill CS, Chen L, Brophy RH, Matava MJ, Smith MV, Mall NA (2012) Outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 94(6):531–536
- Liu C-T, Lu Y-C, Huang C-H (2015) Half-peroneus-longus-tendon graft augmentation for unqualified hamstring tendon graft of anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci* 20(5):854–860
- Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzloff S, Zantop T (2013) Technique of anatomical footprint reconstruction of the ACL with oval tunnels and medial portal aimers. *Arch Orthop Trauma Surg* 133(6):827–833
- Musahl V, Abramowitch SD, Gabriel MT, Debski RE, Hertel P, Fu FH, Woo SL (2003) Tensile properties of an anterior cruciate ligament graft after bone-patellar tendon-bone press-fit fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11(2):68–74



CME-Fragebogen

Teilnahme am zertifizierten Kurs auf CME.SpringerMedizin.de

- Der Teilnahmezeitraum beträgt 12 Monate, den Teilnahmeschluss finden Sie online beim CME-Kurs.
- Fragen und Antworten werden in zufälliger Reihenfolge zusammengestellt.
- Pro Frage ist jeweils nur eine Antwort zutreffend.
- Für eine erfolgreiche Teilnahme müssen 70 % der Fragen richtig beantwortet werden.

? In Ihrer Sprechstunde stellt sich ein 38-jähriger Mann mit klinischer Rezidivinstabilität nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes vor. Er berichtet, dass er schon mögliche Ursachen im Internet recherchiert habe. Welche der Ursachen ist am wenigsten wahrscheinlich für eine Rezidivinstabilität?

- Tunnelfehllposition
- Infektion
- Anpralltrauma Tuberositas tibiae
- Übersehene Begleitverletzungen
- Reklination („Slope“) des Tibiaplateaus >12°

? Was wird in der Kreuzbandchirurgie als „High-noon“-Position bezeichnet?

- Lagerung, bei der das Bein eine ähnliche Position wie auf dem Plakat eines berühmten Italo-Western hat
- Anteriore Fehlposition des tibialen Knochentunnels
- Test zur Evaluation der Rotationsstabilität
- Femorale Tunnelposition im Dach der Fossa intercondylaris
- Posteriore tibiale Fehlposition des Knochentunnels

? Eine 28-jährige Patientin stellt sich bei Rezidivinstabilität nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes vor. Sie berichtet, ihre Physiotherapeutin habe den Verdacht auf eine übersehene hintere Kreuzbandruptur als mögliche Ursache geäußert. Welche Diagnostik sollte hier zur weiteren Ursachensuche am ehesten eingesetzt werden?

- Labor zur Entzündungssuche (Blutbild, C-reaktives Protein)
- Arthroskopische Biopsie

- Gehaltene Röntgenaufnahme (hinter Schublade)
- Tibiaröntgenaufnahme zur „Slope“-Bestimmung
- Dreidimensionale Computertomographie (3D-CT)

? Sie haben bei einer Patientin klinischen Verdacht auf eine Tunnelfehllposition des Vorderen-Kreuzband-Ersatzes. Welche radiologische Diagnostik ist am ehesten geeignet, um diese zu verifizieren und die weitere Therapieplanung durchzuführen?

- Röntgenaufnahme der Tibia
- Ganzbein-Röntgenaufnahme
- Computertomographische Angiographie
- Magnetresonanztomographie
- Dreidimensionale Computertomographie

? Welche Zuordnung von möglicher Ursache einer Rezidivinstabilität zur indizierten Therapie trifft zu?

- Nichtanatomische Tunnelfehllposition ohne Tunnelweitung – zweizeitiges Vorgehen
- Infekt – arthroskopische Spülung
- Übersehene Ruptur des hinteren Kreuzbandes (HKB) – Vordere-Kreuzband-Plastik
- Slope des Tibiaplateaus >12° – Rekonstruktion HKB
- Anatomische Tunnelweitung auf 15mm – primäre Revision

? Sie führen bei einem 34-jährigen Patienten eine Rezidivoperation nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes (VKB) bei Tunnelfehllposition durch. Initial erfolgte der Ersatz mittels Semitendinosussehne. Welches Transplantat wäre als Rezidiversatz des VKB möglich?

- Achillessehne ipsilateral
- Semitendinosussehne ipsilateral
- Brachioradialissehne contralateral
- Patellarsehne ipsilateral
- Bizepssehne contralateral

? Was ist am ehesten eine Indikation zur einzeitigen Replastik des vorderen Kreuzbandes (VKB) bei Rezidivinstabilität?

- Partiiell anatomischer Knochentunnel der Voroperation
- Anatomischer Knochentunnel ohne Tunnelweitung
- Signifikante anatomische Bohrkannalweitung >11mm Durchmesser der Voroperation
- Nicht korrigierte Doppelvarussituation mit „varus thrust“
- Posterior Slope von >12°

? Sie haben bei einem 30-jährigen Patienten eine Revision der Vorderen-Kreuzband-Plastik durchgeführt. Dies verlief komplikationslos. Welche Maßnahmen sind Bestandteil der Phase I in der postoperativen Nachbehandlung?

- Laufübungen auf dem Laufband
- Teilbelastung 10-20 kg
- Krafttraining in Richtung Maximalkraft
- Plyometrisches Training
- Komplexe Balanceübungen



- ? Welche Aussage zur Fixation von Kreuzbandtransplantaten trifft zu?**
- Eine stabile Fixation ist nur möglich, wenn die Transplantate mit Interferenzschrauben fixiert werden.
 - Bei einer stabilen Fixationsmethode ist die korrekte Position der Bohrkanäle unerheblich.
 - Grundsätzlich können bei einer Replastik des vorderen Kreuzbandes (VKB) verschiedene Fixationsverfahren verwendet werden (z. B. Interferenzschrauben, Kippanker oder Press-fit-Verfahren).

- Eine Press-fit-Fixation ist bei anteromedialer Portalbohrung nicht möglich.
- Die Fixationsmethode ist für den Erfolg der VKB-Ersatzplastik sehr wichtig, da eine Heilung zwischen Sehne und Knochen nicht stattfindet.

? Über welches Portal kann im Rahmen der diagnostischen Arthroskopie der femorale Tunnel am besten visualisiert werden?

- Hoch anterolaterales Portal
- Laterales Portal
- Anteromediales Portal
- Posteromediales Portal
- Posterolaterales Portal



e.Med Orthopädie & Unfallchirurgie

Das Fortbildungs-Abo passend zu Ihrem Fachgebiet

SpringerMedizin.de bietet allen Ärzten, die sich effizient auf dem Laufenden halten wollen, ein maßgeschneidertes Fortbildungs-Abo mit CME-Fortbildungen und Premium-Inhalten der Fachzeitschriften passend zu Ihrem Fachgebiet. Inklusive einer gedruckten Zeitschrift nach Wahl.

➤ Gezielt recherchieren, schnell und aktuell informieren: Mit **e.Med Orthopädie & Unfallchirurgie** erhalten Sie Zugriff auf die orthopädischen und unfallchirurgischen Fachzeitschriften und die dazugehörigen Fortbildungen.

➤ Nutzen Sie unser umfangreiches Kursangebot aus Orthopädie und Unfallchirurgie, um sich fortzubilden und ganz einfach online CME-Punkte zu sammeln.

➤ Profitieren Sie von der aktuellen und fundierten Berichterstattung über Entwicklungen und Neuheiten in der Orthopädie und Unfallchirurgie.

➤ Greifen Sie auf die Volltexte von deutschen und englischsprachigen orthopädischen und unfallchirurgischen Fachzeitschriften zu – direkt auf der Website, als ePaper oder als PDF-Download.

➤ Darüber hinaus ist im **e.Med Orthopädie & Unfallchirurgie** Abo eine orthopädische oder unfallchirurgische Springer Medizin Fachzeitschrift Ihrer Wahl enthalten, die Ihnen regelmäßig per Post zugesandt wird.

Testen Sie e.Med Orthopädie & Unfallchirurgie kostenlos und unverbindlich!



Jetzt informieren unter <http://bit.ly/2jrfEDq> oder telefonisch unter 0800-77 80 777 (Montag bis Freitag, 10 bis 17 Uhr)

 e.Med | Orthopädie & Unfallchirurgie



CrossMark

Zusammenfassung

Für die Entwicklung der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur spielen primäre und sekundäre Meniskusschäden eine wichtige Rolle. Eine persistierende, chronische Instabilität nach vorderer Kreuzbandruptur kann mittel- bis langfristig zu sekundären Meniskus- und Knorpelschäden führen. Eine VKB-Plastik schützt vor sekundären Meniskusschäden. Außerdem liegt wissenschaftliche Evidenz vor, dass eine VKB-Plastik langfristig auch die Entstehung einer posttraumatischen Gonarthrose verhindern kann. Das gilt besonders für Kniegelenke, bei denen es schon zu einem Meniskusschaden gekommen ist.

Schlüsselwörter

Vorderes Kreuzband – Meniskus – Gonarthrose – Knorpelschaden – Varus

W. Petersen et al.

The preventive effect of ACL reconstruction with regard to secondary meniscus and cartilage lesions

Summary

For the development of post-traumatic osteoarthritis after ACL rupture, primary and secondary meniscal damages play an important role. Chronic instability after anterior cruciate ligament rupture leads to secondary meniscus and cartilage damage in the long term. An ACL reconstruction protects the knee against secondary meniscal damage. In addition, there is scientific evidence that ACL reconstruction can also prevent the development of post-traumatic osteoarthritis in the long term. This is especially true for knee joints, which have already suffered meniscal damage.

Keywords

Anterior cruciate ligament – meniscus – gonarthrosis – cartilage damage – varus

REVIEW / SPECIAL ISSUE

Der präventive Effekt der Kreuzband-Plastik im Hinblick auf sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden

Wolf Petersen¹, Sven Scheffler², Julian Mehl³

¹Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin-Luther-Krankenhaus, Berlin-Grunewald

²Sporthopaedicum, Berlin

³Abteilung für Sportorthopädie, TUM, München

Eingegangen/submitted: 01.02.2018; überarbeitet/revise: 03.03.2018; akzeptiert/accepted: 05.03.2018
Online verfügbar seit/Available online: 28.03.2018

Einleitung

Das vordere Kreuzband (VKB) ist wichtig für die Stabilisierung und Kinematik des Kniegelenkes [23,36]. Eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist daher eine ernste Knieverletzung [24].

Aufgrund der intraartikulären Lage ist das Heilungsverhalten von Rupturen des VKB schlecht. Ein Grund für das schlechte Heilungsverhalten ist die Synovia, die die rupturierten Bandfasern umspült und so die Bildung eines Fibrinclots verhindert. Auf diese Weise können sich chronische Instabilitäten entwickeln.

Eine chronische Instabilität kann den betroffenen Patienten funktionell im Sport, aber auch im Alltagsbeeinträchtigen. Verschiedene Studien haben außerdem gezeigt, dass eine VKB-Ruptur langfristig zur Entwicklung einer posttraumatischen Gonarthrose führt [1,7,17,21].

Auch wenn neuere Studien interessante Ergebnisse im Hinblick auf die Heilung von VKB-Rupturen zeigen, gilt heute der Ersatz des vorderen

Kreuzbandes mit einem autologen Sehnentransplantat (VKB-Plastik) als die Therapie der Wahl bei symptomatischer vorderer Instabilität [25]. Durch diese Operation soll die erhöhte anteriore tibiale Translation verbessert werden und die Rotationsstabilität wiederhergestellt werden [25]. Ob die Normalisierung der Kinematik des Kniegelenkes auch einen protektiven Effekt im Hinblick auf die Progression der posttraumatischen Arthrose und das Auftreten sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden hat, ist jedoch weiterhin umstritten, da eine posttraumatische Gonarthrose auch nach einer VKB-Plastik auftreten kann [1,7,17,21,33]. Diese Frage ist jedoch im Hinblick auf die Indikation zur VKB-Plastik von hoher klinischer Relevanz.

Dieser Artikel soll daher anhand eines Literaturüberblickes die Frage beantworten, ob die VKB-Plastik einen protektiven Effekt im Hinblick auf sekundäre Meniskusschäden und das Auftreten der posttraumatischen Gonarthrose besitzt.

Einleitung

Das vordere Kreuzband ist bei einer Knieverletzung die am häufigsten betroffene Bandstruktur [34]. Ihre Inzidenz wird auf 1:3500 geschätzt [44].

Aufgrund der spieltypischen Sprung- und Abbremsbewegungen kommen Kreuzbandrupturen im Ballsport vergleichsweise häufig vor. Aber auch bei anderen Sportarten wie Ski Alpin, Judo und Feldhockey kommt es häufig zu Knieverletzungen.

Da das vordere Kreuzband eine wichtige Funktion für die Kinematik des Kniegelenks hat, bedeutet eine Kreuzbandruptur ernste Konsequenzen für den betroffenen Sportler. Eine chronische Instabilität kann die sportliche Leistungsfähigkeit unmittelbar beeinträchtigen. Langfristig führen rezidivierende Subluxationsereignisse zu Meniskus- und Knorpelschäden [51, 52, 53]. Die Inzidenz der Osteoarthritis ist bei Sportlern mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbands deutlich erhöht [40].

Mit einer Kreuzbandersatzplastik lässt sich das Arthroserisiko zwar reduzieren [2]; trotzdem kehren nur ca. 50 % der Sportler zu ihrem ursprünglichen Aktivitätsniveau zurück [6]. Aus diesem Grunde besitzt die Primär- und Sekundärprävention von Kniegelenkverletzungen eine große Bedeutung. Alarmierend sind auch die hohen Verletzungsraten der Gegenseite bei Patienten, bei denen eine Kreuzbandersatzplastik erfolgt ist. Die Prävalenz für eine Ruptur der unverletzten Gegenseite beträgt zwischen 7 und 24 % [45, 55].

In den letzten Jahren wurden verschiedene Strategien zur Prävention von Kreuzbandrupturen entwickelt [18]. Diese Präventionsstrategien beinhalten:

1. Aufklärung über Verletzungsmechanismen und Modifikation gefährdender Bewegungsmuster,
2. Programme zur Verbesserung der Balance und Propriozeption,
3. neuromuskuläres Training zur Optimierung der inter- und intramuskulären Koordination,
4. Krafttraining der schützenden ischiokruralen, hüft- und rumpfstabilisierenden Muskeln und
5. Laufübungen.

Die Präventionsstrategien wurden in speziellen Präventionsprogrammen zusammengefasst (z.B. Sportsmetrics, Prevent Injury and Enhance Performance PEP, Knee Ligament Injury Prevention Program, FIFA 11) [4]. Eine Metaanalyse hat zeigen können, dass Verletzungen des Kniegelenks mit diesen Programmen um 27 % und Rupturen des vorderen Kreuzbands um 51 % reduziert werden können [18].

Ziel dieses Beitrags ist es, einen Überblick über aktuelle Strategien zur Verhinderung von Knie- und Kreuzbandverletzungen zu geben.

Verletzungsmechanismen und Risiko-„Screening“

Verletzungsmechanismen

Videoanalysen von Kreuzbandverletzungen haben Aufschluss über die Verletzungsmechanismen gebracht [9, 63].

Nach diesen Studien entstehen Verletzungen des vorderen Kreuzbands überwiegend ohne direkte Einwirkung des Gegners; 72–95 % der Kreuzbandrupturen entstehen in sogenannten Nicht-Kontakt-Situationen [9, 45, 46].

Die gefährlichsten Spielsituationen im Ballsport sind:

1. das Landen nach einem Sprung,
2. das plötzliche Abstoppen und
3. plötzliche Drehbewegungen [49, 63].

Das Knie ist dabei nur leicht flektiert (5–25° Knieflexion) und in Valgusposition (Abb. 1). In dieser Stellung ist das vordere Kreuzband maximal gespannt. Außerdem kann es zu einem Impingement des vorderen Kreuzbands am lateralen Femurcondylus kommen. Die meisten Sportler berichteten, dass die Schuhsohle zum Zeitpunkt der Verletzung am Boden fixiert und eine Drehung des Fußes

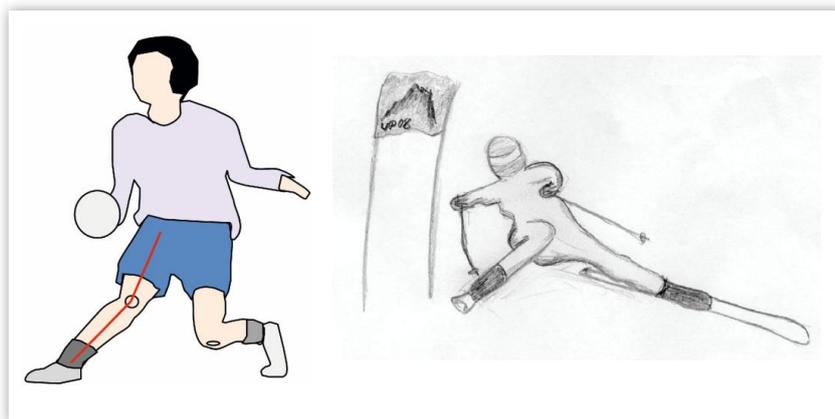


Abbildung 1 Typische Verletzungssituation für das VKB im Ballsport. Die Zeichnungen wurden nach Videoanalysen angefertigt. Das Kniegelenk befindet sich zur Zeit der Verletzung in nur leichter Beugung und Valgusposition. Der Körperschwerpunkt liegt hinter dem Knie. In dieser Position ist die Spannung im vorderen Kreuzband am höchsten, der M. quadrizeps wird exzentrisch belastet und die muskulären Agonisten des vorderen Kreuzbands, die ischiokruralen Muskeln, haben einen ungünstigen Hebelarm, um das Tibiaplateau zu sichern.

| Nicht trainierbare Risikofaktoren | Trainierbare Risikofaktoren |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Alter: < 20 Jahre - Geschlecht: Frauen - Hormonstatus: prä-ovulatorische Phase bei Frauen ohne Kontrazeptive - Sportart: Fußball, Handball; Basketball, Ski Alpin - Geringe Notch-Weite - Allgemeine Bandlaxität - Pes pronatus valgus - Kunststoffböden - Frühere Verletzungen von Muskeln, Sehnen Knie oder Sprunggelenk - Infektionskrankheiten, - Schlechtes Wetter (Outdoor-Sport) | <ul style="list-style-type: none"> - Dynamischer Valgus - Geringe Hüft- und Kniebeugung bei der Landung - Fehlende Hüft- und Rumpfkontrolle - Schwache Kniebeuger und Hüftabduktoren (Verhältnis zum Quadrizeps) - Verzögerte Rekrutierung der Beuger - Propriozeptionsdefizite - Muskuläre Ermüdung - Schlechter allgemeiner Trainingszustand |

Tabelle 1 Risikofaktoren für eine Knie oder VKB Verletzung

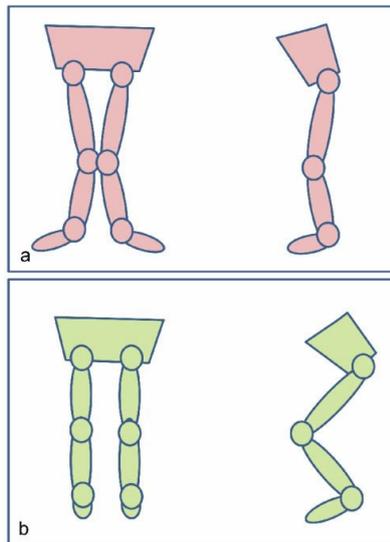


Abbildung 2a-b a) Schematische Darstellung der Risiko-Bewegungsmuster in der Frontalebene und Sagittalebene: Dynamischer Valgus und aufrechte Haltung bei der Landung. **b)** Schematische Darstellung, wie das Risiko von Knieverletzungen verringert werden kann: Gerade Stellung des Kniegelenks und 90°-Beugung bei der Landung.

nicht möglich war. Der Körperschwerpunkt befindet sich zum Zeitpunkt der Ruptur hinter dem Zentrum des Kniegelenks. In dieser Position bewirkt eine verstärkte Kontraktion des lateralen M. quadrizeps femoris eine anteriore tibiale Translation mit femorotibialer Außenrotation und konsekutiver hoher Anspannung des vorderen Kreuzbands. Die ischiokruralen Muskeln haben einen ungünstigen Hebelarm, um in dieser Position das vordere Kreuzband zu schützen. Außerdem muss in dieser Position die Hüfte gebeugt werden, um das Gleichgewicht zu halten; dabei kommt es zur starken Anspannung des M. quadrizeps. Colby et al. [12] konnten mittels Oberflächen-EMG zeigen, dass diese Bewegungen mit einer starken Quadrizepsaktivierung verbunden sind. Die Aktivität der ischiokruralen Muskeln war dagegen gering [12].

Risikoathleten

Die Risikofaktoren für das Erleiden einer Kniegelenk- oder Kreuzbandverletzung sind in Tabelle 1 zusammengefasst [3, 52, 57]. Allgemeine nicht modifizierbare Risikofaktoren für das Erleiden einer Ruptur nach VKB-Plastik sind das Alter



Abbildung 3 „Drop-jump-screening-Test“ zur Erkennung von Risiko-Athleten. Die Athleten werden nur soweit instruiert, dass sie vor dem Sprungkasten im korrekten Winkel vor dem Betrachter oder der Kamera landen sollen und direkt danach eine maximalen vertikalen Sprung ausführen sollen [47]. Diese Sequenz wird 3-mal wiederholt. Aus einer Videoaufzeichnung werden dann folgende Bilder herausgeschnitten: 1) Vor der Landung: Zehen-Bodenkontakt, 2) Landung: Tiefste Position des Athleten, 3) Absprung: Aufwärtsbewegung der Arme. Dabei ist der Moment der Landung der Moment, in der das Knie am stärksten außer Kontrolle ist. In dieser Position kann entweder der Frontalebene-Projektionswinkel (FPA) oder das Verhältnis der Knie- und Sprunggelenkabsstände (Pfeile) bestimmt werden. Die qualitative Beurteilung der funktionellen Beinachse kann auch durch Inspektion ohne Kamera erfolgen

und das Geschlecht. Patienten unter 20 Jahren und Frauen haben ein signifikant erhöhtes Risiko für eine Ruptur nach VKB-Plastik [19, 39]. Auch eine allgemeine Bandlaxität soll einen Risikofaktor darstellen [3]. Zu den modifizierbaren Risikofaktoren gehören die Sportart, der Hormonstatus und der neuromuskuläre Status des Sportlers. Zu den Risikosportarten gehören Fußball, Basketball, Handball und Alpin-Ski [3]. Verschiedene Studien haben zeigen können, dass Frauen, die keine Kontrazeptiva einnehmen in der präovulatorischen Phase ein erhöhtes Verletzungsrisiko aufweisen [3].

Im Hinblick auf mögliche Präventionsprogramme kommt den neuromuskulären Risikofaktoren eine besondere Bedeutung zu. Zahlreiche Studien haben zeigen können, dass Risikoathleten spezifische neuromuskuläre Risikofaktoren aufweisen [3, 29, 30, 32]. Diese Risikofaktoren betreffen die Quadrizepsdominanz, die Schwäche der Beuger und den dynamischen Valgus mit Defiziten in der Hüft- und Rumpfkontrolle.

So konnte gezeigt werden, dass Risikoathleten den M. quadrizeps zeitlich früher als die das vordere Kreuzband schützenden Beugemuskeln („Hamst-

rings“) aktivieren [32]. Auch Kraftdefizite der Beugemuskeln wurde bei Risikoathleten beschrieben [29].

Risikoathleten zeichnen sich außerdem durch Bewegungsmuster aus, die der Position der unteren Extremität in der Verletzungssituation ähnlich sind: Landen nach einem Sprung mit valgischer Kniestellung (Frontalebene) mit nur leichter Beugung und dem Körperschwerpunkt hinter dem Kniegelenk (Sagittalebene) [29]. Die valgische Kniestellung wird auch als dynamischer Valgus bezeichnet [3, 29, 57] (Abb. 2).

Im Prinzip kann der verletzungsfördernde Valgusdrift kurz nach der einbeinigen Lande- oder Stabilisationsphase durch eine fehlende Kraft der Hüft- und Rumpfstabilisatoren mit konsekutivem Abkippen des Beckens zur Gegenseite, eine übermäßige Eversion des unteren Sprunggelenks, fehlende koordinative und propriozeptive Fähigkeiten oder durch eine Kombination aus den genannten ausgelöst werden. So konnten bei Risikoathleten auch propriozeptive Defizite in der Rumpfkontrolle und Kraftdefizite der Außenrotatoren und Abduktoren der Hüfte nachgewiesen werden [36, 70]. Die dynamische Valgusstellung kann aber distal im Bereich von

Sprunggelenk (Eversion) und Fuß (Außenrotation) entstehen [56]. Auch eine übermäßige „Bein-Dominanz“ wurde bei Risikoathleten beobachtet [29].

Diese Bewegungsmuster werden gehäuft bei weiblichen Athleten beobachtet [29]. Bewegungsanalysen haben gezeigt, dass Frauen nach einem Sprung in einer aufrechteren Position landen als Männer mit einem weniger gebeugten Knie- und Hüftgelenk (Abb. 2). Auch die Quadrizepsdominanz oder eine verstärkte „Beindominanz“ ist ein typisch weibliches Phänomen. Außerdem halten weibliche Sportler das Knie vermehrt in Valgus-Position und weisen Defizite in der Hüft- und Rumpfkontrolle auf. Diese Bewegungsmuster kommen aber auch bei männlichen Athleten vor.

„Screening“ Tests

Da Präventionstrainingsprogramme aufwendig sind, wurden in den letzten Jahren Tests entwickelt, um Risiko-Athleten zu identifizieren. Im Fokus dieser Tests steht das Erkennen der funktionellen Valgusstellung des Kniegelenks, da der valgische Kollaps des Kniegelenks ein wichtiger Risikofaktor für das Erleiden einer VKB-Ruptur und einer Reruptur nach VKB Ersatzplastik ist.

Der am weitesten verbreitete Test ist der „Drop-jump-screening-Test“ [30, 47]. Dabei handelt es sich um einen vertikalen Sprungtest von einem Kasten, bei dem die Stellung der Beinachse beim Landen mit einer Videokamera analysiert wird (Abb. 3). Dabei ist der Zeitpunkt der Landung der Moment, zu dem das Knie am stärksten „außer Kontrolle“ ist [47]. So kann entweder der Frontalebene-Projektionswinkel oder der Knie- und Sprunggelenkabstand bestimmt werden (Knieabstand < Sprunggelenkabstand = dynamischer Valgus) (Abb. 3). Minzner et al. [43] konnten aufzeigen, dass beim Verhältnis der Knie und Sprunggelenkabstände eine gute Korrelation zwischen 2-dimensionalen und 3-dimensionalen Analysen besteht. Noyes et al. [47] haben zeigen können, dass sich dieser Test eignet, den Erfolg von Trainingsmaßnahmen zur Korrektur des dynamischen Valgus zu evaluieren. In dieser Studie betrug der Knieabstand bei untrainierten weiblichen Athleten 23 ± 8 cm. Nach Durchführung eines neuromuskulären Präventionstrainings betrug der Knieabstand

| | Kriterium | Bewertung „Gut“ |
|---|--|--|
| A | Gesamteindruck - Balancefähigkeit - Bewegungsablauf - Tiefe der Kniebeuge - Geschwindigkeit der Kniebeuge | - Kein Balanceverlust - Die Bewegung wird sanft durchgeführt - Mehr als 60 % Beugung - 1–2 Sekungen pro Kniebeuge |
| B | Rumpf-Haltung - Seitverschiebung - Rotation - Seitneigung - Beugung | - Keine Rumpf-Seitverschiebung - Keine Rumpf-Rotation - Keine Rumpf-Seitneigung - Keine Rumpf-Beugung |
| C | Becken-Haltung - Seitverschiebung - Rotation - Ankipfung | - Keine Becken-Seitverschiebung - Keine Becken-Rotation - Keine Becken-Ankipfung |
| D | Hüfte - Adduktion des Femurs - Innenrotation des Femurs | - Keine Adduktion des Femurs - Keine Innenrotation des Femurs |
| E | Knie - Valgus - Knie-Fuß-Stellung | - Kein Valgus - Kniezentrum bleibt über dem Fußzentrum |

Tabelle 2 Klinische Beurteilung der einbeinigen Kniebeugen nach [16]. Um in der Gesamtbeurteilung mit „Gut“ klassifiziert zu werden, müssen 4 von 5 Kriterien erfüllt sein. Als „Schlecht“ wird ein Athlet eingestuft, wenn nur ein Kriterium erfüllt ist.

29 ± 8 cm. Hewett et al. [30] haben den „Drop-jump-Test“ an 205 weiblichen Athleten (Fußball, Basketball, Volleyball) getestet. Diese Studie konnte zeigen, dass eine dynamische Valgusstellung ein Risikofaktor für das Erleiden einer VKB-Ruptur ist. Bei Sportlerinnen mit einer VKB-Ruptur war der Knieabduktionswinkel mit 8° größer als in der Gruppe ohne Verletzung. Ein Abduktionsmoment konnte in dieser Studie eine VKB-Verletzung mit einer Spezifität von 73 % und Sensitivität von 78 % vorhersagen. Hewett et al. [30] haben den „Drop-jump-screening-Test“ nicht nur in der Frontalebene sondern auch in der Sagittalebene analysiert. Dabei konnten diese Autoren zeigen, dass der maximale Beugewinkel in der Gruppe der Athleten mit VKB-Ruptur um $10,5^\circ$ geringer war als in der Gruppe ohne VKB-Ruptur (Beugewinkel der Athleten mit VKB-Ruptur: $71,9^\circ \pm 12^\circ$, Beugewinkel der Athleten ohne VKB-Ruptur $82,4^\circ \pm 8^\circ$).

Ein anderer Test, um die dynamische Valgusstellung des Kniegelenks zu analysieren, ist die einbeinige Kniebeuge/der Ein-Bein-Beugetest (Abb. 4) [16]. Dieser Test wurde ursprünglich entwickelt, um den dynamischen Valgus bei Patienten mit einem patellofemora-

len Schmerzsyndrom zu evaluieren. Ortiz et al. [48] haben einbeinige Kniebeugen jedoch auch eingesetzt, um den Effekt eines 6-wöchigen VKB-Präventionsprogramms bei Fußballspielerinnen zu testen. In dieser Studie konnte anhand von einbeinigen Kniebeugen gezeigt werden, dass die funktionelle Valgusstellung durch das 6-wöchige Präventionstraining reduziert werden konnte. Bei diesem Test korreliert das valgische Einbrechen des Kniegelenks mit einer schlechten Funktion der Hüftadduktoren [1, 16]. In der Originalversion dieses Tests steht der Athlet auf einer 20 cm hohen Box und verschränkt die Arme vor der Brust: Dann soll er 5 einbeinige Kniebeugen so tief wie möglich durchführen (eine Kniebeuge in 2 Sekunden). Diese werden mit einer Videokamera aufgezeichnet. Anhand verschiedener qualitativer Kriterien kann die Durchführung der Kniebeugen in gut, mittel oder schlecht eingeteilt werden. Diese Kriterien sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Es kann aber auch der frontale Projektionswinkel ermittelt werden.

Ein weiterer in der Sportwissenschaft gebräuchlicher Test, um das Verletzungsrisiko zu evaluieren, ist der „Functional Movement Screen“ (FMS) [10, 13, 42, 58]. Ziel des FMS ist es, funk-



Abbildung 4 Einbeinige Kniebeuge zur Erkennung von Risiko-Athleten. Der Athlet soll 5 einbeinige Kniebeugen so tief wie möglich durchführen (eine Kniebeuge in 2 Sekunden). Diese werden mit einer Videokamera aufgezeichnet. Anhand verschiedener Kriterien (Tab. 3) kann die Durchführung der einbeinigen Kniebeuge in gut, mittel oder schlecht eingeteilt werden. a) Im untrainierten Zustand ist bei dieser Sportlerin eine dynamische Valgusstellung mit Knieadduktionsmoment, Hüftadduktion und Lateralisierung des Rumpfs zu beobachten. b) Nach einem neuromuskulären Präventionstraining konnten die Bewegungsabläufe modifiziert werden. Die untere Extremität bildet bei gebeugtem Knie eine Linie. Die Hüfte steht nahezu waagrecht und der Rumpf lotgerecht.

tionelle Asymmetrien und Dysbalancen aufzudecken [58]. Dabei müssen die Athleten 7 Übungen absolvieren, die mit maximal 3 Punkten bewertet werden (3 Punkte: perfekte Durchführung, 2 Punkte: Ausweichbewegungen, 1 Punkt: Übung kann nicht durchgeführt werden, 0 Punkte: Schmerzen). Ab einem Gesamtscore von 14 Punkten soll das Verletzungsrisiko erhöht sein. Bisher ist dieser Test im Hinblick auf die Prävention von Kniegelenkverletzungen selten eingesetzt worden, sodass die Erfahrungen mit dem FMS speziell im Hinblick auf die Risikoeinschätzung von Knieverletzungen begrenzt ist [10, 42]. Ein systematisches Review hat außerdem gezeigt, dass der FMS zwar spezifisch (86 %) aber nur wenig sensitiv (25 %) ist [18]. Der prädiktive Wert dieses Tests hinsichtlich der Einschätzung des Verletzungsrisikos war gering [18]. Aus diesem Grunde kann der „Functional Movement Screen“ im Hinblick auf Einschätzung des Risikos einer VKB-Ruptur derzeit nicht empfohlen werden.

Präventionsmaßnahmen

Aufklärung über Verletzungsmechanismen und Modifikation gefährdender Bewegungsmuster

Aus den Daten zur Entstehung von VKB-Rupturen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Aufklärung über die Verletzungsmechanismen zur Prävention beitragen. Verschiedene Studien stützen diese Hypothese.

Lephardt et al. [38] konnten mittels 3D-Bewegungsanalysen zeigen, dass die beschriebenen Risiko-Bewegungsmuster durch geeignete Übungen unter Anleitung verändert werden können. Nach Angaben von Cowling et al. [15] reichen verbale Instruktionen, um den Kniebeugewinkel bei der Landung signifikant zu erhöhen.

Dieser Ansatz zur Prävention von Kniegelenkverletzungen wurde erstmals als sogenanntes „Henning-Programm“ zur Verhinderung von Kreuzbandverletzungen im Basketball beschrieben [22].

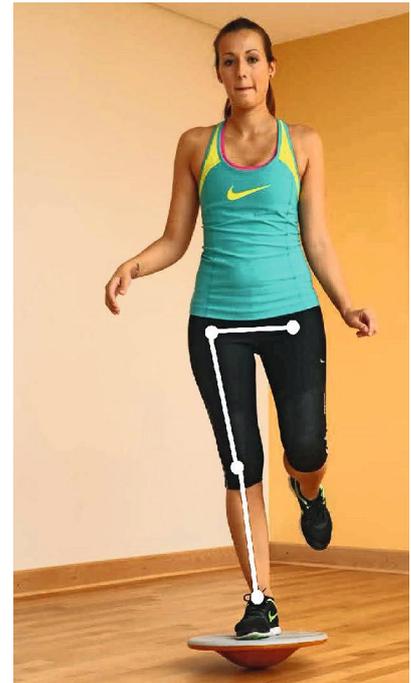


Abbildung 5 Typische Propriozeptionsübung auf einem Balancebrett. Dabei sollte auf die Vermeidung des dynamischen Valgus geachtet werden.

Es zielte darauf ab, Bewegungsmuster zu modifizieren und auf diese Weise verletzungsanfällige Gelenkstellungen zu vermeiden. Das sogenannte „Plant-and-cut“-Manöver soll als runde Bewegung in Einzelschritten durchgeführt werden. Bei der Landung nach einem Sprung soll das Knie gebeugt und nicht gestreckt sein und das Abstoppen soll nicht mit geradem Knie, sondern durch mehrere kleine Schritte erfolgen. Diese Präventionsstrategien wurden den Sportlern durch einen Videofilm nähergebracht. Mit diesem Präventionsansatz konnte die Verletzungsrate um 89 % gesenkt werden [23].

Auch eine Studie aus dem Skisport konnte zeigen, dass Aufklärung über die Verletzungsmechanismen präventiv wirken kann. Im Rahmen des „Vermont ACL Prevention Program“ wurden die Athleten mit Videos konfrontiert, die typische VKB-Verletzungssituationen im Skisport zeigen. Diese Videos sollen die Probanden zur Entwicklung eigener Präventionsansätze stimulieren [20]. Die Videos sollten helfen, gefährliche Situationen zu erkennen und eine Antwort auf den Verletzungsreiz in Beinahe-Verletzungssituationen zu entwickeln. In der

| Frontalebene | Sagittalebene |
|---|--|
| <p>Vermeidung des dynamischen Valgus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hüftdrehzentrum, Knie und OSG in einer Linie - Kniegelenke nach außen - Hüften waagrecht - Rumpf lotgerecht | <ul style="list-style-type: none"> - Bei der Landung nach einem Sprung sollten das Knie und Hüfte gebeugt (möglichst 90°) und nicht gestreckt sein - Körperschwerpunkt über dem Fuß |
| <ul style="list-style-type: none"> - Drehungen als „runde“ Bewegung in Einzelschritten - Abstoppen nicht mit geradem Knie sondern durch mehrere kleine Schritte | |

Tabelle 3 Vermeidung von Risikobewegungen

Saison 1993/94 nahmen 4700 Skilehrer und „Pisten-Patrols“ in den USA an diesem Programm teil. Hierdurch konnten ernste Kniegelenkverletzungen um 62 % reduziert werden [20].

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass deutliche Hinweise bestehen, dass durch Aufklärung über Verletzungsmechanismen und die Modifikation gefährdender Bewegungsmuster Kniegelenkverletzungen und VKB-Rupturen reduziert werden können (Tab. 3).

Die Vermeidung der dynamischen Valgus-Stellung und das Landen mit gebeugtem Knie (Tab. 3) sind heute Grundlage für die Durchführung von Übungen vieler Aufwärmprogramme zur Prävention von Knie- und Sprunggelenkverletzungen (Abb. 5).

Balance-Training

Propriozeption (afferente Informationen über die Stellung des Gelenks) ist die sensorische Quelle für Informationen, die die neuromuskuläre Kontrolle eines Gelenks ermöglichen [37]. Propriozeptive Informationen werden von verschiedenen Mechanorezeptoren gemeldet, die in Muskeln, Gelenken (Bändern und Kapsel) und in der Haut vorkommen. Am Kniegelenk wird auf diese Weise die Aktivierung der das VKB gefährdenden Streck- und schützenden Beugemuskeln gesteuert. Mit Balanceübungen kann dieses Zusammenspiel optimiert werden (Abb. 5).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Inzidenz von primären und sekundären Sprunggelenkverletzungen durch Übungen auf einem Balancebrett deutlich gesenkt werden kann [7, 64, 66]. Die Angaben im Schrifttum im Hinblick auf die Inzidenz von

Kreuzbandverletzungen sind jedoch widersprüchlich.

Caraffa et al. [11] konnten an 300 professionellen männlichen Fußballspielern zeigen, dass Übungen auf einem Balancebrett die Rate an Kreuzbandrupturen signifikant senken können. In der Trainingsgruppe (n = 300) kam es zu 10 Kreuzbandrupturen, während in der Kontrollgruppe (n = 300) 70 Kreuzbandrupturen auftraten.

Wedderkopp et al. [67] haben ein Interventionsprogramm unter Verwendung von Balancebrettern an jugendlichen weiblichen Handballspielerinnen untersucht. Zusätzlich wurden Kräftigungsübungen durchgeführt. In dieser Studie konnten 78 % der Verletzungen mit dem Programm verhindert werden. Um den Effekt der Balanceübungen hinsichtlich des präventiven Trainingseffekts zu evaluieren, verglichen Wedderkopp et al. [68] in einer Folgestudie 2 verschiedene Präventionsprogramme miteinander (16 Handballmannschaften mit weiblichen Spielern). In einer Gruppe wurden standardisierte Kräftigungsübungen mit Balanceübungen kombiniert. In der Kontrollgruppe wurden nur Kräftigungsübungen durchgeführt. Die allgemeine Verletzungsinzidenz betrug in der Balancebrettgruppe 2,4 Verletzungen/1000 Spielstunden und in der Kontrollgruppe 6,9 Verletzungen/1000 Spielstunden. In dieser Studie konnte jedoch keine Aussage zur Inzidenz von Kniegelenkverletzungen gemacht werden.

Zu einem gegenteiligen Ergebnis kamen Soderman et al. [59]. Diese Arbeitsgruppe hat ein Balancebrettraining an 121 jugendlichen weiblichen Fußballspielerinnen getestet. Einhundert weitere Spielerinnen dienten als Kontroll-



Abbildung 6 Balanceübungen können mit sportartspezifischen Übungen kombiniert werden.

gruppe. Beide Gruppen wurden über eine Spielsaison beobachtet. Zum Ende der Saison bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Verletzungshäufigkeit zwischen beiden Gruppen. Die Rate schwerer Verletzungen war in der Interventionsgruppe sogar deutlich höher (8 versus 1). Vier von 5 Rupturen des vorderen Kreuzbands kamen in der Interventionsgruppe vor. Nur unter Spielerinnen, die innerhalb der letzten 3 Monate vor Studienbeginn eine Verletzung erlitten, kam es zu signifikant weniger Verletzungen in der Interventionsgruppe.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die derzeitige Datenlage für den Einsatz von Balancebrettern spricht. Auch die allgemeine Verletzungsinzidenz (z.B. im oberen Sprunggelenk) kann mit einem Balancetraining reduziert werden. Verschiedene Studien, die einen positiven Effekt präventiver Aufwärmprogramme zeigen konnten, haben Balanceübungen in die Aufwärmprogramme integriert [41, 46, 49, 50, 54]. Die Balanceübungen sollten dabei mit sportartspezifischen Übungen kombiniert werden (Abb. 6).

Neuromuskuläres Training

Risikoathleten zeichnen sich durch eine Dominanz des M. quadrizeps aus. Bei einer experimentellen vorderen tibialen Translation (Verletzungsreiz) antworten sie mit einer Aktivierung des M. quadrizeps (Quadrizeps-Dominanz). Verschiedene Studien haben hingegen gezeigt, dass eine schnelle Aktivierung der ischiokruralen Muskulatur auf einen Verletzungsreiz einen wichtigen Beitrag zur funktionellen Sicherung des Kniegelenks leistet [5, 8, 26, 33, 60].



Abbildung 7a-b Beispiel für eine Sprungübung auf einer Weichbodenmatte **a)** Das Knie soll bei der Landung gebeugt sein, die Athletin soll auf dem Vorfuß landen mit dem Knie über dem Fuß. **b)** In der Frontalebene soll die dynamische Valgusstellung vermieden werden.

Hewett et al. [27] konnten zeigen, dass durch ein spezielles Sprungtraining die muskuläre Dysbalance zwischen M. quadrizeps und ischiokruraler Muskulatur beseitigt werden und die Aktivität der ischiokruralen Muskulatur und der Glutealmuskeln gesteigert werden kann (Abb. 7). Dabei sollte der Athlet darauf achten, dass sowohl das Knie als auch die Hüfte bei der Landung nach dem Sprung 90° gebeugt sind. Das daraus entwickelte Präventions-Programm wurde als „Cincinnati Sportsmetric Training Program“ an 1263 Probanden (Fußball, Volleyball, Basketball) getestet [28]. Es besteht aus verschiedenen Sprungübungen, deren Komplexität sich zunehmend steigert. Wichtig ist auch bei diesem Programm die Bewegungskontrolle, um gefährdende Bewegungsmuster zu eliminieren. Die Bewegungskontrolle richtet sich nach den von Henning angegebenen Prinzipien [23]. In Hewetts Studie erlitten in der Trainingsgruppe nur 2 Spielerinnen eine ernste Verletzung im Gegensatz zu 10 Spielerinnen in der Kontrollgruppe [28]. Die relative Verletzungsinzidenz betrug in der Interventionsgruppe 0,12 und in der Kontrollgruppe 0,43. Hewetts [27, 28] Arbeiten zeigen, dass gezielte Sprungübungen die Balance von Beuge- und Streckmuskeln am Kniegelenk verbessern. Wichtig scheinen auch bei diesen Übungen die von Henning

postulierten Grundsätze zur Bewegungsmodifikation zu sein [23].

Sprungübungen wurden in verschiedene Aufwärmprogramme integriert [41, 46, 49, 50, 54]. Sie eignen sich besonders für Sportarten, bei denen Sprünge vorkommen.

Krafttraining

Aufgrund der großen Bedeutung der muskulären Dysbalancen für die Entstehung der dynamischen Valgusstellung und dem damit verbundenen Risiko einer VKB-Ruptur, wurden in viele Präventionsprogramme auch Kraftübungen integriert [17]. Diese zielen auf eine Stärkung der Beuger, der Hüftabduktoren und Rumpfstabilisatoren ab [29].

Ein Aufbau der entsprechenden Muskelgruppen kann natürlich an Geräten im Krafraum erfolgen. Um dies jedoch besser in ein Aufwärmprogramm integrieren zu können, wurden dynamische Übungen entwickelt, die mit einfachen Hilfsmitteln durchführbar sind [29].

Eine in der VKB-Prävention bekannte Kraftübung sind die sogenannten „Russian Hamstrings“ (Abb. 8) [29]. Diese Übung trainiert die Muskeln der posterioren Kette konzentrisch (aufwärts) als auch exzentrisch (abwärts).

Eine weitere Übung, um die Rekrutierung der hinteren Muskelkette zu ver-

bessern und die Aktivierung der Bauchmuskeln und Hüftstabilisatoren zu verbessern, ist das „Beugertraining auf einem Gymnastikball“ (Abb. 9). Es werden auch spezielle Übungen zur Stärkung der Abduktoren und Außenrotatoren der Hüfte angegeben (Abb. 10) [29].

Verschiedene Studien, die einen positiven Effekt präventiver Aufwärmprogramme zeigen konnten, haben Kraftübungen in die Aufwärmprogramme integriert [21, 35, 41]. Als Einzelmaßnahme wurden Kraftübungen bisher allerdings nie getestet.

Lauf- und Beweglichkeitstraining

Laufübungen eignen sich für die Verletzungsprävention, da sie klassischer Bestandteil eines jeden Aufwärmprogramms sind.

Lauf- und Beweglichkeitsübungen wurden erstmals in das „Prevent Injury and Enhance Performance Programm (PEP)“ integriert [21, 41]. Dieses Programm wurde speziell zur Prävention von VKB-Rupturen im Fußball entwickelt. Es handelt sich um verschiedene Laufübungen (z.B. Geradauslauf, Seitgalopp, Laufen mit Hüftdrehung). Dabei soll bei den Lauf- und Beweglichkeitsübungen vom Trainer auf die korrekte Ausführung geachtet werden. Ein wesentlicher Faktor ist dabei die Vermeidung des dynamischen Valgus. Verschiedene Studien haben zeigen können, dass mit dem PEP-Programm die Prävalenz von Kreuzbandverletzungen bei Fußballspielern signifikant reduziert werden kann [21, 41]. Als Einzelmaßnahme wurden Laufübungen im Rahmen einer Studie bisher allerdings nie untersucht.

Effekt von speziellen Aufwärmprogrammen auf die Prävention von VKB-Rupturen und Knieverletzungen

Verschiedene systematische Reviews und Metaanalysen haben gezeigt, dass das Risiko von Knieverletzungen und Rupturen des vorderen Kreuzbands durch spezielle Aufwärmprogramme signifikant reduziert werden kann [17, 24, 31, 61, 62, 69].

In einer im Jahre 2015 erschienenen Metaanalyse von 24 Studien konnten Knieverletzungen durch ein präventives Aufwärmprogramm um 26,9 % und



Abbildung 8 Kraftübung für die Beugemuskeln („Russian hamstrings“). Die Beuger schützen das VKB, indem sie die Tibia gegen die anteriore tibiale Translation sichern (Pfeil).



Abbildung 9 Kraftübung für die Hüft- und Rumpfmuskulatur



Abbildung 10 Kraftübung für die Hüft-Abduktoren und Außenrotatoren

VKB-Rupturen um 50,7 % reduziert werden [17]. Neun der analysierten Studien berichteten zudem über eine zusätzliche allgemeine Verletzungsprävention. Die Mehrzahl der Studien befasste sich mit weiblichen Athleten. Ein präventiver Effekt konnte aber auch für männliche Sportler gezeigt werden [17]. Bei den meisten Studien wurden Programme

analysiert, bei denen mehrere Präventionsansätze kombiniert wurden: Balanceübungen, Sprungübungen, Krafttraining, Lauf- und Beweglichkeitsübungen und Stretching [17]. In einer Metaregression konnte jedoch für keine dieser einzelnen Maßnahmen ein Effekt auf das Ergebnis nachgewiesen werden [17]. Nur für das Stretching besteht eine schwache

Evidenz dass kein Effekt vorliegt [25, 65]. Wahrscheinlich beruht der Effekt der verschiedenen Präventionsmaßnahmen auf der Modifikation von Risiko-Bewegungsmustern (dynamischer Valgus, geringe Knie- und Hüftbeugung). Daher können die einzelnen in diesem Artikel dargestellten Präventionsmaßnahmen so kombiniert werden, dass sie ein für die

| Name | Sportart | Übungsarten | Dauer | Wissenschaftliche Evidenz | Internet-Adressen |
|---|---|-------------|----------------|-------------------------------------|---|
| FIFA 11 + | Fußball | L,P,B, K | ca. 20 Min. | Soligard et al. [61] | 1. www.dfb.de/trainer/b-juniorin/artikel/fifa-11-310/ 2. www.f-marc.com/downloads/cards/11pluscards_d.pdf 3. www.f-marc.com/11plus/startseite/ |
| Prevent injury and enhance performance (PEP) | Fußball | L,P,K,S | ca. 20 Min. | Mandelbaum et al. 2005 [41] | smsmf.org/files/PEP_Program_04122011.pdf |
| Sportsmetrics | Fußball, Basketball, Tennis, Volleyball | P, K | ca. 60 Min. | Hewett et al. 1996 und 1999 [27,28] | http://sportsmetrics.org/ |
| Harmo Knee Prevention Program | Fußball, Basketball | L, P, B, K | ca. 20–25 Min. | Kiani et al. (2010) [35] | harmoknee.com |
| „Sei kein Dummy“ (Präventionsprogramm der VBG) | Fußball | L,P,K,S | ca. 20–30 Min. | Bisher keine Studie publiziert | http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/Trainingsuebungen_fuer_ein_starkes_Fu%C3%9Fballteam.pdf?__b |

Legende: L= Laufübungen, P= Plyometrics (Sprungübungen), K= Krafttraining, B= Balance Training, S= Stretching

Tabelle 4 Übersicht über etablierte Aufwärmprogramme zur Verletzungsprävention

entsprechende Sportart passendes Programm ergeben. So eignen sich für den Fußball vor allem Laufübungen, für den Handball oder Basketball vor allem Sprungübungen und den Skisport Kraftübungen. Es erscheint sinnvoll wenn die einzelnen Übungen mit sportartspezifischen Übungen kombiniert werden. Das kann die Compliance erhöhen. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Bewegungen der oberen Extremitäten die Bewegungsmuster der unteren Extremitäten beeinflussen [14].

Es konnte zusätzlich gezeigt werden, dass der Zeitpunkt der Präventionsmaßnahme den Effekt der Risikoreduktion beeinflusst. Wenn das Präventionstraining während der Saisonvorbereitung durchgeführt wurde, war der Effekt größer als wenn das Training nur in der Wettkampfphase angewendet wurde [17]. Auch die Dauer und Häufigkeit sowie die Compliance haben einen Effekt auf die Risikoreduktion. Je länger die Präventionsmaßnahme dauert (> 20 Min.) und je häufiger das Programm angewendet wird (häufiger als 3-mal pro Woche), desto größer der Effekt [61, 62].

Etablierte Präventionsprogramme

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über verschiedene etablierte Aufwärmprogramme zur Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. Der präventive Effekt der meisten dieser Programme ist für die pri-

märe Kreuzbandverletzung wissenschaftlich belegt, die Effekte zur Sekundärprophylaxe der Ruptur nach VKB-Plastik müssen wissenschaftlich noch verifiziert werden.

All diese Programme wurden speziell für Ballsportarten entwickelt (Fußball, Handball Basketball). Die Übungen dieser Programme sind im Internet abrufbar. Sie beinhalten sowohl Balance-, Kraft-, Sprung-, Lauf- und Beweglichkeitsübungen. Mit den Übungen soll die dynamische Valgusstellung korrigiert und die Muskeln der posterioren Kette (Kniebeuger, Hüftabduktoren) gestärkt werden. Diese Übungen können für andere Risikosportarten modifiziert werden und in sportartspezifische Aufwärmprogramme integriert werden (z.B. Judo, Hockey, Ski Alpin). Die Integration dieser Übungen in ein Aufwärmprogramm macht Sinn, da dadurch auch die Leistung gesteigert werden kann und damit die „Compliance“ verbessert wird. Die Dauer der meisten Aufwärmprogramme beträgt 20 Minuten. Die Präventionsmaßnahmen werden verstärkt während der Saisonvorbereitung durchgeführt und mit verminderter Intensität in der Wettkampfphase fortgeführt.

Fazit

Der derzeitige Stand der Forschung spricht eindeutig dafür, dass Knieverletzungen und Rupturen des vorderen

Kreuzbands durch geeignete Modifikationen des Trainings reduziert werden können. Dabei sollten diese Trainingsinhalte in das normale Aufwärmtraining integriert und möglichst mit sportartspezifischen Übungen kombiniert werden. Ein Präventionsprogramm sollte folgende Punkte berücksichtigen: 1. Aufklärung über Verletzungsmechanismen, 2. Sprungübungen zur Kraftsteigerung und Bewegungskorrektur, 3. Balanceübungen, 4. Kraftübungen und 5. Lauf/Beweglichkeitsübungen. Mit diesen Bausteinen können Aufwärmprogramme auch für andere Sportarten entwickelt werden. Mit Sprungtests und einbeinigen Kniebeugen können Risikoathleten identifiziert werden, bei denen gezielt an einer Bewegungsmodifikation gearbeitet werden kann. OUP

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Wolf Petersen
 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
 Martin Luther Krankenhaus Berlin
 Caspar-Theyß-Straße 27–33
 14193 Berlin
 wolf.petersen@pgdiakonie.de

Literatur

- Ageberg E, Bennell KL, Hunt MA, Simic M, Roos EM, Creaby MW: Validity and inter-rater reliability of mediolateral knee motion observed during a single-limb mini squat. *BMC Musculoskelet Disord* 2010; 11: 265
- Ajuied A, Wong F, Smith C et al.: Anterior Cruciate Ligament Injury and Radiologic Progression of Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2013; Nov 8
- Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ et al.: Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009; 17: 705–29
- Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ et al.: Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009; 17: 859–79
- Aune AK, Ekland A, Nordsletten L: Effect of quadriceps or hamstring contraction on the anterior shear force to anterior cruciate ligament failure: An in vivo study in the rat. *Acta Orthop Scand* 66 1995; 261–265
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA: Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med*. 2011; 45: 596–606
- Bahr R, Lian O, Bahr O: A twofold reduction of acute ankle sprains in volleyball after the introduction of an injury prevention program: A prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports* 1997; 7: 172–177
- Barrata R, Solomonow M, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R: Muscular coactivation: The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 1988; 16: 113–122
- Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopaedics* 2000; 23: 573–578
- Boyle MJ, Butler RJ, Queen RM: Functional Movement Competency and Dynamic Balance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Adolescent Patients. *J Pediatr Orthop*. 2016; 36: 36–41 athletes. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*. 2010; 18: 824–30

Die vollständige Literatur finden Sie im Internet unter:
www.online-oup.de

**Zusammenfassung**

Für die Entwicklung der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur spielen primäre und sekundäre Meniskusschäden eine wichtige Rolle. Eine persistierende, chronische Instabilität nach vorderer Kreuzbandruptur kann mittel- bis langfristig zu sekundären Meniskus- und Knorpelschäden führen. Eine VKB-Plastik schützt vor sekundären Meniskusschäden. Außerdem liegt wissenschaftliche Evidenz vor, dass eine VKB-Plastik langfristig auch die Entstehung einer posttraumatischen Gonarthrose verhindern kann. Das gilt besonders für Kniegelenke, bei denen es schon zu einem Meniskusschaden gekommen ist.

Schlüsselwörter

Vorderes Kreuzband – Meniskus – Gonarthrose – Knorpelschaden – Varus

W. Petersen et al.

The preventive effect of ACL reconstruction with regard to secondary meniscus and cartilage lesions**Summary**

For the development of post-traumatic osteoarthritis after ACL rupture, primary and secondary meniscal damages play an important role. Chronic instability after anterior cruciate ligament rupture leads to secondary meniscus and cartilage damage in the long term. An ACL reconstruction protects the knee against secondary meniscal damage. In addition, there is scientific evidence that ACL reconstruction can also prevent the development of post-traumatic osteoarthritis in the long term. This is especially true for knee joints, which have already suffered meniscal damage.

Keywords

Anterior cruciate ligament – meniscus – gonarthrosis – cartilage damage – varus

REVIEW / SPECIAL ISSUE

Der präventive Effekt der Kreuzband-Plastik im Hinblick auf sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden

Wolf Petersen¹, Sven Scheffler², Julian Mehl³

¹Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin-Luther-Krankenhaus, Berlin-Grunewald

²Sporthopaedicum, Berlin

³Abteilung für Sportorthopädie, TUM, München

Eingegangen/submitted: 01.02.2018; überarbeitet/revised: 03.03.2018; akzeptiert/accepted: 05.03.2018
Online verfügbar seit/Available online: 28.03.2018

Einleitung

Das vordere Kreuzband (VKB) ist wichtig für die Stabilisierung und Kinematik des Kniegelenkes [23,36]. Eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist daher eine ernste Knieverletzung [24].

Aufgrund der intraartikulären Lage ist das Heilungsverhalten von Rupturen des VKB schlecht. Ein Grund für das schlechte Heilungsverhalten ist die Synovia, die die rupturierten Bandfasern umspült und so die Bildung eines Fibrinclots verhindert. Auf diese Weise können sich chronische Instabilitäten entwickeln.

Eine chronische Instabilität kann den betroffenen Patienten funktionell im Sport, aber auch im Alltagsbeeinträchtigen. Verschiedene Studien haben außerdem gezeigt, dass eine VKB-Ruptur langfristig zur Entwicklung einer posttraumatischen Gonarthrose führt [1,7,17,21].

Auch wenn neuere Studien interessante Ergebnisse im Hinblick auf die Heilung von VKB-Rupturen zeigen, gilt heute der Ersatz des vorderen

Kreuzbandes mit einem autologen Sehnentransplantat (VKB-Plastik) als die Therapie der Wahl bei symptomatischer vorderer Instabilität [25]. Durch diese Operation soll die erhöhte anteriore tibiale Translation verbessert werden und die Rotationsstabilität wiederhergestellt werden [25]. Ob die Normalisierung der Kinematik des Kniegelenkes auch einen protektiven Effekt im Hinblick auf die Progression der posttraumatischen Arthrose und das Auftreten sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden hat, ist jedoch weiterhin umstritten, da eine posttraumatische Gonarthrose auch nach einer VKB-Plastik auftreten kann [1,7,17,21,33]. Diese Frage ist jedoch im Hinblick auf die Indikation zur VKB-Plastik von hoher klinischer Relevanz.

Dieser Artikel soll daher anhand eines Literaturüberblickes die Frage beantworten, ob die VKB-Plastik einen protektiven Effekt im Hinblick auf sekundäre Meniskusschäden und das Auftreten der posttraumatischen Gonarthrose besitzt.

Die Knie Trauma Kaskade: Trauma, chronische Instabilität und posttraumatische Gonarthrose

Die VKB-Ruptur ist eine ernsthafte Verletzung, da sie zu einer chronischen anterolateralen Rotationsinstabilität führen kann. Von einer chronischen Instabilität spricht man, wenn ein Patient mit einer objektivierbaren Laxität subjektive Instabilitätsereignisse (Giving way) verspürt. Aufgrund der gestörten Kinematik soll es zu einer Mehrbelastung der Menisken und aufgrund der vermehrten Translation auch zu ei-

ner Fehlbelastung des Gelenkknorpels kommen (Abb. 1). Diese Faktoren sollen langfristig zur Entstehung der posttraumatischen Gonarthrose beitragen (Abb. 2 und 3).

Verschiedene klinische Studien haben bestätigt, dass die chronische Instabilität langfristig zu Meniskus- und Knorpelschäden führt (Tabelle 1). In diesen Studien war die Rate an Meniskus- und Knorpelschäden signifikant höher, wenn Patienten mit einer VKB-Ruptur nicht innerhalb der ersten Monate nach dem Trauma, sondern erst nach mehr als 12 Monaten operiert wurden [2,5,11,13,26,32]. Das gilt beson-

ders für Patienten unter 18 Jahren [2]. Sekundäre Meniskussschäden betreffen den medialen Meniskus häufiger als den lateralen Meniskus.

Das Auftreten einer posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur ist unbestritten [24]. Dabei spielt jedoch nicht nur die chronische Instabilität mit sekundären Meniskus- und Knorpelschäden eine Rolle (Abb. 1). Auch primäre Meniskus- und Knorpelverletzungen, die beim initialen Knie Trauma auftreten, tragen maßgeblich zur Entwicklung einer degenerativen Gelenkerkrankung nach VKB-Ruptur bei [8,29] (Abb. 3). Bei den primären Meniskussschäden sind medialer und lateraler Meniskus etwa gleich häufig betroffen. Primäre Meniskus- und Knorpelschäden können durch eine VKB-Plastik jedoch nicht verhindert werden.

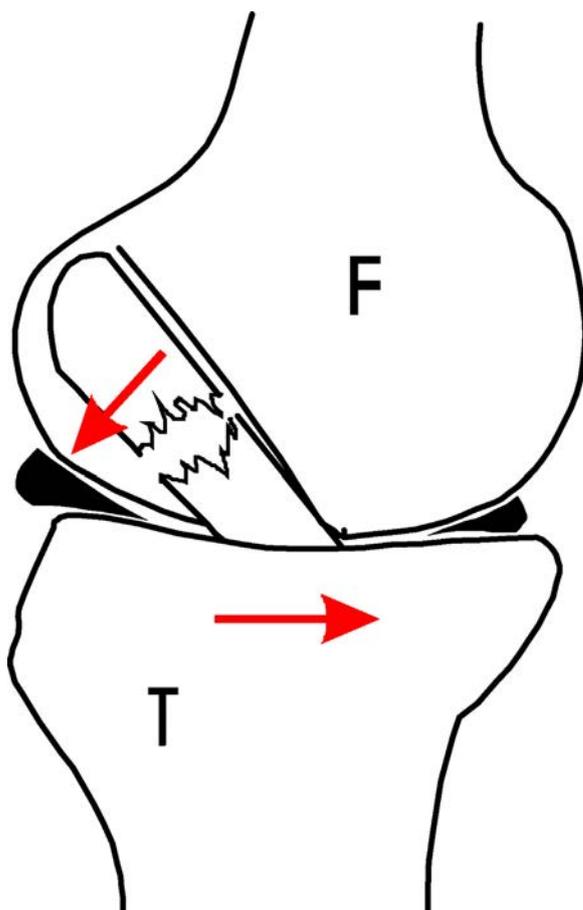


Abbildung 1

Schematische Darstellung des Pathomechanismus zur Entstehung sekundärer Meniskussschäden bei chronischer vorderer Instabilität nach VKB-Ruptur.

Die Doppelvarusdeformität und posttraumatische Gonarthrose bei anterolateraler Instabilität

Bei der VKB-Ruptur kommt es zu einer anterioren Subluxation des lateralen Tibiaplateaus. Dabei kommt es oft zu Begleitschäden der anterolateralen Band- oder Kapselstrukturen. Es entsteht eine anterolaterale Rotationsinstabilität mit lateraler Laxität. Durch die laterale Laxität kann eine vorbestehende konstitutionelle ossäre Varusdeformität (erhöhter TBVA) verstärkt werden (Abb. 4). Eine konstitutionelle Varusdeformität liegt bei 32% der Männer und 17% der Frauen in einer westlichen Population vor [4].

In diesem Fall spricht man von einer Doppelvarusdeformität (ligamentär und ossär). Durch die Erhöhung des Knieadduktionsmomentes kommt es bei diesen Patienten zu einer Überbelastung des medialen Kompartimentes mit posteromedialer

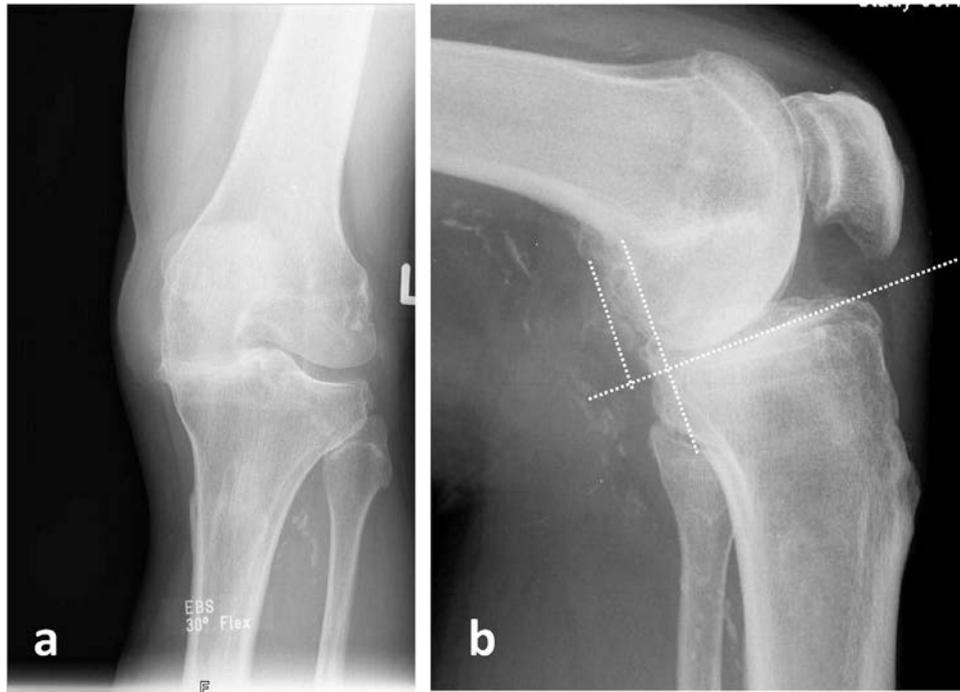


Abbildung 2
Posteromediale Gonarthrose bei chronischer Instabilität nach VKB-Ruptur: a) a.p. Aufnahme, b) seitliche Aufnahme.

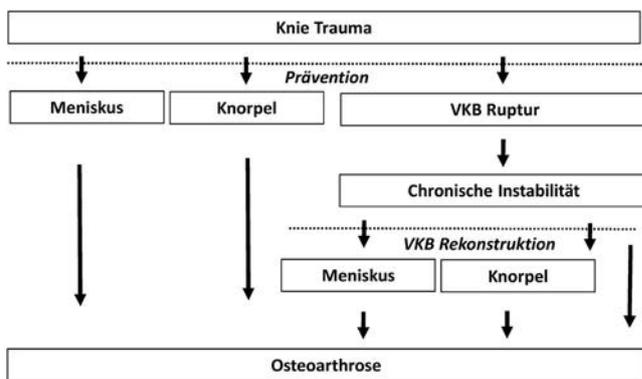


Abbildung 3
Schematische Darstellung der Knie-Trauma-Kaskade.

Knorpelverlust. Verstärkt wird diese Überlastung durch den sekundären medialen Meniskusverlust (Abb. 5 und 6).

Aufgrund der hohen Prävalenz der konstitutionellen Varusdeformität kommt dieser Pathomechanismus bei einem großen Teil der Patienten mit einer chronischen anterolateralen Instabilität zum Tragen.

VKB-Plastik und sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden

Meniskus- und Knorpelschäden haben einen großen Einfluss auf die Entstehung der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur. Aus diesem Grunde kommt dem protektiven Effekt der VKB-Plastik im Hinblick auf die Entstehung sekundärer

Meniskus- und Knorpelverletzungen eine große Bedeutung zu.

Die Tabelle 2 fasst Studien zu diesem Thema zusammen. Dabei wird ersichtlich, dass es zu dieser Fragestellung widersprüchliche Ergebnisse gibt [6,9,10,12,15,18,28]. Auffällig ist jedoch, dass alle Studien mit einer großen Fallzahl (Power) einen signifikanten Effekt der VKB-Plastik auf die Rate sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden zeigen konnten [6,9,10,28]. In diesen Studien kam es bei Patienten mit Kreuzbandplastik zu signifikant weniger Meniskus- und Knorpelschäden als bei nicht operierten Patienten. Diese Beobachtung legt die Vermutung nahe, dass die Studien ohne Effekt „underpowered“ sind.

Insgesamt haben in dieser Auswertung drei Kohortenstudien und ein systematischer Review einen Effekt der VKB-Plastik auf die Rate sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden zeigen können.

Tabelle 1. Chronische vordere Instabilität und sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden.

| Autor/Jahr | N | Alter (Jahre) | Studien Design/LOE | Ergebnisse |
|----------------------------|------|---------------------|---|--|
| Anderson and Anderson 2014 | 135 | < 17 (median 14) | Kohortenstudie/ LOE 3 | Die Zeit von der Verletzung bis zur VKB-Rekonstruktion und die Anzahl an Episoden für Instabilität erhöhten das Risiko sekundärer Meniskus- und Knorpelverletzungen. |
| Brambilla et al., 2015 | 988 | 29.82 (20.87-40.64) | Kohortenstudie/ LOE 3 | Die Odds Ratio (OR) für die Entwicklung einer intraartikulären Läsion betrug 1,989 (95% CI, 1,403-2,820) bei Patienten, die mehr als 12 Monate auf die ACL-Rekonstruktion warteten. |
| Fok and Yau 2013 | 162 | 26.3 (13–48) | Retrospektive vergleichende Studie, LOE III | Eine zeitliche Verzögerung der VKB-Rekonstruktion war mit einer erhöhten Häufigkeit von Meniskus- und Gelenkknorpelschäden verbunden. |
| Ghoradhra et al., 2013 | 709 | | Retrospektive vergleichende Studie, LOE III | Patienten, die mehr als 8 Wochen nach der VKB-Ruptur operiert wurden, wiesen im medialen Kompartiment einen statistisch signifikant schwereren Knorpelschaden auf als Patienten, die weniger als 8 Wochen nach der Operation operiert wurden. Für Meniskusrisse wurde keine Korrelation gefunden. |
| Michalitsis et al., 2012 | 109 | 26 | Diagnostische Studie, Level II | Die Zeit nach der Verletzung war kein signifikanter Faktor für das Vorhandensein einer Meniskuläsion. Das Vorhandensein von hochgradigen Knorpelläsionen war bei einem ACL-defizienten Knie signifikant erhöht, wenn die Rekonstruktion mehr als 12 Monate nach der Verletzung durchgeführt wurde. |
| Ralles et al., 2015 | 1434 | 13-65 | Kohortenstudie/ LOE 3 | Es wurde eine Assoziation zwischen der Zeit bis zur Operation und einer erhöhten Inzidenz von Knorpelverletzungen in der Trochlea, dem lateralen Femurkondylus, dem medialen Tibiaplateau und dem Innenmeniskus festgestellt ($P < 0.001$). |
| Sri Ram et al., 2013 | 5086 | 30 | Kohortenstudie/ LOE 3 | Mit zunehmendem Abstand von der Operation traten vermehrt mediale Meniskusrisse und chondrale Schäden auf, nicht jedoch laterale Meniskusrisse. |
| Tandogan et al., 2004 | 764 | 27 | Retrospektive vergleichende Studie, LOE III | Die Zeit zur Verletzung und das Alter sind wichtige Prädiktoren für laterale Meniskusrisse und für chondrale Läsionen vom Grad 3 oder 4-. |
| Krutsch et al., 2015 | 233 | 30,5 | Cohort study/ LOE 3 | Significantly higher rate of meniscal repair of the medial meniscus was seen in cases of early ACL repair compared to delayed (<6 months 77.2%, >6 months 46.7; $p = 0.022$). |

Chalmers et al. [6] haben ein systematisches Review über die Langzeitergebnisse nach VKB-Rekonstruktion (> 10 Jahre) veröffentlicht. In diese Studie konnten 40 Patientenkohorten eingeschlossen werden. In 1585 Fällen wurde operativ behandelt und in 685 Fällen wurde nicht-operativ behandelt. In dieser Studie wurden im Langzeitverlauf nach durchschnittlich $13,9 \pm 3,1$ Jahren signifikant weniger Menisku-

soperationen in der Gruppe mit VKB-Rekonstruktion durchgeführt als in der Gruppe ohne VKB-Rekonstruktion (13.9% vs. 29.4%, $p = 0.0017$). Dunn et al. [9] haben mit einer Kohortenstudie an 6576 Patienten zeigen können, dass die Rate an Reoperationen signifikant geringer nach VKB-Rekonstruktion war, dass die VKB-Rekonstruktion protektiv im Hinblick auf sekundäre Meniskus- und Knorpelverletzungen war und

dass sekundäre Meniskusverletzungen signifikant häufiger den medialen als den lateralen Meniskus betrafen.

Auch Sanders et al. [28] konnten mit einer Kohortenstudie an 964 Patienten zeigen, dass nicht operativ behandelte Patienten oder Patienten mit verzögerter VKB-Rekonstruktion eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für sekundäre Meniskusverletzungen aufwiesen. Fithian et al.



Abbildung 4
Ganzbeinaufnahme eines Patienten mit Rezidivinstabilität nach VKB-Plastik. Die Aufnahme zeigt eine Doppelvarussituation mit ossärem Varus und Distraction auf der lateralen Seite des Gelenkes.

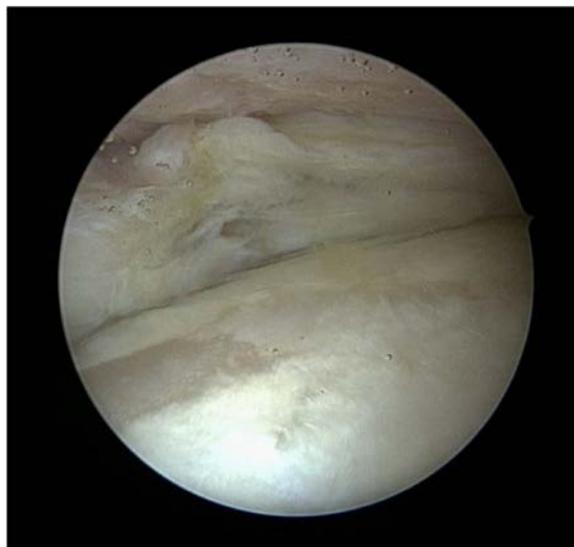


Abbildung 5
Arthroskopisches Bild einer posteromedialen Gonarthrose mit 4° tibialen Knorpelschäden bei Z.n. Menishektomie und chronischer vorderer Instabilität.

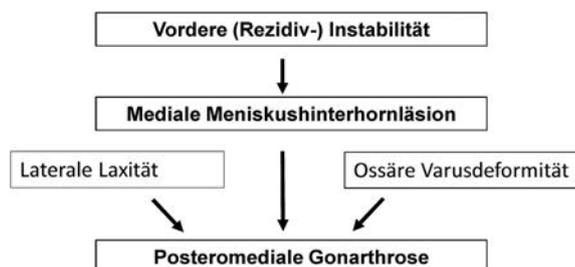


Abbildung 6
Schematische Darstellung der Pathogenese der posteromedialen Gonarthrose.

[10] haben eine kontrollierte prospektive Studie ohne Randomisierung durchgeführt. Auch in dieser Studie kam es zu signifikant mehr sekundären Meniskusverletzungen in der Gruppe mit konservativer Therapie als nach früherer Rekonstruktion. Diese Beobachtung galt für alle Risikogruppen. Die Einteilung der Risikogruppen in hoch, moderat und gering ergab sich aus den Stunden Risikosport (z.B. Ballsport) pro Jahr und der KT 1000 Differenz. Jungmann et al. [15] haben im Rahmen einer Kohortenstudie an 50 Patienten mit der MRT zeigen können,

dass Patienten mit VKB-Ruptur einen schlechteren WORMS Score hatten als Patienten mit VKB-Rekonstruktion und Probanden mit normalem VKB. Der MRT Score WORMS beinhaltet Meniskusverletzungen, Knorpelschäden, intraartikulären Erguss, Knochenmarksödem, Bandschäden und freie Gelenkkörper. Drei Studien haben keinen Effekt der VKB-Plastik im Hinblick auf die Prävalenz sekundärer Meniskusläsionen gezeigt [12,18,34]. Die Fallzahl in diesen Studien ist deutlich geringer als die der Studien, die einen Effekt gezeigt haben (Tabelle 2). Bei

Tabelle 2. Einfluss der VKB-Plastik auf die Entstehung sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden.

| Autor, Jahr | N | FU (Jahre) | Design, LOE | Ergebnisse |
|-----------------------|------|------------|---|---|
| Chalmers 2014 | 2270 | 13,9 | Syst, Review | <ul style="list-style-type: none"> • Signifikant weniger Meniskusoperationen in der Gruppe mit VKB-Rekonstruktion als in der Gruppe ohne VKB-Rekonstruktion (13.9% vs. 29.4%, $p = 0.0017$). |
| Dunn et al., 2004 | 6576 | 9 | Kohorten S./ III | <ul style="list-style-type: none"> • Rate an Re-Operationen signifikant geringer nach VKB-Rekonstruktion (4.90/100 vs. 13.86/100 Personenjahre; $P < .0001$). • VKB-Rekonstruktion war protektiv gegen sekundäre Meniskus- und Knorpelverletzungen ($P < 0,0001$). • Sekundäre mediale Meniskusverletzungen waren signifikant häufiger als laterale Meniskusverletzungen ($P < .003$). |
| Fithian et al., 2005 | 209 | 6,6 | Kontrolliert, prospektiv, nicht rand./ II | <ul style="list-style-type: none"> • Signifikant mehr sekundäre Meniskusoperationen in der Gruppe mit konservativer Therapie als nach früher Rekonstruktion in allen Risikogruppen (hohes Risiko: 25% vs. 6.5%; moderates Risiko: 37% vs. 7.7%, geringes Risiko: 16% vs. 0%). |
| Sanders et al., 2016 | 964 | 13.7 | Kohorten S./ III | <ul style="list-style-type: none"> • Nicht operativ behandelte Patienten hatten eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für sekundäre Meniskusverletzungen (hazard ratio [HR], 5.4; 95% CI, 3.8-7.6), für radiologische Arthrosezeichen (HR, 6.0; 95% CI, 4.3-8.4) und die Implantation einer Knieprothese (HR, 16.7; 95% CI, 5.0-55.2). • Patienten mit verzögerter VKB-Rekonstruktion hatten eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für sekundäre Meniskusverletzungen (HR, 3.9; 95% CI, 2.2-6.9) und für radiologische Arthrosezeichen (HR, 6.2; 95% CI, 3.4-11.4). |
| Jungmann et al., 2016 | 54 | 4 | Kohorten S./ III | <ul style="list-style-type: none"> • Patienten mit VKB-Ruptur hatten einen schlechteren WOMS Score (44.1 ± 3.5) als Patienten mit VKB-Rekonstruktion (30.8 ± 4.0; $P = 0.015$) und als Probanden mit normalem VKB (21.3 ± 3.0; $P < 0.001$). |
| Frobell et al., 2015 | 121 | 5 | RCT/ I | <ul style="list-style-type: none"> • 61 Kniegelenke (51%), 29 aus der Gruppe mit früher VKB-Rekonstruktion und 32 aus der Gruppe mit initialer Rehabilitation hatten einen Meniskuseingriff, kein signifikanter Unterschied ($P = 0.483$). • Auch in der „as treated Analyse“ kein signifikanter Unterschied ($P = 0.774$ https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3553934/figure/fig2/). |
| Meuffels et al., 2009 | 50 | 10 | Kohorten S./ II | <ul style="list-style-type: none"> • Kein Unterschied zwischen konservativen und operativen Patienten im Hinblick auf OA und Meniskuläsionen. |
| Van Meer et al., 2016 | 143 | 2 | Kohorten S./ III | <ul style="list-style-type: none"> • Kein Unterschied im Hinblick auf degenerative Frühveränderungen zwischen den drei Behandlungsgruppen konservativ, VKB-Rekonstruktion < 6 Monate und VKB-Rekonstruktion > 6 Monate. |

genauerer Betrachtung der Studien sind zudem weiteren methodischen Mängel zu erkennen.

In der Studie von Meuffels et al. [18] werden Röntgenbilder der VKB-Rekonstruktionen gezeigt. Dabei fällt auf, dass es sich hier um eine sogenannte femorale „High noon“-Position handelt. Das heißt, dass der femorale Tunnel extraanatomisch sehr steil im Dach der Fossa inter-

condylaris verankert wurde. Biomechanische Studien haben gezeigt, dass mit einer hohen nichtanatomischen femoralen Tunnelposition insbesondere die Rotationsstabilität des Kniegelenkes nicht wiederhergestellt werden kann [16]. Auch in klinischen Studien konnte eine hohe femorale Tunnelposition als Prädiktor für das Versagen nach VKB-Plastik identifiziert werden

[14,21,25,31]. Das Auftreten der „High noon“-Position ist ein Risiko der transtibialen Bohrtechnik. Ein neueres systematisches Review hat gezeigt, dass die Portal-Bohr-Technik der transtibialen Bohr-Technik hinsichtlich der klinischen funktionellen Scores und der Wiederherstellung der Laxität überlegen ist [27]. Entsprechend sind die Ergebnisse, welche Meuffels et al. präsentieren,

auf Grund der extraanatomischen Bohrkanallage nur bedingt generalisierbar [18].

In der schwedischen KANON-Studie von Frobell et al. wurden 61 Patienten in die Gruppe mit einer frühen VKB-Rekonstruktion randomisiert; 59 Patienten wurden in die Gruppe mit Physiotherapie und ggf. aufgeschobener VKB-Rekonstruktion randomisiert [12]. In der „Intention to treat“ Analyse war hinsichtlich der klinischen Scores sowie der Rate sekundärer Meniskusläsionen kein Unterschied zwischen beiden Behandlungsgruppen nachweisbar. In der Gruppe mit Physiotherapie und ggf. aufgeschobener VKB-Rekonstruktion wurde allerdings bei 29 Patienten im Verlauf eine VKB-Plastik durchgeführt. Im Ergebnisteil der Publikation wird beschrieben, dass insgesamt in 51% der Kniegelenke am Meniskus operiert wurde (29 in der Gruppe mit früher Rekonstruktion und 32 in der Gruppe mit initialer Rehabilitation und optionaler aufgeschobener Rekonstruktion). Der reine Zahlenvergleich der beiden Behandlungsgruppen im Hinblick auf die Meniskuseingriffe ist jedoch irreführend, da in dieser Studie nicht nach Meniskusresektion oder Refixation unterschieden wird. Beide Verfahren sind jedoch prognostisch unterschiedlich zu bewerten. Im zeitlichen Verlauf der Studie wird ersichtlich, dass in der Gruppe mit früher VKB-Rekonstruktion fast alle Meniskuseingriffe zusammen mit der initialen VKB-Plastik erfolgt ist. Es ist daher anzunehmen, dass der Anteil der Meniskusrefixationen bei einer akuten VKB-Rekonstruktion höher ist als bei einer aufgeschobenen VKB-Rekonstruktion.

Wenn die Daten der KANON Studie nach der Anzahl der Meniskuseingriffe in den Behandlungsgruppen analysiert werden (einschließlich Zweit- oder Dritteingriffe), sieht

das Bild anders aus. In der Gruppe mit früher VKB-Rekonstruktion wurde insgesamt 43 mal am Meniskus operiert. In der Gruppe mit aufgeschobener optionaler VKB-Rekonstruktion wurden 63 Meniskuseingriffe gezählt. Der P-Wert wird hier mit 0,035 angegeben, sodass hier von einer schwachen Signifikanz auszugehen ist, die sich wahrscheinlich bei einer höheren Fallzahl oder längerem „Follow up“ verstärken würde. Diese Daten sind nur im Anhang der KANON Studie zu finden [12].

VKB-Plastik und Progression der posttraumatischen Gonarthrose

Inwieweit eine VKB-Plastik die Progression der posttraumatischen Gonarthrose aufhalten kann, war in der Vergangenheit umstritten [24]. Es sind jedoch verschiedene neuere systematische Litaratureviews publiziert worden, die diese Frage beleuchten und beantworten können (Tabelle 3).

Die Integrität des Meniskus wird von vielen Autoren als der entscheidende prognostische Faktor für das klinische Ergebnis und die Entwicklung einer posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur gesehen [1,7,17,21,33].

Claes et al. haben im Rahmen eines systematischen Reviews 16 Studien mit einem Follow up von 10 Jahren mit insgesamt 1554 VKB-Rekonstruktionen analysiert [7]. Von diesen 453 Kniegelenken hatten 28% radiologische Arthrosezeichen (IKDC Arthroscore C und D, mäßige oder deutliche Gelenkspaltverschmälerung). Die Subgruppenanalyse zeigte jedoch, dass 50% der Patienten mit einer Meniskektomie und nur 16% der Patienten ohne Meniskektomie eine posttraumatische Gonarthrose entwickelten. Zum einen zeigen diese Daten, dass

die Arthroserate bei isolierter VKB-Ruptur geringer ist als bisher vermutet worden war. Zum anderen unterstreicht die Studie die Wichtigkeit der Integrität der Menisken im Hinblick auf die Entwicklung der posttraumatischen Gonarthrose.

Auch van Meer et al. konnten anhand von 64 Publikationen zeigen, dass der Status des Meniskus eine wichtige Rolle für die Entstehung der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur spielt [33]. Allerdings konnte dieser Zusammenhang in diesem systematischen Review nur für den medialen Meniskus gezeigt werden.

Luc et al. haben im Rahmen eines systematischen Reviews 38 Studien im Hinblick auf die posttraumatische Gonarthrose nach VKB-Rekonstruktion analysiert [17]. In 27 dieser Studien wurde die tibiofemorale Gonarthrose untersucht. Eingeschlossen wurden Studien, in denen die Arthrose radiologisch anhand standardisierter Scores im tibiofemoralen oder patellofemoralem Gelenk analysiert wurde. Insgesamt betrachtet war die Prävalenz der Arthrose in der Gruppe mit VKB-Rekonstruktion höher als in der Gruppe mit vorderer Instabilität ohne Rekonstruktion (VKB-Reko, 2500 Patienten: 44%, VKB defizient, 337 Patienten: 37%). Diese Prävalenzen dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden. So bestand eine Abhängigkeit der Arthroseprävalenz zum Zeitpunkt zur VKB-Rekonstruktion. In der ersten Dekade (0-10 Jahre post Unfall) lag die Prävalenz der radiologischen Arthrosezeichen bei 36% für die Gruppe mit VKB-Rekonstruktion und 34% für die Gruppe ohne VKB-Rekonstruktion. In der zweiten Dekade (11-18 Jahre post Unfall) lag die Prävalenz der radiologischen Arthrosezeichen bei 48% für die Gruppe mit VKB-Rekonstruktion und 32% für die Gruppe ohne VKB-Rekonstruktion. In der dritten

Tabelle 3. Einfluss der VKB-Plastik auf die posttraumatische Gonarthrose.

| Autor/Jahr | N | Studien Design/LOE | Ergebnisse |
|-----------------------|------------|----------------------------|--|
| Ajuied et al., 2014 | 596 | Syst. Review, Meta-Analyse | Nicht operativ behandelte VKB-verletzte Kniegelenke hatten ein signifikant höheres relatives Arthroserisiko (RR, 4,98; $P < 0,00001$) im Vergleich zu denen, die operativ behandelt wurden (RR, 3,62; $P < 0,00001$). Im Hinblick auf mittelschwere oder schwere Arthrosegrade hatten Kniegelenke nach VKB-Rekonstruktion ein signifikant höheres relatives Arthroserisiko (RR, 4,71; $P < 0,00001$) im Vergleich zur nicht-operativen Behandlung (RR, 2,41; $P = .54$). |
| Claes et al., 2013 | 1554 | Syst. Review, Meta-Analyse | Insgesamt konnten 16 Studien in die Metaanalyse einbezogen werden, (1554 ACL-Rekonstruktionen). 453 Kniegelenke (28%) zeigten radiologische Arthrosezeichen (IKDC Grad C oder D). 50% der Patienten mit Menishektomie hatten radiologische Arthrosezeichen, verglichen mit 16% der Patienten ohne Menishektomie. |
| Luc et al., 2014 | 2837 | Syst. Review | Die aktuelle Literatur liefert keine substantiellen Beweise dafür, dass VKB-Rekonstruktion eine adäquate Intervention zur Prävention von Kniearthrose ist. In Bezug auf die Arthrose-Prävalenz waren die einzigen Patienten, die von einer VKB-Rekonstruktion profitierten, jene, die eine gleichzeitige Menishektomie mit Rekonstruktion durchliefen. |
| Van Meer et al., 2015 | 709 | Syst. Review | Eine mediale Meniskusverletzung / Menishektomie nach VKB-Ruptur erhöhte das Risiko einer OA-Entwicklung. Im Gegensatz dazu scheint die laterale Meniskusverletzung / Menishektomie keine Beziehung zur OA-Entwicklung zu haben. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Zeit zwischen Verletzung und Rekonstruktion keinen Einfluss auf die patellofemorale und tibiofemorale OA-Entwicklung hat. |
| Oiestad et al., 2009 | 31 Studien | Syst. Review | Die berichtete Prävalenz der Gonarthrose bei Patienten mit isolierter vorderer Kreuzbandverletzung lag zwischen 0% und 13%. Bei Patienten mit VKB-Ruptur und zusätzlicher Meniskusverletzung variierte die Prävalenz zwischen 21% und 48%. In den Studien wurden sieben verschiedene radiologische Klassifizierungssysteme verwendet. Der am häufigsten berichtete Risikofaktor für die Entwicklung der Arthrose war die Meniskusverletzung. |

Dekade (19<-35 Jahre post Unfall) lag die Prävalenz der radiologischen Arthrosezeichen bei 42% für die Gruppe mit VKB-Rekonstruktion und 76% für die Gruppe ohne VKB-Rekonstruktion. Diese Daten weisen darauf hin, dass ein präventiver Effekt der VKB-Plastik möglicherweise erst in der dritten Dekade nach VKB-Rekonstruktion zu erwarten ist [17]. Auch in diesem systematischen Review hatte der Zustand des Meniskus einen erkennbaren Einfluss auf die Arthroserate nach VKB-Rekonstruktion [16]. In der Gruppe der Patienten mit VKB-Rekonstruktion und Menishektomie lag die Arthroserate bei 52%, in der Gruppe der Patienten mit chronischer Instabilität und Menishektomie lag die Arthroserate bei 59%. In der dritten Dekade (19-35 Jahre post VKB-Ruptur) war der Un-

terschied noch ausgeprägter. Da lag die Prävalenz der radiologischen Arthrosezeichen bei 33% für die Gruppe mit VKB-Rekonstruktion und Menishektomie und 94% für die Gruppe mit Menishektomie ohne VKB-Rekonstruktion. Damit konnte diese Studie zeigen, dass Patienten mit einem Meniskusverlust im Hinblick auf die Arthroseprävalenz von einer VKB-Rekonstruktion profitieren.

Neben dem Einfluss der Meniskusverletzungen wurde auch die Transplantatwahl hinsichtlich der Arthroprogression in Studien untersucht. Auch die Transplantatwahl hatte einen deutlichen Einfluss auf die Arthroserate nach VKB-Rekonstruktion [16]. In der Gruppe der Patienten mit einer offenen Patellarsehnenrekonstruktion (141 Patienten) lag die

Arthroserate bei 51%, in der Gruppe der Patienten mit arthroskopischer Patellarsehnenrekonstruktion (476 Patienten) lag die Arthroserate bei 47% und in der Gruppe mit arthroskopischer Beugesehnenrekonstruktion (Semi T) lag die Arthroserate nur bei 29%. Damit war die Arthroserate in der Beugesehnennguppe deutlich geringer als in der Gruppe mit chronischer Instabilität ohne VKB-Rekonstruktion (337 Patienten, Arthroserate 37%).

Ein Problem der systematischen Reviews von Claes et al. [7] und Luc et al. [17] war, dass die eingeschlossenen Studien ihre Ergebnisse mit unterschiedlichen radiologischen Scores erhoben haben (IKDC Arthrose Score, Ahlbäck Klassifikation, Jäger Wirth und Lawrence). Dadurch sind die Ergebnisse

der einzelnen Studien nicht untereinander vergleichbar. So soll mit der IKDC-Klassifikation das Ausmaß der Gonarthrose überschätzt werden und die Ahlbäck-Klassifikation soll eine schlechte intra- und interobserver Reliabilität aufweisen [1]. Eine Meta-Analyse war daher nicht möglich.

Aus diesem Grunde haben Ajuied et al. [1] im Rahmen eines systematischen Reviews nur Studien ausgewertet, die die Kellgren- und Lawrence-Klassifikation zur Analyse der radiologischen Arthrose-Zeichen verwendet haben. In dieses systematische Review konnten 9 Studien mit einem Follow up von 10 Jahren eingeschlossen werden. Sechs dieser Studien konnten in eine Metaanalyse eingeschlossen werden. In dieser Studie hatten 121 Kniegelenke von 596 Kniegelenken moderate oder schwere radiologische Arthrose-Zeichen (Kellgren & Lawrence Grad III oder IV) im Vergleich zu 23 von 465 (4.9%) unverletzten kontralateralen Kniegelenken. Nicht operativ behandelte Kniegelenke hatten ein signifikant höheres Risiko, radiologische Arthrosezeichen zu entwickeln (RR, 4.98; $P \leq .00001$) als Kniegelenke, bei denen eine VKB-Rekonstruktion durchgeführt wurde (RR, 3.62; $P \leq .00001$). Das relative Risiko für moderate oder schwere Arthroszeichen war jedoch in der Gruppe mit VKB-Rekonstruktion höher. Eine Erklärung für diese Beobachtung war die signifikante Heterogenität der Studien mit nicht operativer Behandlung. Eine andere Erklärung der Autoren war, dass die nichtoperative Behandlung in einigen Studien die Aktivitätsmodifikation beinhaltete. In Studien mit operativer Behandlung hingegen war die Rückkehr zu Risikosportarten das Ziel der operativen Behandlung. Die Wiederaufnahme von Risikosport mit der Gefahr neuer Verletzungen kann als Grund für die höhere Rate an mode-

raten oder schweren Arthroszeichen in der operativ behandelten Gruppe gesehen werden.

Trotzdem zeigt diese Meta-Analyse erstmals, dass eine VKB-Rekonstruktion einen schützenden Effekt im Hinblick auf die Progression der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Plastik hat [1].

Diskussion

Zusammenfassend zeigen die ausgewerteten systematischen Reviews, Meta-Analysen und Studien, dass eine chronische Instabilität bei Ruptur des vorderen Kreuzbandes langfristig zu sekundären Meniskus- und Knorpelschäden führt [2,5,11,13,19,26,30,32]. Primäre und sekundäre Meniskusschäden spielen für die Entwicklung der posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur eine wichtige Rolle. Eine VKB-Plastik schützt vor sekundären Meniskusschäden [6,9,10,28]. Außerdem gibt es mittlerweile systematische Reviews und Meta-Analysen, die Hinweise darauf geben, dass eine VKB-Plastik langfristig auch die Entstehung einer posttraumatischen Gonarthrose verhindern kann [1]. Das gilt besonders für Kniegelenke, bei denen es schon zu einem Meniskusschaden gekommen ist [17].

Im Hinblick auf die widersprüchlichen Angaben zum protektiven Effekt der VKB-Plastik ist es sinnvoll, auf die Methodik der jeweiligen Studien zu schauen. Die Qualität der Aussagen eines systematischen Reviews oder einer Meta-Analyse ist immer nur so gut wie die Qualität der eingeschlossenen Studien. Oiest et al. haben mit Hilfe eines wissenschaftlichen Scores zeigen können, dass die meisten Studien, die die Arthrose nach VKB-Ruptur untersuchten, nur eine unzureichende Studienqualität hatten [21].

Ein wichtiges Problem bei der Literaturanalyse ist die Heterogenität der vorhandenen Studien. Das gilt besonders für die verwendeten radiologischen Arthroscores. Erst in der Meta-Analyse von Ajuied et al. [1], in die nur Studien eingeschlossen wurden, die die Kellgren- und Lawrence-Klassifikation verwendeten, konnte ein protektiver Effekt der VKB-Plastik im Hinblick auf die posttraumatische Gonarthrose auch für Patienten ohne Meniskusresektion gezeigt werden.

Ein weiteres Problem bei der Beantwortung dieser Fragestellung ist, dass für die Arthroseentstehung eher Langzeitergebnisse (> 10 Jahre) relevant sind. Das beinhaltet, dass in diesen Studien Operationsverfahren zum VKB-Ersatz untersucht wurden, die vor ca. 20 Jahren aktuell waren. Ein relevanter Punkt ist dabei die transtibiale Bohrtechnik, die in den Anfängen der arthroskopischen Kreuzbandchirurgie weit verbreitet war. Ein Problem dieser Bohrtechnik ist – wie schon ausgeführt – das Risiko für eine hohe nicht anatomische Tunnel Fehlplatzierung. Es ist davon auszugehen, dass in den bisherigen systematischen Reviews analysierten Studien eine hohe Rate an nicht anatomischen oder partiell anatomischen femoralen und tibialen Tunnelplatzierungen bestand. Biomechanische Studien haben gezeigt, dass diese Tunnelposition nicht geeignet ist, die Rotationsstabilität des Kniegelenkes wiederherzustellen [15]. Klinische Studien haben gezeigt, dass die transtibiale Bohrtechnik zu vermehrter Laxität und schlechteren funktionellen Scores führt als die heute weit verbreitete mediale Portalbohrtechnik [22,25].

In vielen analysierten Studien ist außerdem die Patellarsehne als VKB-Transplantat verwendet worden. Das systematische Review von Luc et al. hat gezeigt, dass die

Arthroserate bei der Verwendung der Patellarsehnen höher war als bei Verwendung der Beugesehnen [17].

In den letzten Jahren hat sich die Kreuzbandchirurgie jedoch weiterentwickelt. Es ist zu erwarten, dass die aktuellen Operationstechniken (anatomische VKB-Plastik, Beugesehnen- oder Quadrizepssehnentransplantat, Portalbohrtechnik, Remnant Augmentation, ALL Plastik, Refixationen etc.) mit verbesserter Stabilität (insbesondere bessere Rotationsstabilität) und besseren funktionellen Ergebnissen das Gelenk auch wirksamer vor sekundären Gelenkschäden schützen kann als die Operationstechniken der 90er Jahre (transtibiale Bohrtechnik, Patellarsehne).

Auch die Heterogenität der Studienpopulationen hat Verzerrungspotential im Hinblick auf den protektiven Effekt der VKB-Plastik. Da es sich bei den meisten Studien nicht um randomisierte Studien handelt, waren in den konservativ behandelten Patientengruppen vermehrt Patienten mit Monoverletzungen (isolierte VKB-Ruptur) und Patienten mit geringerem Aktivitätsniveau oder mit Adaptation des Aktivitätsniveaus. In den operativ behandelten Patientengruppen waren eher Patienten, die auch zu Risikosportarten zurückkehrten („knee abuser“). Die Wiederaufnahme von Risikosport beinhaltet jedoch das Risiko weiterer Traumata mit dem Risiko von Rupturen und weiteren Verletzungen [3].

Im Hinblick auf die Heterogenität der verschiedenen Studien wären auch Informationen über den Anteil an Patienten mit Varusdeformität relevant, da die Doppelvarusdeformität eine wichtige Rolle in der Pathogenese der posttraumatischen Gonarthrose spielt. In Fällen mit symptomatischer Instabilität und Doppelvarusdeformität ist eine alleinige VKB-Rekonstruktion möglicher-

weise nicht ausreichend. Verschiedene Autoren konnten zeigen, dass Patienten mit einer Varusdeformität ein höheres Revisionsrisiko hatten als Patienten ohne Varusdeformität [20,22,35]. Daher muss in diesen Fällen eine zusätzliche Korrekturosteotomie in Betracht gezogen werden, um die Progression der posteromedialen Gonarthrose zu verlangsamen. Dieser Aspekt wurde in bisherigen systematischen Reviews zur posttraumatischen Gonarthrose nach VKB-Ruptur nicht diskutiert. Die genauere Betrachtung der analysierten Studien zum protektiven Effekt der VKB-Plastik zeigt, dass insgesamt ein hohes Maß an Verzerrungspotential vorliegt. Dieses Verzerrungspotential muss bei der Interpretation der vorhandenen Studien und Daten zum protektiven Effekt der VKB-Plastik berücksichtigt werden. Weitere prospektive Studien zum protektiven Effekt neuerer Techniken zur VKB-Rekonstruktion unter Vermeidung systematischer Fehler mit dem Risiko der Verzerrung sind notwendig.

Fazit für die Praxis

Zusammenfassend besteht trotz hohem Verzerrungspotential der bisherigen Studien ausreichend wissenschaftliche Evidenz für die Hypothese, dass die Kreuzbandplastik das Knie vor sekundären Meniskusverletzungen und auch vor der posttraumatischen Gonarthrose schützen können. Dieser Aspekt sollte bei der Indikation zur Operation berücksichtigt werden. Das gilt insbesondere für begleitende primäre Meniskusverletzungen. Der Meniskusverlust spielt offenbar eine Schlüsselrolle bei der Entstehung der posttraumatischen Gonarthrose. Daher sollte bei Kombinationsverletzungen (VKB und Meniskus) eher frühzeitig eine operative Strategie

eingeschlagen werden als bei isolierten VKB-Rupturen, da bei einer frühzeitigen Versorgung die Chance auf einen Meniskuserhalt höher als bei einer aufgeschobenen Versorgung ist und der stabilisierende Effekt der VKB-Plastik bei gleichzeitigem Verlust des Meniskus die Progression der Gonarthrose verlangsamt.

Interessenkonflikt

Es gibt keinen Interessenkonflikt.

Literatur

- [1] A. Ajuied, F. Wong, C. Smith, M. Norris, P. Earnshaw, D. Back, A. Davies, Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis, *Am J Sports Med.* 42 (9) (2014 Sep) 2242–2252.
- [2] A.F. Anderson, C.N. Anderson, Correlation of meniscal and articular cartilage injuries in children and adolescents with timing of anterior cruciate ligament reconstruction, *Am J Sports Med.* 43 (2) (2015 Feb) 275–278.
- [3] D. Andernord, H. Björnsson, M. Petzold, B.I. Eriksson, M. Forssblad, J. Karlsson, K. Samuelsson, Surgical Predictors of Early Revision Surgery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Results From the Swedish National Knee Ligament Register on 13,102 Patients, *Am J Sports Med.* 42 (7) (2014 Jul) 1574–1582.
- [4] J. Bellemans, W. Colyn, H. Vandenuecker, J. Victor, The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus, *Clin Orthop Relat Res.* 470 (1) (2012 Jan) 45–53.
- [5] L. Brambilla, L. Pulici, G. Carimati, A. Quaglia, E. Prospero, C. Bait, E. Morengi, N. Portinaro, M. Denti, P. Volpi, Prevalence of Associated Lesions in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Correlation With Surgical Timing and With Patient Age, Sex, and Body Mass Index, *Am J Sports Med.* 43 (12) (2015 Dec) 2966–2973.
- [6] P.N. Chalmers, N.A. Mall, M. Moric, S.L. Sherman, G.P. Paletta, B.J. Cole, B.R. Bach Jr., A.C.L. Does, reconstruction alter natural history?: A systematic

- literature review of long-term outcomes, *J Bone Joint Surg Am.* 96 (4) (2014 Feb 19) 292–300.
- [7] S. Claes, L. Hermie, R. Verdonk, J. Bellemans, P. Verdonk, Is osteoarthritis an inevitable consequence of anterior cruciate ligament reconstruction? A meta-analysis, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 21 (9) (2013 Sep) 1967–1976.
- [8] C.L. Cox, L.J. Huston, W.R. Dunn, E.K. Reinke, S.K. Nwosu, R.D. Parker, R.W. Wright, C.C. Kaeding, R.G. Marx, A. Amendola, E.C. McCarty, K.P. Spindler, Are articular cartilage lesions and meniscus tears predictive of IKDC, KOOS, and Marx activity level outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction? A 6-year multicenter cohort study, *Am J Sports Med.* 42 (5) (2014 May) 1058–1067.
- [9] W.R. Dunn, S. Lyman, A.E. Lincoln, P.J. Amoroso, T. Wickiewicz, R.G. Marx, The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on the risk of knee reinjury, *Am J Sports Med.* 32 (8) (2004 Dec) 1906–1914.
- [10] D.C. Fithian, E.W. Paxton, M.L. Stone, W.F. Luetzow, R.P. Csintalan, D. Phelan, D.M. Daniel, Prospective trial of a treatment algorithm for the management of the anterior cruciate ligament-injured knee, *Am J Sports Med.* 33 (3) (2005 Mar) 335–346.
- [11] A.W. Fok, W.P. Yau, Delay in ACL reconstruction is associated with more severe and painful meniscal and chondral injuries, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 21 (4) (2013 Apr) 928–933.
- [12] R.B. Frobell, H.P. Roos, E.M. Roos, F.W. Roemer, J. Ranstam, L.S. Lohmander, Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial, *BMJ.* 346 (2013 Jan 24) f232, <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.f232>.
- [13] N. Ghodadra, N.A. Mall, V. Karas, R.C. Grumet, S. Kirk, A.G. McNickle, C.P. Garrido, B.J. Cole, B.R. Bach Jr., Articular and meniscal pathology associated with primary anterior cruciate ligament reconstruction, *J Knee Surg.* 26 (3) (2013 Jun) 185–193.
- [14] V. Jaeger, T. Zapf, J.H. Naendrup, T. Pfeiffer, A.C. Kanakamedala, A. Wafaisade, S. Shafizadeh, High non-anatomic tunnel position rates in ACL reconstruction failure using both trans-tibial and anteromedial tunnel drilling techniques, *Arch Orthop Trauma Surg.* 137 (9) (2017 Sep) 1293–1299.
- [15] P.M. Jungmann, T. Baum, M.C. Nevitt, L. Nardo, A.S. Gersing, N.E. Lane, C.E. McCulloch, E.J. Rummeny, T.M. Link, Degeneration in ACL Injured Knees with and without Reconstruction in Relation to Muscle Size and Fat Content-Data from the Osteoarthritis Initiative, *PLoS One.* 11 (12) (2016 Dec 5) e0166865.
- [16] J.C. Loh, Y. Fukuda, E. Tsuda, R.J. Steadman, F.H. Fu, S.L. Woo, Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award paper, *Arthroscopy.* 19 (3) (2003 Mar) 297–304.
- [17] B. Luc, P.A. Gribble, B.G. Pietrosimone, Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and numbers-needed-to-treat analysis, *J Athl Train.* 49 (6) (2014 Nov-Dec) 806–819.
- [18] D.E. Meuffels, M.M. Favejee, M.M. Visers, M.P. Heijboer, M. Reijman, J.A. Verhaar, Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures: a matched-pair analysis of high level athletes, *Br J Sports Med.* 43 (5) (2009) 347–351.
- [19] S. Michalitsis, M. Vlychou, K.N. Malizos, P. Thriskos, M.E. Hantes, Meniscal and articular cartilage lesions in the anterior cruciate ligament-deficient knee: correlation between time from injury and knee scores, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 23 (1) (2015 Jan) 232–239.
- [20] F.R. Noyes, S.D. Barber-Westin, Posterior cruciate ligament revision reconstruction, part 1: causes of surgical failure in 52 consecutive operations, *Am J Sports Med.* 33 (2005) 646–654.
- [21] B.E. Oiestad, L. Engebretsen, K. Storheim, M.A. Risberg, Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: a systematic review, *Am J Sports Med.* 37 (7) (2009) 1434–1443.
- [22] B. Parkinson, C. Robb, M. Thomas, P. Thompson, T. Spalding, Factors That Predict Failure in Anatomic Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, *Am J Sports Med.* 45 (7) (2017 Jun) 1529–1536.
- [23] W. Petersen, T. Zantop, Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles, *Clin Orthop Relat Res.* 454 (2007 Jan) 35–47.
- [24] W. Petersen, A.C.L. Does, reconstruction lead to degenerative joint disease or does it prevent osteoarthritis? How to read science, *Arthroscopy.* 28 (4) (2012 Apr) 448–450.
- [25] W. Petersen, P. Forkel, A. Achtnich, S. Metzloff, T. Zantop, Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament in single bundle technique, *Oper Orthop Traumatol.* 25 (2) (2013 Apr) 185–204.
- [26] S. Ralles, J. Agel, M. Obermeier, M. Tompkins, Incidence of Secondary Intra-articular Injuries With Time to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, *Am J Sports Med.* 43 (6) (2015 Jun) 1373–1379.
- [27] K.H. Ro, H.J. Kim, D.H. Lee, The transportal technique shows better clinical results than the transtibial techniques for single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2017 Nov 30), <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-017-4786-1>.
- [28] T.L. Sanders, H.M. Kremers, A.J. Bryan, K.M. Fruth, D.R. Larson, A. Pareek, B.A. Levy, M.J. Stuart, D.L. Dahm, A.J. Krych, Is Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Effective in Preventing Secondary Meniscal Tears and Osteoarthritis? *Am J Sports Med.* 44 (7) (2016 Jul) 1699–1707.
- [29] T.L. Sanders, A. Pareek, H.M. Kremers, A.J. Bryan, B.A. Levy, M.J. Stuart, D.L. Dahm, A.J. Krych, Long-term follow-up of isolated ACL tears treated without ligament reconstruction, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 25 (2) (2017 Feb) 493–500.
- [30] K. Sri-Ram, L.J. Salmon, L.A. Pinczewski, J.P. Roe, The incidence of secondary pathology after anterior cruciate ligament rupture in 5086 patients requiring ligament reconstruction, *Bone Joint J.* 95-B (1) (2013 Jan) 59–64.
- [31] M.J. Strobel, R.J. Castillo, A. Weiler, Reflex extension loss after anterior cruciate ligament reconstruction due to femoral “high noon” graft placement, *Arthroscopy.* 17 (4) (2001 Apr) 408–411.
- [32] R.N. Tandogan, O. Taser, A. Kayaalp, E. Taskiran, H. Pinar, B. Alparslan, A. Alturfan, Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: relationship with age, time from injury, and level of sport, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 12 (4) (2004 Jul) 262–270.
- [33] B.L. van Meer, D.E. Meuffels, W.A. van Eijsden, J.A. Verhaar, S.M. Bierma-

- Zeinstra, M. Reijman, Which determinants predict tibiofemoral and patellofemoral osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury? A systematic review, *Br J Sports Med.* 49 (15) (2015 Aug) 975–983.
- [34] B.L. van Meer, E.H. Oei, D.E. Meuffels, E.R. van Arkel, J.A. Verhaar, S.M. Bierma-Zeinstra, M. Reijman, Degenerative Changes in the Knee 2 Years After Anterior Cruciate Ligament Rupture and Related Risk Factors: A Prospective Observational Follow-up Study, *Am J Sports Med.* 44 (6) (2016 Jun) 1524–1533.
- [35] H.H. Won, C.B. Chang, M.S. Je, M.J. Chang, T.K. Kim, Coronal limb alignment and indications for high tibial osteotomy in patients undergoing revision ACL reconstruction, *Clin Orthop Relat Res.* 471 (2013) 3504–3511.
- [36] T. Zantop, M. Herbort, M.J. Raschke, F. H. Fu, W. Petersen, The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation, *Am J Sports Med.* 35 (2) (2007 Feb) 223–227.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. W. Petersen,
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
Martin-Luther-Krankenhaus,
Berlin-Grünwald,
Caspar-Theyß-Straße 27-31,
14 193 Berlin.
E-Mail: wolf.petersen@pgdiakonie.de

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Handlungsalgorithmus: Wiederkehr zum Sport nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Andrea Achtnich, Ralf Akoto & Wolf Petersen

Knie Journal
Organ der Deutschen Kniegesellschaft

ISSN 2662-4028
Volume 1
Number 1

Knie J. (2019) 1:66-67
DOI 10.1007/s43205-019-00011-5



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Handlungsalgorithmus

Knie J. 2019 · 1:66–67

<https://doi.org/10.1007/s43205-019-00011-5>

Online publiziert: 5. September 2019

© Springer Medizin Verlag GmbH 2019

Andrea Achtnich¹ · Ralf Akoto² · Wolf Petersen³¹ Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, München, Deutschland² Klinik für Unfall-, Hand-, und Wiederherstellungschirurgie, Asklepios Klinikum St. Georg, Hamburg, Deutschland³ Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin, Deutschland

Handlungsalgorithmus: Wiederkehr zum Sport nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Hintergrund

Bisher wird der Progress in der Rehabilitation sowie die Entscheidung, wann ein Sportler nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes wieder zum Sport zurückkehrt, allein von zeitlichen Kriterien abhängig gemacht. Ein strikt zeitbasiertes Vorgehen wird der Individualität von Patient und Verletzung jedoch nicht ausreichend gerecht. Daher sollten diese Entscheidungen vom Erreichen verschiedener Erfolgskriterien abhängig gemacht werden (kriterienbasiertes Vorgehen). Am Ende des Rehabilitationsprozesses steht ein Abschlusstest („return to competition test“, RTC). Typische Inhalte von RTC-Testbatterien sind Beweglichkeit, passive und funktionelle Stabilität, Kraft sowie die Prävalenz von Risikobewegungsmustern (z. B. funktioneller Valgus, geringe Hüftbeugung). Zur Verhinderung von Rupturen und kontralateralen Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB) sollten die Patienten mit Interventionsprogrammen zur Prävention von Knieverletzungen vertraut gemacht werden [1, 2].

Phasen- und kriterienbasierte Rehabilitation

Die Rehabilitation nach VKB-Plastik lässt sich in 5 verschiedene Phasen einteilen. Diese orientieren sich am Zustand des Kniegelenkes mit steigender Belastung und Komplexität der Übungen. Die zeitlichen Angaben zu den einzelnen Behandlungsphasen sind nur

als Richtwerte zu sehen. Der Wechsel in die nächste Behandlungsphase soll von der Erfüllung von Erfolgskriterien abhängig gemacht werden. Die sichere und schmerzfreie Durchführung der Übungen ist ein allen Phasen gemeinsames Erfolgskriterium.

Wiederkehr zum Wettkampfsport

Das Ende der Phase V ist durch die Teilnahme am uneingeschränkten Mannschaftstraining und damit auch durch die Wiederkehr zum Wettkampfsport („return to competition“, RTC) gekennzeichnet. Zu diesem Zeitpunkt ist der Umbauprozess des Transplantates jedoch noch nicht abgeschlossen [3]. Wenn Sportler trotzdem nach ca. 6 bis 10 Monaten zum Wettkampfsport zurückkehren wollen, muss das Kniegelenk neuromuskulär optimal stabilisiert sein, damit das noch vulnerable Transplantat optimal geschützt ist. Daher sollte die RTC-Entscheidung nur aufgrund funktioneller Tests zur passiven und funktionellen Stabilität, Beweglichkeit, Kraft und Beinachsensymmetrie getroffen werden [3]. Fakultative Faktoren sind Propriozeption, Agilität und psychologische Tests. Der in **Abb. 1** gezeigte Algorithmus wurde vom Komitee Ligamentverletzungen der Deutschen Kniegesellschaft entwickelt [3].

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Wolf Petersen

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
Martin Luther Krankenhaus
Caspar Theysß Straße 27–31, 14193 Berlin,
Deutschland
wolf.petersen@pgdiakonie.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Achtnich und R. Akoto geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. W. Petersen erhält Beraterhonorare der Firmen Otto Bock und Karl Storz sowie Vortragshonorare der Firmen Plasmaconcept und AAP Implantate.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Mehl J, Diermeier T, Herbst E, Imhoff AB, Stoffels T, Zantop T, Petersen W, Achtnich A (2018) Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). Arch Orthop Trauma Surg 138(1):51–61
2. Petersen W, Diermeier T, Mehl J, Stöhr A, Ellermann A, Müller P, Höher J, Herbort M, Akoto R, Zantop T, Herbst E, Jung T, Patt T, Stein T, Best R, Stoffels T, Achtnich A (2016) Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen. OUP Orthop Unfallchir Prax 10:542–550. <https://doi.org/10.3238/oup.2016.0542-0550>
3. Petersen W, Stöhr A, Ellermann A, Achtnich, Müller PE, Stoffels T, Patt T, Höher J, Herbort M, Akoto R, Jung T, Zantop C, Zantop T, Best R (2016) Wiederkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion. Empfehlungen der DKG-Expertengruppe Ligament. OUP Orthop Unfallchir Prax 5(3):5–11

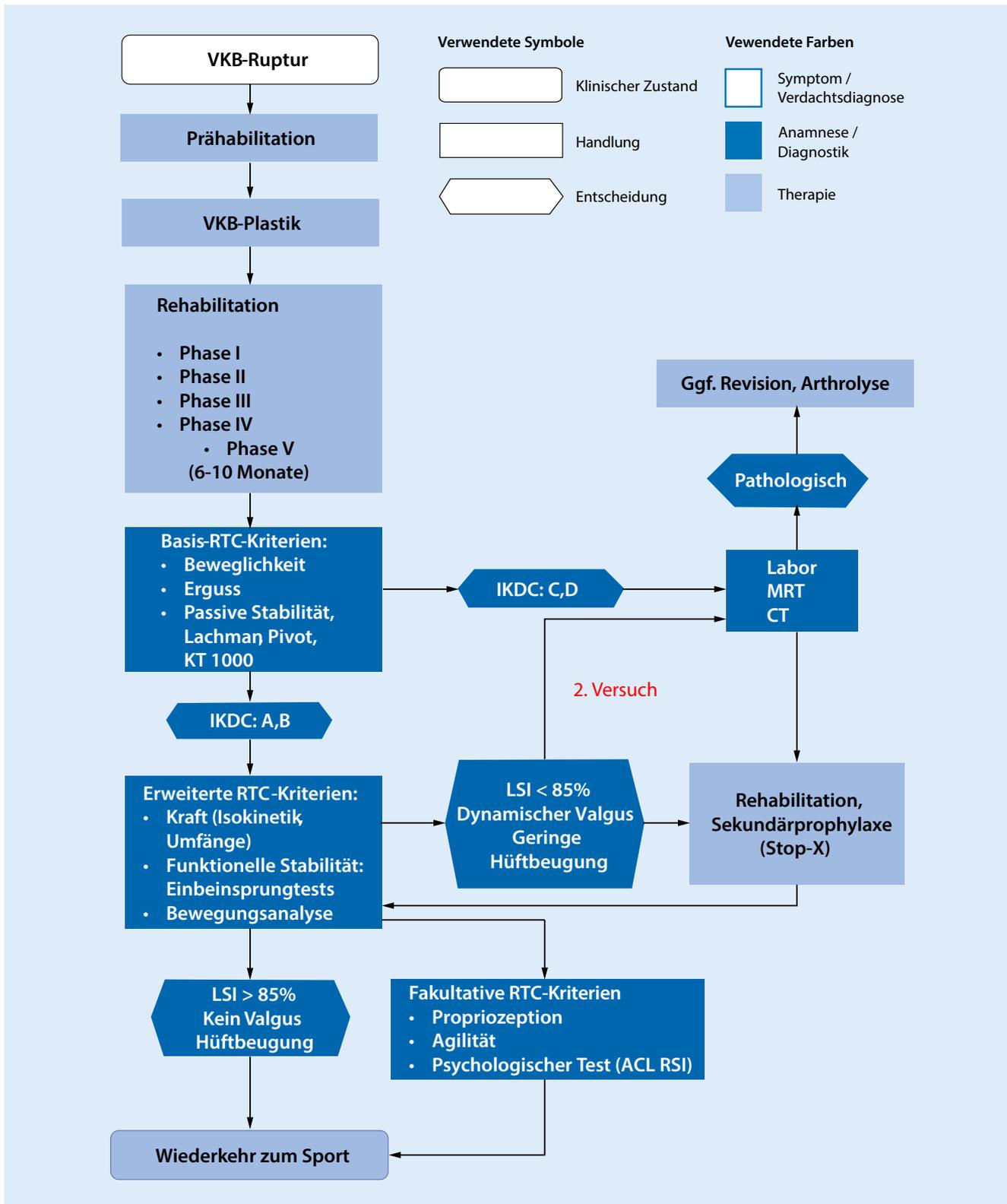


Abb. 1 ▲ Kriterienbasiertes Vorgehen bei der Wiederkehr zum Sport nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. (Aus Achnich A, Akoto R, Petersen W (2019) Handlungsempfehlung: Wiederkehr zum Sport nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Knie J. <https://doi.org/10.1007/s43205-019-00011-5>.) ACL RSI Anterior Cruciate Ligamentum Return to Sports Injury Scale, IKDC International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form, LSI Limb Symmetry Index, RTC „return to competition“, IVKB vorderes Kreuzband

1 Patientenlagerung

P. Lobenhoffer

Arthroskopische Eingriffe an der Schulter sind technisch schwierig und bedürfen einer sorgfältigen Vorbereitung. Dazu gehören v.a. die korrekte Lagerung und Abdeckung des Patienten sowie die adäquate Installation der arthroskopischen Geräte. Der Operateur trägt zusammen mit dem Anästhesisten die Verantwortung für etwaige Lagerungsschäden und sollte demzufolge die Vorbereitung selbst durchführen oder zumindest überwachen.

Generell können Schulterarthroskopien in Seitenlage und in sitzender Position des Patienten durchgeführt werden. Beide Verfahren werden heute verwendet und haben spezifische Vor- und Nachteile.

Seitenlage

Die Entwicklung der operativen Schulterarthroskopie war mit dieser Lagerungsform verbunden. Der posteriore und laterale Aspekt der Schulter ist optimal zugänglich, Traktion am Arm kann leicht installiert werden, und bei Verwendung eines Armhalters wird kein Assistent benötigt. Der Übergang zu einem offenen Eingriff ist für Pathologien im Subakromialraum leicht möglich. Nachteilig sind die begrenzte Zugänglichkeit der vorderen Schulterpartien und die Risiken von Traktionsschäden des Plexus brachialis und von Druckschäden der Hand durch den Armhalter. Die Beweglichkeit des Arms ist v.a. für Außen- und Innenrotation begrenzt. Der Übergang zu offenen Eingriffen über den vorderen (deltoideopektoralen) Zugang erfordert ein Umlagern des Patienten.

Technik der Lagerung

Der Patient wird auf einem konventionellen OP-Tisch gelagert. Die Anästhesie platziert das Beatmungsgerät **hinter den Patienten etwa auf Beckenhöhe** und leitet die Beatmungsschläuche vom Kopf entsprechend ab. Dies ermöglicht den Operateuren den Zugang zur Schulter von posterior und von anterior (von kranial her über den Kopf des Patienten), was für bestimmte Prozeduren unumgänglich ist. Eine Vakuummatratze kann die Seitenlage erleichtern, ist aber nicht zwingend erforderlich. Nach Einleitung einer Allgemeinnarkose wird der Pa-

tient auf die Seite gedreht. Das der Seite der OP abgewandte untere Bein wird in Hüfte und Knie leicht gebeugt. N. peroneus und Knöchelbereich werden mit Kissen sorgfältig abgepolstert. Die nicht zu operierende Schulter wird vorsichtig unter den Körper nach anterior gezogen, und eine weiche Rolle wird unter den Thorax gelegt, um den Plexus brachialis zu entlasten. Der untere Arm wird auf einer Armstütze mit Polsterung gelagert. Das Becken wird rechtwinklig zur Tischebene fixiert. Hierzu werden mindestens 2 Seitenstützen verwendet. Die Stützen sind auf Höhe der Symphyse bzw. des lumbosakralen Übergangs platziert. Bei Verwendung einer Vakuummatte drücken die Stützen gegen die Matte, nachdem diese entlüftet wurde. Der zu operierende Arm wird i.Allg. in einem Armhalter gelagert. Entsprechende Fixations- und Traktionsbügel bieten mehrere Hersteller an. Wichtig sind die sichere Fixation des Bügels am OP-Tisch, die sichere Fixation des Arms unter Extension und eine Kontrolle der ausgeübten Traktionskraft. Die Position des Arms sollte in der Frontal- und Sagittalebene einstellbar sein. Ein zusätzlicher 2. Extensionsmechanismus im Sinne eines Doppelzugs kann für Stabilisierungen im Glenohumeralgelenk hilfreich sein, erscheint uns aber nicht zwingend erforderlich. Für die meisten Eingriffe werden eine Abduktion der Schulter von 60° und eine Flexion von 10° gewählt. Der Zug muss die Eigenschwere des Arms ausgleichen und soll zusätzlich eine leichte Distraction des Gelenks erzeugen. Hierzu sind – je nach Körpergröße des Patienten – meist 5–7 kp (Kilopond) erforderlich. Größte Vorsicht ist allerdings bei hyperlaxen Individuen und multidirektional instabilen Patienten geboten, ggf. muss in diesen Fällen die Gewichtsbelastung deutlich reduziert werden.

Nach der Seitenlagerung des Patienten wird der Armhalter angebracht und der Arm mit der Zugvorrichtung verbunden. Hierzu wird entweder die Hand über die Finger mittels eines sog. Mädchenfängers fixiert oder der Unterarm über Schaumstoffkissen und eine elastische Wicklung angeschlossen. Wir haben mit der ersten Lösung gute Erfahrungen gemacht. Das Zuggewicht wird eingehängt und die Stellung der Schulter überprüft. Ggf. können jetzt Position und Belastung modifiziert werden. Meist wird nun der OP-Tisch 10–20° nach posterior gekippt. Dadurch stellt sich die glenoidale Gelenkfläche horizontal ein, was die Orientierung beim operativen Eingriff erleichtert (s. Abb. 1.1–1.4).



Abb. 1.1: Die Seitenlagerung des Patienten sollte so erfolgen, dass ein unbehinderter Zugang zum anterioren und posterioren Aspekt der Schulter möglich ist. Hierzu müssen die Anästhesiegeräte vom Kopf nach distal verschoben werden.



Abb. 1.2: Der unten liegende gesunde Arm muss sorgfältig abgepolstert werden. Die Schulter wird vorsichtig unter den Körper gezogen, und ein Polster wird unter den Thorax platziert.

Abdeckung

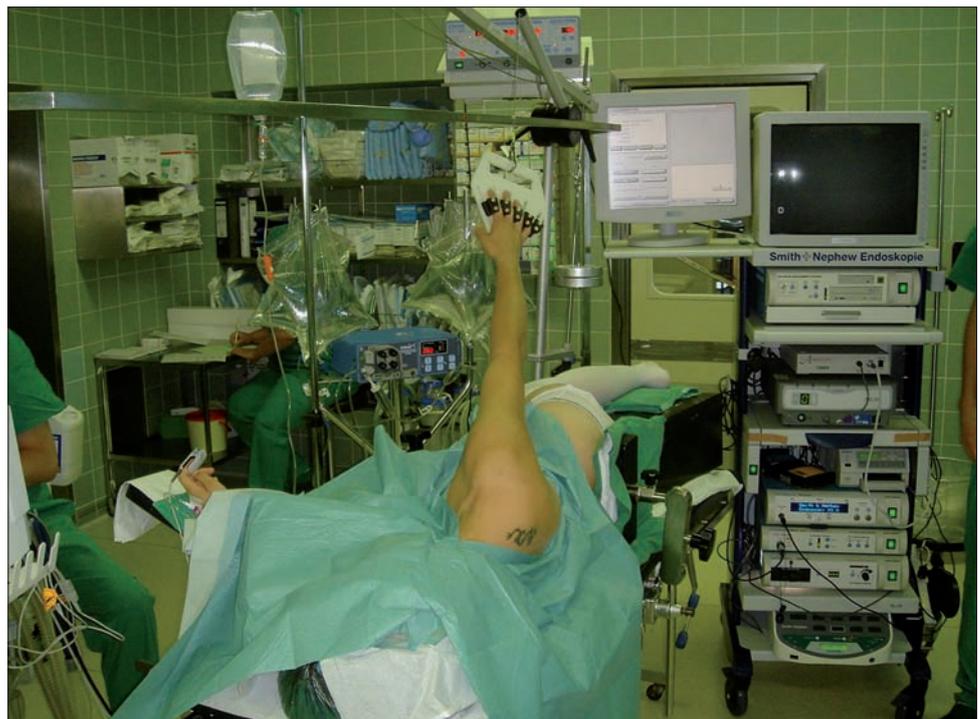
Der Schulterbereich wird mit Klebetüchern wasserdicht abgeklebt. Die Hautdesinfektion umfasst die Schulter und den Arm bis zur Fixation des Armhalters. Die Abdeckung erfolgt am besten mit U-Tüchern mit Kleberand, wobei zunächst 1 Tuch von distal her unter den Arm geführt wird. Es wird posterior und anterior nach kranial geführt und fixiert. Von kranial wird nun ein 2. U-Tuch vor und hinter den Arm nach distal geführt. Der Armhalter und seine Fixation werden mit Klebetüchern oder

einer OP-Folie umschließend abgedeckt, sodass der Arm steril manipuliert werden kann. Sollte es während der OP erforderlich werden, kann der Arm bewegt werden, indem der Springer das Extensionsgewicht abhängt und damit dem Operateur den Arm freigibt. Das Zugeil erlaubt einen relativ großen Bewegungsumfang. Ggf. kann anschließend die Extension erneut eingehängt werden. Zur Anästhesie hin wird ein großes Horizontaltuch geklebt. Mehrere Firmen bieten heute komplette Abdecksets für die Schulterarthroskopie und insbesondere Tücher mit einem integrierten Flüssigkeitsauffang-

Abb. 1.3: Die Fixation des Arms am Extensionsbügel kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Wir verwenden diese Platte mit sog. Mädchenfängern, die mittels OP-Folie steril abgedeckt werden kann.



Abb. 1.4: Für die meisten Eingriffe werden eine Abduktion von 60° und eine Flexion von 10° eingestellt. Das Extensionsgewicht beträgt i.Allg. 5–7 kg, je nach Größe und Gewicht des Patienten. Das spezielle Abdecktuch hat einen Beutel, um Spülflüssigkeit aufzufangen.



beutel an, die aufgrund des Flüssigkeitsaustritts sehr empfehlenswert sind.

Arthroskopiegeräte

Die Arthroskopie-Einheit mit dem Monitor kann sowohl am Kopfende als auch am Fußende platziert werden. In jedem Fall sollte der Monitor möglichst weit auf der Gegenseite zur Anästhesie hin stehen, da dies der Blickrichtung des Operateurs am besten entspricht. Für

alle Schulterstabilisierungen und Rekonstruktionen von Rotatorenmanschetten (RM) positionieren wir den Monitor fußwärts auf der Gegenseite. Für reine arthroskopische subakromiale Dekompressionen kann der Monitor auch zur Kopfseite gestellt werden, da hauptsächlich nach kranial hin gearbeitet wird. Die Kabel und Schläuche werden parallel zum Körper des Patienten vor bzw. hinter dem Arm entlanggeführt. Wir stellen am Fußende einen sterilen Tisch über den Patienten, worauf wir die Schläuche und Kabel gegen das Abrutschen sichern und häufig verwendete Instrumente platzieren (Faden-



Abb. 1.5: Die Abdeckung erlaubt 2 Operateuren Zugang zur Schulter. Der Monitor steht am Fußende. Über die Beine des Patienten wird ein steriler Tisch geschoben, über den die Schläuche und Leitungen geführt werden.

holer), die sich der Operateur hier selbst nehmen kann (s. Abb. 1.5).

Sitzende Position

Wir bevorzugen für operative Schulterarthroskopien eine sitzende Lagerung des Patienten. Die häufig verwendete Bezeichnung *beach-chair* ist nicht korrekt, da diese halbsitzende Position für Schulterarthroskopien vollständig ungeeignet ist. Die Arbeitsrichtung wäre hier von posterior **bergauf** mit den Nachteilen der eingeschränkten Zugänglichkeit der posterioren Schulter und des Flüssigkeitsrückstroms in das Arthroskop. Die korrekte sitzende Position des Patienten erfordert eine Angulation des Oberkörpers gegen die Horizontale von mindestens 80°. Dies stellt das Akromion parallel zum Boden ein und ermöglicht einen optimalen Zugang zum **posterioren** und **anterioren** Aspekt der Schulter. Vorteile dieser Lagerung sind die einfache anatomische Orientierung (entspricht dem offenen Operieren), die ideale Zugänglichkeit der gesamten Schulter sowie die Möglichkeit des Wechsels auf jeden offenen Zugang. Nachteilig sind die fehlende Distraction des Arms und die Notwendigkeit spezieller Fixationsmittel für Körper und Kopf des Patienten. Wir verwenden daher für diese Lagerung einen speziellen Aufsatz für den OP-Tisch, der eine sichere Fixation des Körpers und des Kopfs ermöglicht (TENET, Smith & Nephew). Wir kombinieren diese Halterung mit einem pneumatischen Armhalter, der beliebige Armpositionen fixiert und auch kontinuierlichen Zug am Arm ermöglicht (SPIDER, Smith & Ne-

phew). Sofern komplexe rekonstruktive Prozeduren in nennenswertem Umfang geplant sind, empfiehlt sich die Beschaffung eines derartigen professionellen Lagerungssystems, da v.a. bei anspruchsvollen längeren Eingriffen ansonsten das Risiko von Lagerungsschäden nicht zu vernachlässigen ist. Nachfolgend wird die Lagerung sowohl auf einem konventionellen OP-Tisch als auch auf dem speziellen TENET beschrieben.

Lagerung

Konventioneller OP-Tisch

Ein Kopfhalter wird montiert, und der Kopf des Patienten wird nach Einleitung einer Allgemeinanästhesie korrekt positioniert. Der Körper sollte möglichst weit in Richtung der zu operierenden Schulter auf der Seite des Tisches gelagert werden. Der Tisch wird nun geknickt, sodass im Beckenbereich ein Winkel der Tischplatten von mindestens 100° entsteht. Der Oberkörper wird aufgesetzt, bis das Akromion horizontal ausgerichtet ist. Die Fußenden können nun ca. 30° geknickt werden, und die Hacken werden unterpolstert. Der Kopf wird sicher in der Kopfschale fixiert. Hierzu können Klebestreifen oder OP-Folien verwendet werden. Es hat sich bewährt, zusätzlich das Kinn mit einer elastischen Binde an der Kopfschale zu fixieren, damit es nicht zu einer Hyperextension der Halswirbelsäule kommt. Die Augen sollten sorgfältig verklebt werden, um eine Konjunktivitis zu vermeiden. Der Oberkörper wird mit einem breiten Gurt am OP-Tisch fixiert, damit kein Verkippen auftritt. Der Arm liegt auf einer seitlichen Armstütze (s. Abb. 1.6 und 1.7).



Abb. 1.6: Sitzende Lagerung auf dem konventionellen Tisch. Der Patient wird mindestens 80° aufgesetzt. Der Kopf wird mit OP-Folie an der Kopfstütze befestigt. Mit einer elastischen Binde um das Kinn wird eine Hyperextension der Halswirbelsäule vermieden.



Abb. 1.7: Der Patient muss bei dieser Lagerung ausreichend weit auf die Seite der OP platziert werden, um dem Operateur einen freien Zugang zur Schulter zu ermöglichen.

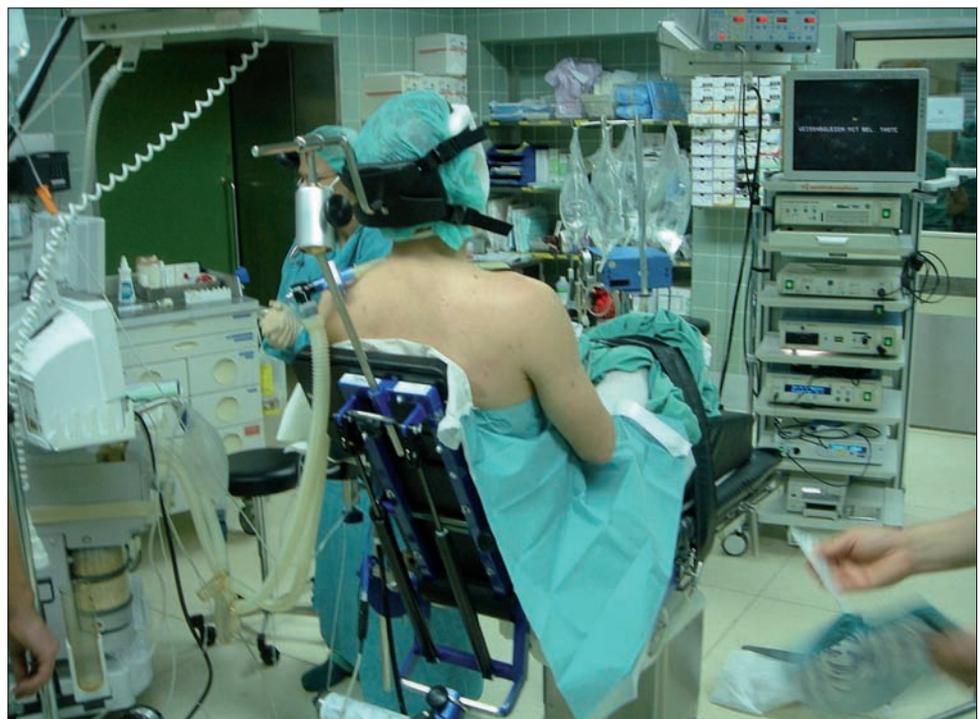
TENET

Dieser Positionierungsaufsatz wird stabil am OP-Tisch fixiert. Ein Kissen wird unter die Beine des Patienten geschoben. Der Patient wird aufgesetzt, und der Oberkörper wird mit Seitenstützen gesichert. Die Kopfschale wird eingestellt, und der Kopf wird mit dem Schaumstoffrahmen stabil gegen die Kopfschale fixiert.

SPIDER-Armhalter

Der Armhalter wird am OP-Tisch fixiert, der Ansatz weist dabei zum Unterarm des Patienten. Schulter und Arm werden abgewaschen, der Unterarm wird steril gehalten und die Hand wird abgewaschen. Nach Abdecken des Patienten (s.u.) werden Unterarm und Hand in

Abb. 1.8: Lagerungsgerät TENET für die sitzende Position. Der TENET wird am Standard-OP-Tisch angeschraubt. Der Patient wird mit Seitenstützen stabilisiert, die Kopfstütze ist frei verstellbar.



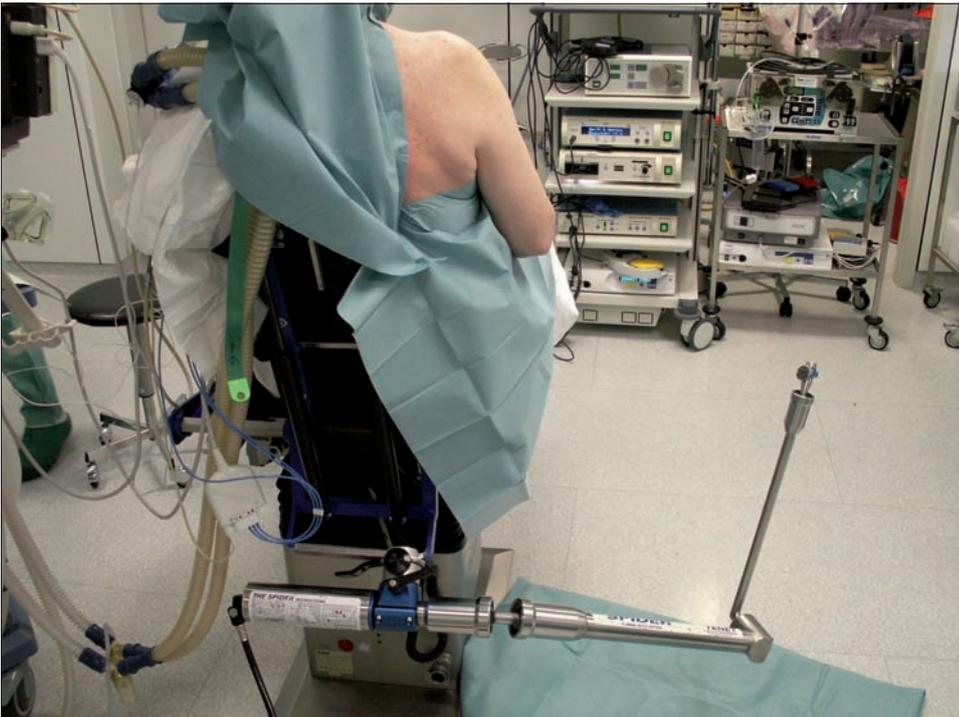


Abb. 1.9: SPIDER. Der hydraulische Armhalter wird am OP-Tisch fixiert und steril abgedeckt. Durch die Kardangelenke erlaubt der SPIDER eine freie dreidimensionale Einstellung des Arms, es kann auch Distraction ausgeübt werden.



Abb. 1.10: Der Kopf des Patienten wird durch die Schaumstoffmaske sicher im Kopfhalter fixiert.

den sterilen Anteil des Armhalters eingebracht. Die Schaumstoffbandage wird geschlossen und mit einer sterilen elastischen Binde gesichert. Der Unterarm wird nun mit dem Armhalter verbunden. Durch Auslösen des Fußpedals kann der Operateur den Arm nun in jede gewünschte Position bringen und ggf. auch Zug induzieren, der durch die Hydraulik gehalten wird. Wird eine Bewegungsprüfung gewünscht, kann der Unterarm unter Wahrung der Sterilität aus der Halterung gelöst und ggf. erneut fixiert werden.

In unseren Händen hat sich dieses System (TENET und SPIDER) nicht nur für die operative Schulterarthroskopie hervorragend bewährt. Auch bei der Endoprothetik gewährleistet es eine hohe Patientensicherheit und gleich bleibend gute Arbeitsbedingungen für den Operateur (s. Abb. 1.8–1.12).

Abb. 1.11 und 1.12: Fertig abgedeckter Patient. Die Schulter ist von anterior und posterior gleich gut zugänglich, der Arm ist mittels SPIDER fixiert. Der Operateur kann die Armstellung mittels eines Fußpedals ändern. Ggf. kann der Arm aus der Halterung genommen werden, wenn ein besonders großer Bewegungsumfang geprüft werden soll. Eine erneute Fixierung an den SPIDER ist möglich.



11



12

Abdeckung

Nach der Positionierung des Patienten wird zunächst der Schulterbereich mit Klebetüchern wasserdicht abgeklebt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass nach medial ausreichend Freiraum für die Abdeckung verbleibt. Die Klebetücher benötigen zusätzliche 5 cm Klebefläche auf der Haut! Die Hautdesinfektion erfolgt entweder bis zur Hand, wenn kein Armhalter verwendet wird, oder schließt die Hand mit ein, wenn der SPIDER oder ein ähnlicher Armhalter angebracht werden soll.

Ggf. wird die Hand in einem Handsack eingepackt. Ein großes Spezialtuch wird nun über den Patienten platziert, nachdem der Arm durch das Armloch geführt wurde. Das Tuch hat Kleberänder für den Schulterbereich und wird insbesondere in der Axilla zusätzlich mit sterilen Klebestreifen gesichert. Das Tuch beinhaltet bereits den Auffangsack für die Spülflüssigkeit. Wir platzieren in diesen Sack einen Absaugschlauch, um Flüssigkeitsansammlungen zu vermeiden. Der Arm wird nun mit dem Armhalter verbunden bzw. auf der Armschiene abgelegt.

Arthroskopiegeräte

Der Monitor wird fußwärts und auf die Gegenseite platziert. Über die Beine des Patienten wird ein steriler Instrumententisch geschoben. Auf diesem werden die Schläuche und Kabel entlanggeführt und gegen ein Abrutschen gesichert. Shaver und Elektrosonde werden hier abgelegt, ebenso häufig verwendete Instrumente, wie Fadenholer und Abschneider. Ein weiterer Instrumententisch wird hinter den Operateur platziert, hier werden die übrigen benötigten Instrumente (Anker, Bohrer etc.) aufgelegt. Im rückwärtigen Abschnitt des OP-Saals werden auf einem weiteren sterilen Tisch Kittel, Handschuhe und Verbandsmaterial gelagert.

Lichtkabel, Kamerakabel und Zulauf der Pumpe werden vom Arthroskopieturm unter dem Arm des Patienten nach kranial geführt und mit dem Arthroskop ver-

bunden. Eine Absaugeinheit befindet sich am Kopfende und wird mit dem Absaug Schlauch im Beutel verbunden. Eine 2. Absaugeinheit befindet sich am Fußende und transportiert Flüssigkeit aus dem Shaver und der bipolaren Elektrosonde ab.

Literatur zur Vertiefung

1. Klein AH et al., Measurement of brachial plexus strain in arthroscopy of the shoulder. *Arthroscopy* (1987), 3, 45–52
2. Park TS, Kim YS, Neuropraxia of the cutaneous nerve of the cervical plexus after shoulder arthroscopy. *Arthroscopy* (2005), 21, 631
3. Skyhar MJ et al., Shoulder arthroscopy with the patient in the beach-chair position. *Arthroscopy* (1988), 4, 256–259

2 Arthroskopische Schulterdiagnostik – Checklisten Schulterarthroskopie

L. Lafosse, T. van Isacker, M. Haag

Grundlagen

Einleitung

Grundsätzlich gilt es für den Arthroskopeur, eine gründliche Begutachtung aller wichtigen Strukturen in der und um die Schulter durchzuführen, um zusätzlich zur präoperativen klinischen Evaluation und Bildgebung intraoperativ alle relevanten Strukturen zu beurteilen und zu überprüfen. Dieses Kapitel soll einen standardisierten und systematischen Überblick über die arthroskopische Anatomie und die arthroskopisch sichtbaren Pathologien an der Schulter geben.

Grundsätze zur Lagerung

Siehe Abbildung 2.1

Die Grundzüge der Lagerungstechniken sind in Kapitel 1 beschrieben. Sowohl Seitenlage als auch *beach-chair*-Position haben jeweils Vor- und Nachteile. Ein detaillierter Vergleich beider Lagerungen würde den Umfang dieses Kapitels überschreiten, grundsätzlich gelten aber für beide Techniken ähnliche Grundsätze, die zu

beachten sind: Es gilt zum einen, eine stabile Lagerung des Arms mit gleichzeitig ausreichendem Bewegungsumfang für Arthroskop und Instrumente zu gewährleisten, zum anderen ausreichend Flexibilität, d.h. Bewegungsfreiheit zu haben, um durch glenohumerale Positionsänderungen bestimmte Areale dynamisch beurteilen zu können.

Bevor der eigentliche Eingriff beginnt und der Arm lagerungstechnisch fixiert wird, ist obligat eine Narkoseuntersuchung der betroffenen Schulter, ggf. auch der Gegenseite, durchzuführen.

Checkliste: Lagerung

- Stabile Lagerung des Patienten in Neutralposition der Schulter
- Jederzeit gute Erreichbarkeit der Atemwege für die Anästhesie
- EKG-Elektroden auf kontralateralem Thorax, i.v. Zugänge am gegenseitigen Arm
- Unterpolsterung von Druckpunkten und gefährdeten Nerven
- Der Zugang zur Schulter muss von posterior, lateral und anterior möglichst frei sein und während des gesamten Eingriffs freigehalten werden.

Abb. 2.1: Die Lagerung in *beach-chair*-Position erlaubt den Zugang zur Schulter von posterior, lateral und anterior.



Checkliste: Narkoseuntersuchung

- Bewegungsumfang
- Stabilität
- Weiteres

Anlage der Zugänge

Siehe Abbildung 2.2

Das Einzeichnen der knöchernen Landmarken auf der Haut ist für den Operateur hilfreich, um sich die anatomischen Strukturen vorstellen zu können, und erleichtert dabei die Platzierung der Portale. Mit zunehmender Schwellung der Weichteile werden die eingezeichneten Landmarken allerdings z.T. recht unpräzise und unzuverlässig, sodass die korrekte Lokalisation der Zugänge immer unter Berücksichtigung ihres Zwecks unter arthroskopischer Sicht mit einer Kanüle sondiert werden muss.

Der Eingriff beginnt i.d.R. mit einem Zugang nach glenohumeral durch das posteriore Portal (A-Portal). Es gilt, den *soft spot* durch Palpation festzustellen, wobei die Gelenkebene, in deren posteriorer Verlängerung das A-Portal liegen soll, durch Verschieben des Humeruskopfs von anterior nach posterior auf dem Glenoid er-

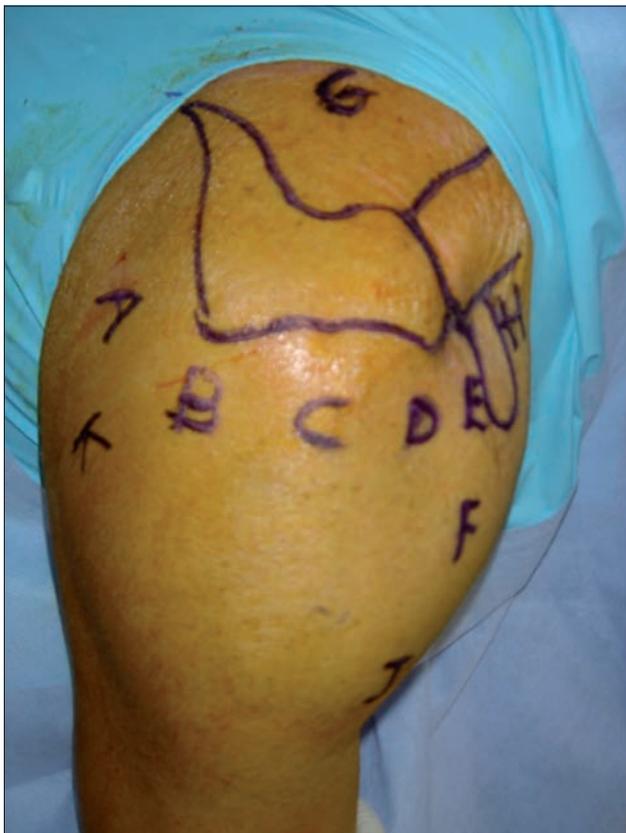


Abb. 2.2: Portale für die Arthroskopie der Schulter. A: posterior, B: posterolateral, C: lateral, D: anterolateral, E: anterior, F: tief anterior, G: spezielles SSN-Portal, H: spezielles Korakoidportal, I: tief anteromedial, J: tief anterolateral, K: tief posterolateral

fühlt werden kann. Wir führen eine Nadel durch den *soft spot* in das Gelenk ein, wobei die Nadel parallel zum Glenoid in Richtung Korakoidspitze vorgeschoben wird (s. Abb. 2.3a). Das Passieren der Kapsel erzeugt gelegentlich ein leises Pfeifen, wenn Luft in die Schulter eindringt, in der ein leichter Unterdruck herrscht. Die Nadel wird dann nach Hautinzision zur Einführung des stumpfen Trokars für die Optik in Position gehalten, um die genaue Richtung anzuzeigen.

In einigen Fällen macht auch eine direkte Visualisierung von lateral durch das C-Portal Sinn, und zwar dann, wenn z.B. eine retrahierte Ruptur der Rotatorenmanschette vorliegt, über die man sofort von lateral eine gute Übersicht über die gesamte Schulter und das Ausmaß der Ruptur erlangt. Das Einbringen des Arthroskops wird hierbei in derselben Technik durchgeführt.

Alle weiteren Portale werden später in *outside-in*-Technik nach Bedarf platziert (s. Abb. 2.3b) – entsprechend der vorliegenden Pathologie (s. einzelne Kapitel), wobei zu beachten ist, dass das Portal einen direkten Zugang zu der betreffenden Region gewähren sollte.

Grundsätzliche Prinzipien in der Arthroskopie

Die Bewegungen eines Arthroskops in einem Portal sind mit einer Sanduhr vergleichbar, wobei ein Teil der Sanduhr innerhalb und der andere Teil außerhalb des Gelenks liegt, der Hals der Uhr stellt dabei das Portal dar. Die Bewegungsfreiheit des Arthroskops wird einerseits durch die intraartikulären Platzverhältnisse, andererseits durch die Lage des Portals in Relation zu den intraartikulären Strukturen festgelegt (s. Abb. 2.4).

Das Arthroskop dient gewissermaßen als Auge des Operateurs. Ein Rotieren, Schwenken und unterschiedliche Abstände des Arthroskops zur entsprechenden Struktur ermöglichen es, die anatomischen Verhältnisse aus verschiedenen Blickwinkeln zu visualisieren.

Die meisten Arthroskope arbeiten heute dabei mit **Weitwinkeloptiken**, die an ihrem Ende (meist um 30°) abgewinkelt sind, d.h., der Operateur schaut nicht in Richtung Arthroskopschaft, sondern je nach Rotation des Arthroskops um 30° abgewinkelt in eine bestimmte Richtung. Der Sinn dabei ist, durch das Rotieren des Arthroskops mit dem zuführenden Lichtkabel in verschiedene Richtungen schauen zu können und den einsehbaren Bereich so zu vergrößern.

In der modernen Arthroskopie und gerade in der Schulter, wo komplexe Pathologien aus verschiedenen Blickwinkeln dreidimensional beurteilt werden müssen, setzt es sich zudem immer mehr durch, durch häufige Wechsel des Arthroskops in verschiedene Portale noch mehr Informationen zu erlangen und die Strukturen ausreichend klar im Überblick zu visualisieren.

Abb. 2.3a, b: Der Zugang von posterior ins Gelenk zielt vom *soft spot* in Richtung Korakoid (a). Die Anlage von Arbeitszügen sollte immer in *outside-in*-Technik durch Sondierung mit einer Metallkanüle unter arthroskopischer Sicht erfolgen, hier am Beispiel eines anterioren (E) Portals (b).



Anatomie: Schulter als Haus

Siehe Abbildung 2.5

Zur Veranschaulichung der räumlichen Verhältnisse ist es hilfreich, sich die Schulter als zweistöckiges Haus mit Unterkellerung vorzustellen. Die verschiedenen Stockwerke entsprechen dabei den unterschiedlichen Kompartimenten, in die wir mit dem Arthroskop eintreten können und die (ggf. auch pathologisch) miteinander teilweise kommunizieren.

- Das glenohumerale Gelenk stellt dabei das **Erdgeschoss** dar. Der Supraspinatus (SSP), die anteriore Wand des Subscapularis (SSC) und die posteriore Wand des Infraspinatus (ISP) und des Teres minor bilden die Decke. Die Verbindung zwischen Supraspinatus und Subscapularis wird durch das Rotatorenintervall (RI) mit dem superioren glenohumeralen Band (SGHL, *superior glenohumeral ligament*) und dem korakohumeralen Band (CHL, *coracohumeral ligament*) gebildet. Die innerhalb dieses Raums verlau-

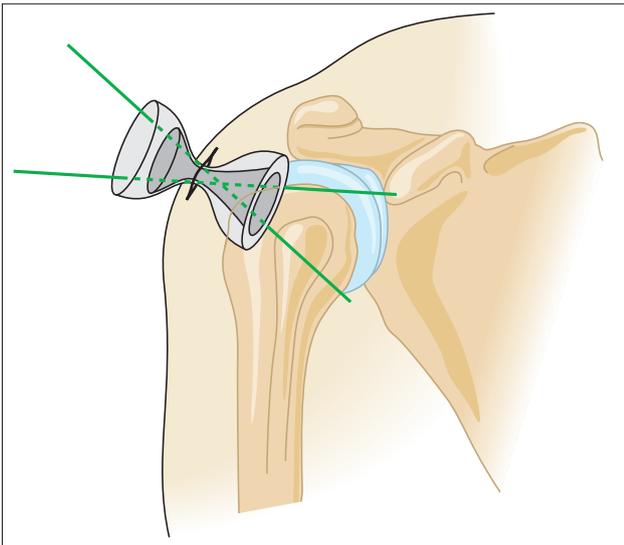


Abb. 2.4: Die Bewegungen eines Arthroskops sind mit einer Sanduhr vergleichbar, wobei der Hals der Sanduhr das Portal darstellt, die beiden Kolben werden durch die Bewegungsauslässe des Arthroskops innerhalb und außerhalb des Portals begrenzt.

fende Bizepssehne ist mit einem Schornstein vergleichbar, der vom Glenoid aus über den *biceps pulley* durch die sog. Decke den Raum verlässt.

- ▲ Der **erste Stock** des Hauses ist der Subakromialraum, wobei Supraspinatus und CHL den Fußboden bilden. Das Dach des Hauses wird von Akromion, Klavikula und Deltamuskel gebildet. Die Bursa liegt innerhalb dieses Raums. Der Processus coracoideus stellt eine Schlüsselstruktur dar, an der einige muskulotendinöse Einheiten ansetzen: M. pectoralis minor und die *conjoint tendons* (gemeinsame Sehnenstruktur des M. coracobrachialis und des kurzen Bizepskopfs). Vom Korakoid ausgehend können 2 weitere Bereiche definiert werden: der supra- und der infra-(sub-)korakoidale Bereich. Der suprakorakoidale Bereich, der zwischen Korakoidoberseite und Klavikula liegt, beinhaltet die korakoklavikulären (CC-)Ligamente und den N. suprascapularis. Das Lig. coracoacromiale (CAL) bildet die Trennlinie zwischen dem suprakorakoidalen Bereich und dem Subakromialraum. Der suprakorakoidale Bereich befindet sich dabei auf der Ebene des 1. Stocks anteromedial zur Bursa des Subakromialraums. Infrakorakoidale befindet sich im lateralen Bereich vor dem M. subscapularis eine Bursa, medial beinhaltet dieser Raum die Nervenäste für die Innervation des M. subscapularis sowie den Plexus brachialis. Die superiore Begrenzung des infrakorakoidalen Bereichs sind das Korakoid selbst und der M. pectoralis minor. Die *conjoint tendons* sind die Begrenzung nach anterior, der Subscapularis grenzt den Bereich nach posterior ab. Dieser Bereich liegt anterior des glenohumeralen Gelenks auf Höhe des Erdgeschosses. Posterior des Infraspinatus und des Teres minor gibt es einen 3. Raum auf Höhe des Erd-

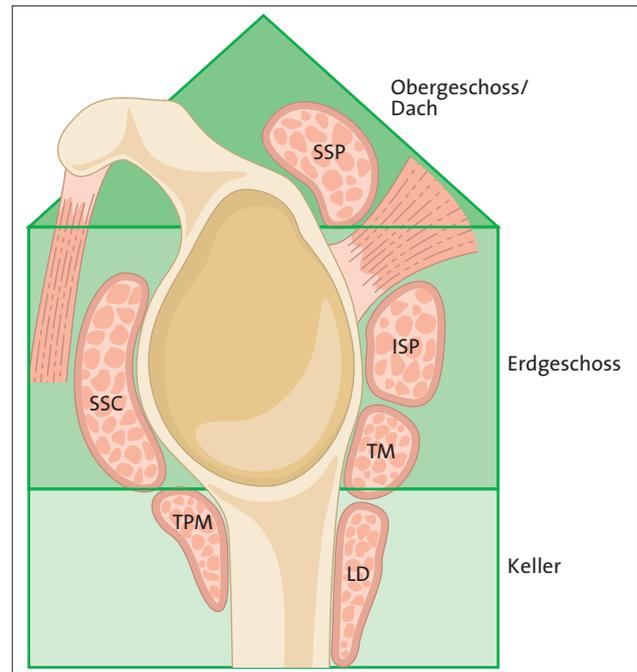


Abb. 2.5: Die Schulter als Haus. Das Obergeschoss ist der Subakromialraum, glenohumeral und der anteriore extraartikuläre Raum vor dem Subscapularis sind das Erdgeschoss, der Keller ist der quadrilaterale Raum unterhalb der Gelenkkapsel mit dem N. axillaris und den Mm. latissimus dorsi und pectoralis major.

geschosses, der zwischen Manschette und Deltamuskel liegt. Dieser posteriore Raum beinhaltet die Endäste des N. axillaris. Sein **unterer Teil** kommuniziert sowohl anterior als auch posterior mit dem

- ▲ **Keller des Hauses**, der unterhalb des Glenohumeralgelenks liegt und auch als quadrilateraler Raum bezeichnet wird. Er beinhaltet den N. axillaris, der vom Plexus kommend den anteroinferioren Subscapularis entlangläuft und dann posterior unterhalb des Subscapularis auf Höhe des Kellers nach dorsal zieht. Dorsal endet er im Deltamuskel und im Teres major, der zusammen mit dem Latissimus dorsi die inferiore Begrenzung des quadrilateralen Raums bildet.

Glenohumerale Arthroskopie

Grundlagen

Das allgemeine Erscheinungsbild des Gelenkraums beim Einbringen des Arthroskops kann bereits bestimmte Zeichen des Vorliegens intraartikulärer Pathologien zeigen, wie z.B. rötliche Schleimhautwucherungen (Synovialitis) auf der Kapsel, den Bändern oder der Rotatorenmanschette, trübe oder blutige Synovialflüssigkeit oder gar Ergussbildung. Ein völlig reizloses Gelenk ohne oder mit nur geringer Synovialitis ist ein Zeichen dafür, dass zumindest intraartikulär kaum eine relevante strukturelle Läsion vorliegt. Liegt ein Gelenkerguss vor, der die Übersicht einschränkt, muss das Gelenk zunächst solange ge-

spült werden, bis eine klare Sicht in alle Abschnitte möglich ist, was über Anlage eines Arbeitsportals, über das der Erguss ausgespült wird, am besten gelingt. Wenn eine Biopsie indiziert ist, sollte sie so schnell wie möglich zu Beginn des Eingriffs durchgeführt werden.

Checkliste: Glenohumeralraum

- Normal
- Entzündet
- Sonstiges
- Geplante Biopsie

Knochen

Humeruskopf

Die knorpelige Fläche des Humeruskopfs wird durch das A-Portal in allen Quadranten von anterior nach posterior und anschließend von superior nach inferior untersucht, ein Halten bzw. Drehen des Arms in Innen- und Außenrotation sowie Ab- und Adduktion ist hierbei hilfreich. Begleitende anteriore und posteriore Translation verbessern zusätzlich die Visualisierung. Diese dynamische Arthroskopie ist auch wichtig, um die Gelenkstabilität zu beurteilen. Wichtig zu wissen ist, dass posteroinferior der Oberarmkopf (OA-Kopf) in Nachbarschaft zur Infraspinatusinsertion physiologischerweise keinen Knorpelüberzug aufweist (*bare area*, s. Abb. 2.6).

Pathologisch können sich am OA-Kopf Schädigungen des Knorpels in unterschiedlicher Lokalisierung finden: Am häufigsten sind die Hill-Sachs-Läsion (posterosuperior, bei anteriorer Instabilität), die *reversed*-Hill-Sachs-Läsion (anterosuperior, bei posteriorer Instabilität) und superior unter dem Bizeps (bei Bizepssehneninstabilität).

Checkliste: Humeruskopf

- Normal
- Knorpelschaden vorhanden
 - Beschreibung:
 - Lokalisation:

Glenoid

Ein normales Glenoid ist oval bzw. birnenförmig. In 45% der Fälle weist es am anterioren Rand eine kleine Vertiefung auf [10], die nicht als Fraktur fehlinterpretiert werden darf. Durch das posteriore A- und anterolaterale D-Portal wird das gesamte Glenoid im Hinblick auf Größe, Form, etwaige Frakturen, knöcherne Bankart-Läsionen oder Glenoiderosionen untersucht. Bei chronischer Instabilität gilt es herauszufinden, ob ein relevanter Knochenverlust anteroinferior am Glenoid vorhanden ist. Gelegentlich können knöcherne Läsionen unter Weichteilen (z.B. Labrum) verborgen sein

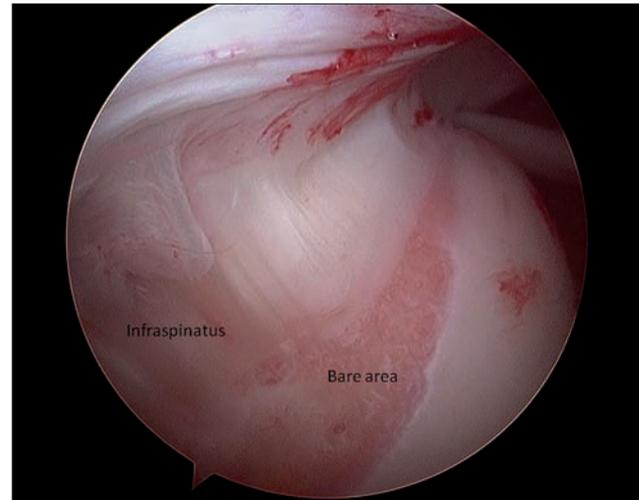


Abb. 2.6: Die *bare area* entspricht einem physiologischen knorpelfreien Areal im posterosuperioren Bereich des OA-Kopfs, direkt benachbart liegt die Insertion der Infraspinatussehne.

(bspw. mediale knöcherne Bankart-Fraktur), und eine partielle Ablösung dieser Weichteile kann dann zur Diagnose und Darstellung notwendig werden.

Checkliste: Glenoid

- Normal
- Knöcherne Glenoiderosion
 - Beschreibung:
 - Lokalisation:
 - Quantifizierung des Knochenverlusts:

Knorpel

Humeruskopf: Gelenkfläche

Siehe Abbildung 2.7

Der Knorpel des OA-Kopfs wird zusätzlich bei Bedarf neben der Visualisierung in allen Quadranten mit einem Tasthaken untersucht, der von anterior eingebracht wird. Sofern vorhanden, werden auch an der Schulter die Knorpelläsionen nach der Outerbridge-Klassifikation eingeteilt [8]:

- ▲ Grad 0: normal
- ▲ Grad I: Erweichung und Schwellung des Knorpels
- ▲ Grad II: nicht vollschichtiger Defekt mit Fissuren auf der Oberfläche, die nicht den subchondralen Knochen erreichen, 1,5 cm im Durchmesser nicht übersteigend
- ▲ Grad III: Fissuren bis zur Ebene des subchondralen Knochens in einem Bereich mit einem Durchmesser > 1,5 cm
- ▲ Grad IV: frei liegender subchondraler Knochen

Zur Beschreibung der Lokalisation von Knorpelschäden schlagen wir folgende Klassifizierung vor: Die Gelenkfläche des Humeruskopfs wird in 6 Abschnitte eingeteilt,

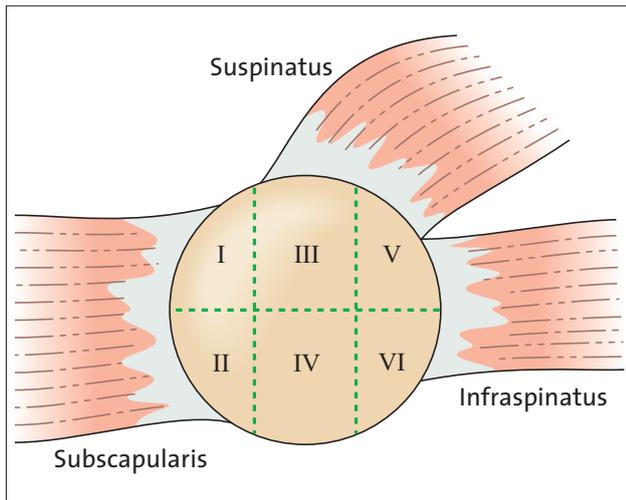


Abb. 2.7: Zur Standardisierung der Beschreibung von Läsionen am OA-Kopf erfolgt eine Aufteilung der überknorpelten OA-Kopffläche in 6 Quadranten I–VI (Details s. Text).

die mit römischen Ziffern (I–VI) benannt werden (s. Abb. 2.7).

Die 3 Trennlinien dieser Abschnitte sind der Äquator des Humeruskopfs und 2 vertikale Linien, die den Kopf in 3 gleiche Zonen aufteilen, eine anteriore, eine zentrale und eine posteriore Zone. Die ungeraden Abschnitte (I, III und V) liegen dabei kranial des Äquators, die geraden Abschnitte (II, IV und VI) unterhalb des Äquators im inferioren Bereich des OA-Kopfs.

Daraus resultieren folgende Abschnitte:

- ▲ I: anterosuperior
- ▲ II: anteroinferior

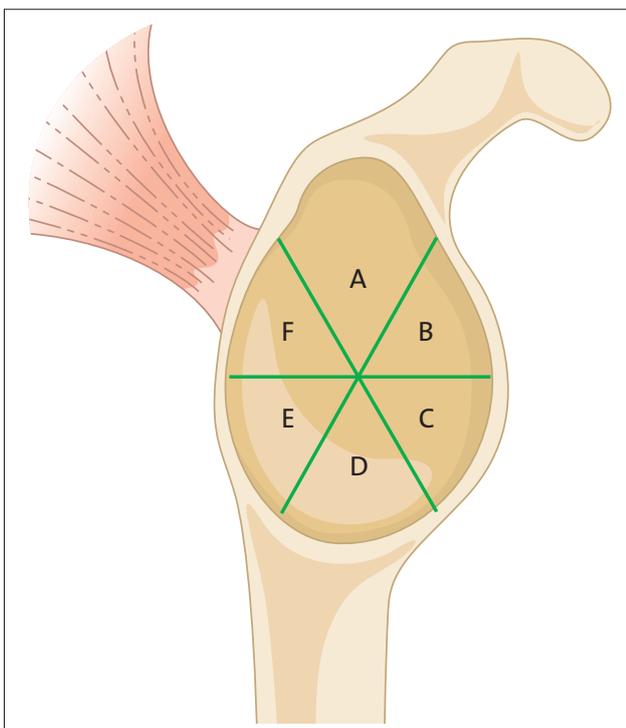


Abb. 2.9: Zur Standardisierung der Beschreibung von Läsionen am Glenoid erfolgt eine Aufteilung der überknorpelten Glenoidfläche in 6 Quadranten A–F (Details s. Text).

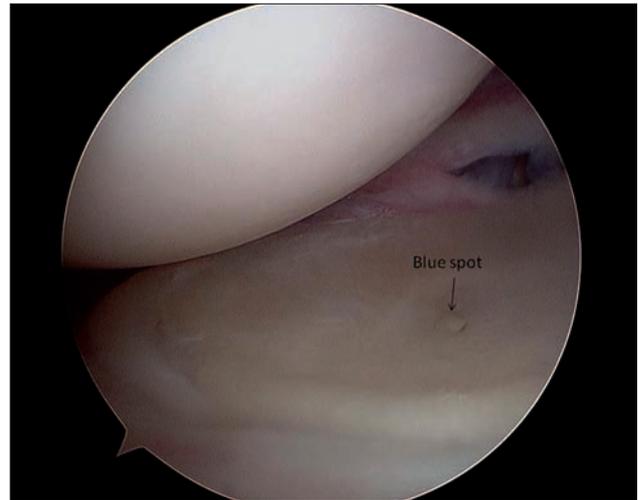


Abb. 2.8: Der sog. *blue spot* entspricht einem kleinen Areal in der Mitte der inferioren Zirkumferenz des Glenoids mit verminderter Knorpeldicke.

- ▲ III: zentrosuperior
- ▲ IV: zentroinferior
- ▲ V: posterosuperior
- ▲ VI: posteroinferior

Checkliste: Humeruskopf – Gelenkfläche

- Normal
- Lokalisation der Knorpelläsion (Zone I–VI)
- Grad der Knorpelläsion (0–IV)

Glenoid: Gelenkfläche

Der glenoidale Knorpel wird in identischer Weise durch exakte Visualisierung aller Abschnitte und ggf. Tasten mit einem Tasthaken untersucht. Es ist wichtig zu wissen, dass in den meisten Fällen physiologischerweise leicht anteroinferior zum Glenoidzentrum eine kleine knorpelfreie Zone zu finden ist (*bare* oder *blue spot*), die nicht mit einem pathologischen Knorpelschaden verwechselt werden darf (s. Abb. 2.8).

Die Knorpelschäden werden erneut nach Outerbridge klassifiziert, und die Lokalisation wird registriert. Hierfür wird das Glenoid ebenfalls in 6 Abschnitte unterteilt, die mit den Buchstaben A–F benannt werden (s. Abb. 2.9). Die 3 Trennlinien für diese Abschnitte sind der Äquator des Glenoids und 2 schräge Linien durch das Zentrum in einem Winkel von jeweils 60° zueinander.

Die hieraus entstehenden Abschnitte und ihre räumliche Zuordnung sind:

- ▲ A: superior
- ▲ B: anterosuperior
- ▲ C: anteroinferior
- ▲ D: inferior
- ▲ E: posteroinferior
- ▲ F: posterosuperior

Checkliste: Glenoid – Gelenkfläche

- Normal
- Lokalisation der Knorpelläsion (Abschnitt A–F)
- Grad der Knorpelläsion (0–IV)

Kapsel

Die Inspektion und ggf. auch Palpation der Gelenkkapsel liefert nützliche Informationen über den Entzündungs- und Dehnungszustand des Gelenks. Unspezifische Kapsulitiden sind häufige Begleiterscheinungen sonstiger Läsionen (Schulterinstabilität, Rotatorenmanchetten- oder Bizepssehnenläsion). Die Frühform der adhäsiven Kapsulitis zeigt ebenfalls meist eine deutliche Synovialitis, bräunliche Veränderungen der Synovialis sind bei chronischen Synovitiden zu finden oder ggf. bei spezifischen Entzündungen (villonoduläre Synovitis, rheumatoide Arthritis, synoviale Chondromatose).

Physiologischerweise besitzt die Schulter 2 Recessus, den Recessus subscapularis und den Recessus axillaris.

Der Recessus subscapularis (s. Abb. 2.10) wird durch das A- und noch besser das anterolaterale D-Portal untersucht. Beim Recessus subscapularis handelt es sich um eine Aussackung der Gelenkkapsel anterior in der Schulter im Bereich des Rotatorenintervalls, die zwischen dem Collum scapulae und kranial der Subscapularissehne lokalisiert ist, die Ausdehnung ist variabel und liegt in Nachbarschaft zum mittleren glenohumeralen Ligament (MGHL, *middle glenohumeral ligament*), entweder kranial des Bands oder kaudal davon. Der Recessus axillaris (s. Abb. 2.11) lässt sich am besten durch das posteriore Portal inspizieren, wobei durch Rotation des Arthroskops nach medial, lateral und inferior die gesamte Achseltasche mit ihrer humeralen und glenoidalen An-

heftung beurteilt werden sollte. Freie Gelenkkörper sind typischerweise in diesen beiden Recessus vorhanden, weshalb sie immer daraufhin inspiziert werden müssen.

Als Rotatorenintervall wird die Region zwischen superiorer Begrenzung der Subscapularissehne und anteriorer Begrenzung der Supraspinatussehne bezeichnet. Kranial im Intervall verlaufen das SGHL und das CHL.

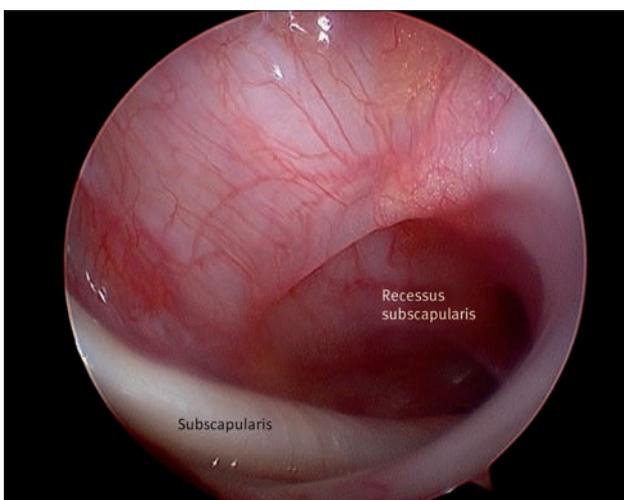
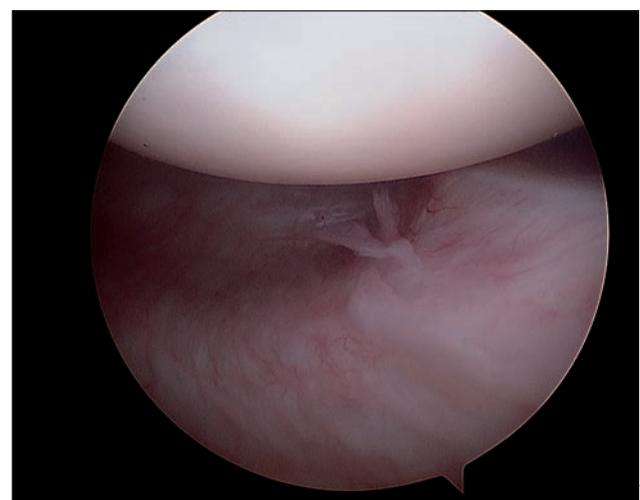
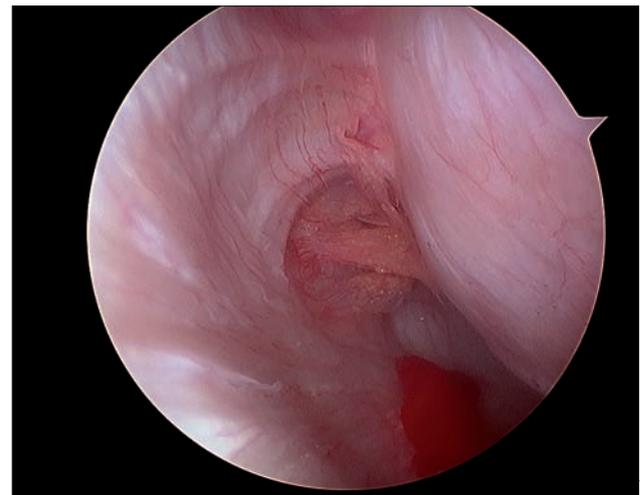


Abb. 2.10: Der Recessus subscapularis ist eine Aussackung des Glenohumeralgelenks, der in der anterioren Schulter oberhalb der Subscapularissehne in Richtung Subkorakoidalraum verläuft.

Abb. 2.11a–c: Im Recessus axillaris können sich freie Gelenkkörper (oder wie hier Blutkoagel) sammeln. Zur vollständigen Inspektion des Recessus wird das Arthroskop inferior des OA-Kopfs (a) bis zur humeralen Kapselinsertion (b) und nach posterior (c) geschwenkt.

Checkliste: Kapsel

- Normales Erscheinungsbild
- Pathologisches Erscheinungsbild. Beschreibung:
- Recessus axillaris:
- Recessus subscapularis:
- Rotatorenintervall:
 - Normal
 - Erweitert
 - Vernarbt
 - Sonstiges

Labrum

Beim Labrum handelt es sich um eine fibröse, faserknorpelige, keilförmige Struktur, die wie ein Reifen einer Felge dem Glenoidrand ringartig anliegt. Das Labrum kann im anterioren, inferioren und superioren Bereich durch das posteriore Standardportal (A) gut untersucht werden, für das posteriore Labrum eignet sich das anterolaterale D-Portal besser, da hier für eine gute Übersicht ein im A-Portal liegendes Arthroskop dem posterioren Glenoidrand meist zu nahe ist.

Beim Labrum ist neben der Visualisierung insbesondere auch der Tastbefund (Tasthäkchen) wichtig, um zu überprüfen, ob eine Pathologie vorliegt, d.h. z.B. eine Ablösung des Labrums vom Glenoid, eine Ruptur des Labrumrings oder eine Fehlheilung in einer nicht anatomischen Position.

Unterhalb des Äquators des Glenoids ist das gesamte Labrum normalerweise fest mit dem Glenoid verbunden. Bei 40% der Schultern ist das Labrum auch oberhalb des Äquators fest mit dem Glenoid verbunden, in 60% der Fälle kann das Labrum peripher vom Rand des Glenoids etwas angehoben werden [4]. Anatomische Varianten des Labrums sind insgesamt recht häufig und

kommen insbesondere im anterosuperioren Quadranten, also superior der anterioren Inzisure (3-Uhr-Position) vor.

Beim *sublabral hole* (s. Abb. 2.12) ist das Labrum im anterosuperioren Quadranten nicht mit dem Glenoid verbunden. Dies kommt bei ca. 8–18% aller Schultern vor und ist häufig (75%) mit einem sog. *cord-like*, also strangartig ausgebildeten MGHL assoziiert. Ein *cord-like* MGHL in Kontinuität mit dem superioren Labrum am Ansatz der Bizepssehne ohne anterosuperiores labrales Gewebe wird als sog. Buford-Komplex bezeichnet (s. Abb. 2.13) und ist bei 1,5–6,5% aller Schultern zu finden [7, 11]. Diese Konfiguration stellt keine Pathologie dar. Eine weitere Variante ist das *sublabral foramen*, eine im Vergleich zum *sublabral hole* etwas kleinere, aber ansonsten ähnliche Unterbrechung des anterosuperioren Labrums (s. Abb. 2.14).

Im Gegensatz dazu ist das superiore Labrum meist konstanterweise fest mit dem Glenoidrand verbunden und setzt das Glenoid im Niveau des Knorpels nach superior harmonisch fort. Das obere Labrum bildet hier mit der Bizepssehne einen Komplex (Bizepsanker, s. Abb. 2.15). Allerdings existieren auch hier anatomische Varianten, die nicht als Pathologien (z.B. SLAP-Läsion, *superior labrum anterior to posterior*) fehlgedeutet werden dürfen, sie sind in Kapitel 7 aufgeführt. Insbesondere bei älteren Patienten sind degenerative Veränderungen im superioren Labrum häufig, aber nicht pathologisch und bedürfen keiner Therapie. Nicht als SLAP-Läsion fehlgedeutet werden darf auch ein physiologischer Recessus von einigen Millimetern Tiefe zwischen oberem Glenoid und Labrum, der gelegentlich vorkommt.

Checkliste: Labrum

- Normale Befestigung
- Anatomische Variante. Beschreibung:
- Labrale Läsionen. Beschreibung:

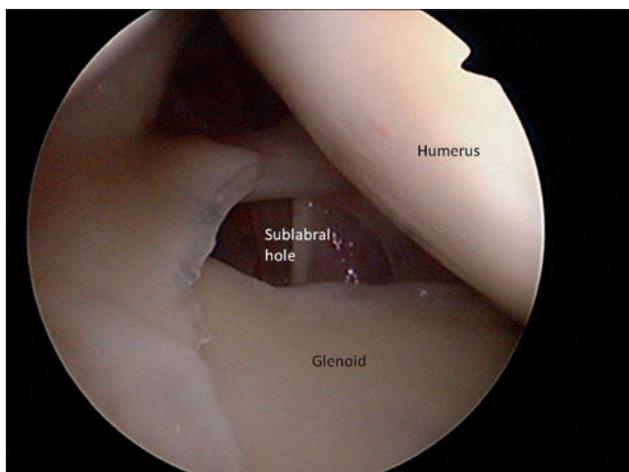


Abb. 2.12: Das *sublabral hole* ist eine physiologische Normvariante, bei der das anterosuperiore Labrum nicht mit dem Glenoidrand verbunden ist.

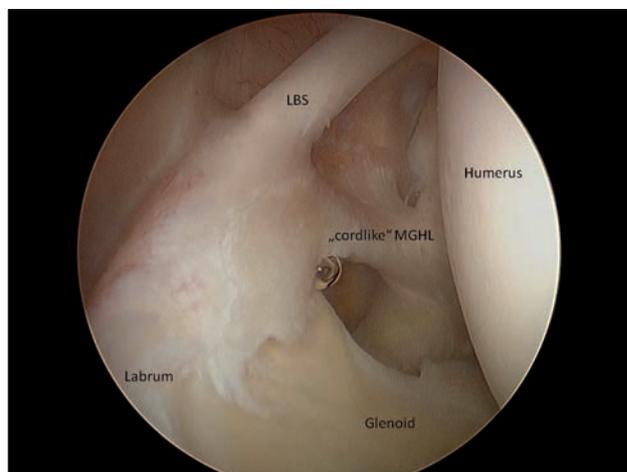


Abb. 2.13: Die Kombination aus fehlendem anterosuperiorem Labrum und strangartig ausgebildetem (*cord-like*) MGHL wird als Buford-Komplex bezeichnet.

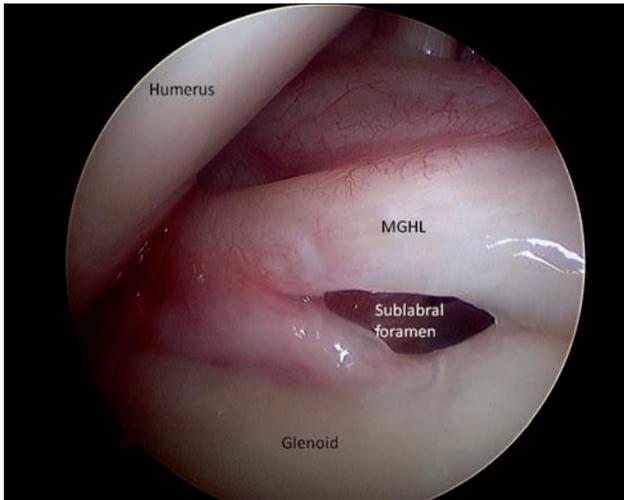


Abb. 2.14: Beim *sublabral foramen* liegt eine kleine Unterbrechung in der Kontinuität des anterosuperioren Labrums vor.

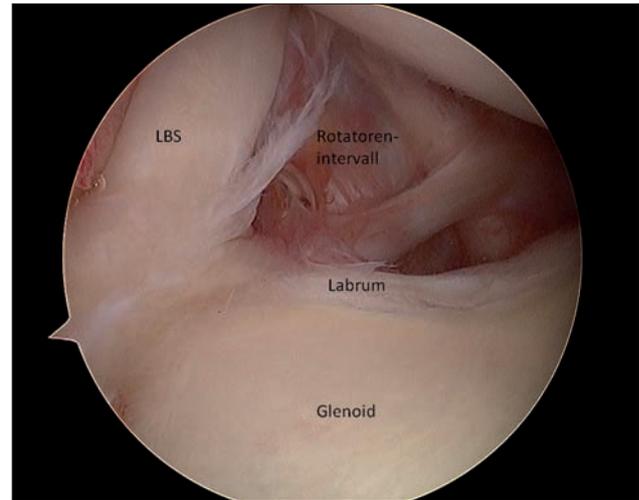


Abb. 2.15: Labrum und Bizepsanker. Physiologischerweise sitzt das Labrum dem Glenoid zirkulär wie ein Reifen einer Felge auf. Die Bizepssehne inseriert in einer Einheit mit dem oberen Labrum.

Ligamente

Superiores glenohumerales Ligament

Siehe Abbildung 2.16

Das SGHL, das bei 98% aller Schultern vorhanden ist [6], entspringt am supraglenoiden Tuberkel am Übergang zur Basis des Korakoids anterior der Bizepssehne. Es zieht dann zur medialen Begrenzung des Sulcus bicipitalis am Humerus und formt dabei einen Teil des sog. *biceps pulley system*, das für die Stabilität der Bizepssehne am Eingang in den Sulcus verantwortlich ist. Verletzungen bzw. Entzündungen oder Adhäsionen in dieser Region verursachen häufig deutliche Schmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen in der Schulter, da hier eine große Anzahl von Nervenendigungen zur Übermittlung propriozeptiver Informationen vorhanden ist.

Zur Visualisierung und Beurteilung der Integrität des SGHL sollte die Schulter in leichte Adduktion, Flexion und Innenrotation gebracht werden, wodurch das SGHL unter Spannung kommt.

Checkliste: SGHL

- Nicht vorhanden
- Normal
- Läsion, Beschreibung:

Mittleres glenohumerales Ligament

Siehe Abbildung 2.17

Das MGHL, das bei 84% aller Schultern vorhanden ist [5], entspringt dem anterosuperioren Labrum bzw. anterosuperioren Glenoid am Scapulahals. Es läuft nach schräg lateralinferior und kreuzt die Subscapularissehne in einem Winkel von ca. 45°. Der Ansatz des Bands befindet sich im medialen Bereich des Tuberculum minus. Anatomische Variationen des MGHL sind nicht selten. Ein *cord-like* MGHL ist in bis zu 17,9% aller Fälle vorhanden [5].

Meist lässt sich der intraligamentäre Bereich des Bands von posterior (A-Portal) gut überblicken. Das Band spannt sich an, wenn der Arm in adduzierter Position außenrotiert wird.

In bestimmten Fällen ist die Visualisierung des MGHL durch das anterolaterale D-Portal hilfreich, und zwar z.B. im Fall einer anterioren Schulterinstabilität, bei der der distale Bandansatz zum Ausschluss bzw. zur Graduierung einer humeralen Bandläsion (HAGL, *humeral avulsion of glenohumeral ligament*) eingesehen werden muss, was von posterior gelegentlich nur schwer möglich ist.

Checkliste: MGHL

- Nicht vorhanden
- Normal
- Normal Variante. Beschreibung:
- Läsion
 - Nein
 - Ja – Beschreibung (Checkliste Instabilität)

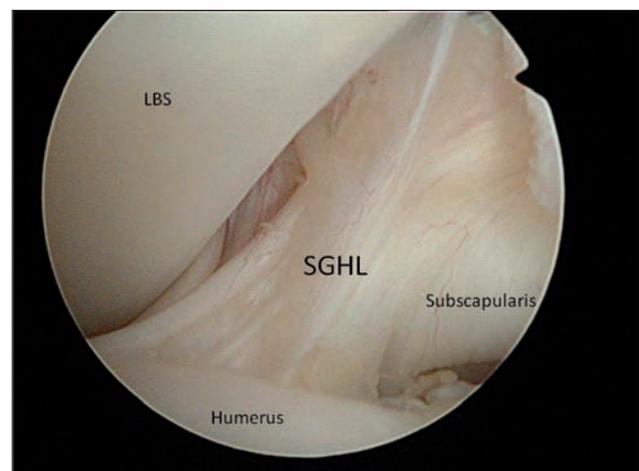


Abb. 2.16: Das SGHL bildet einen wesentlichen Teil des Aufhängeapparats der Bizepssehne (*pulley system*).

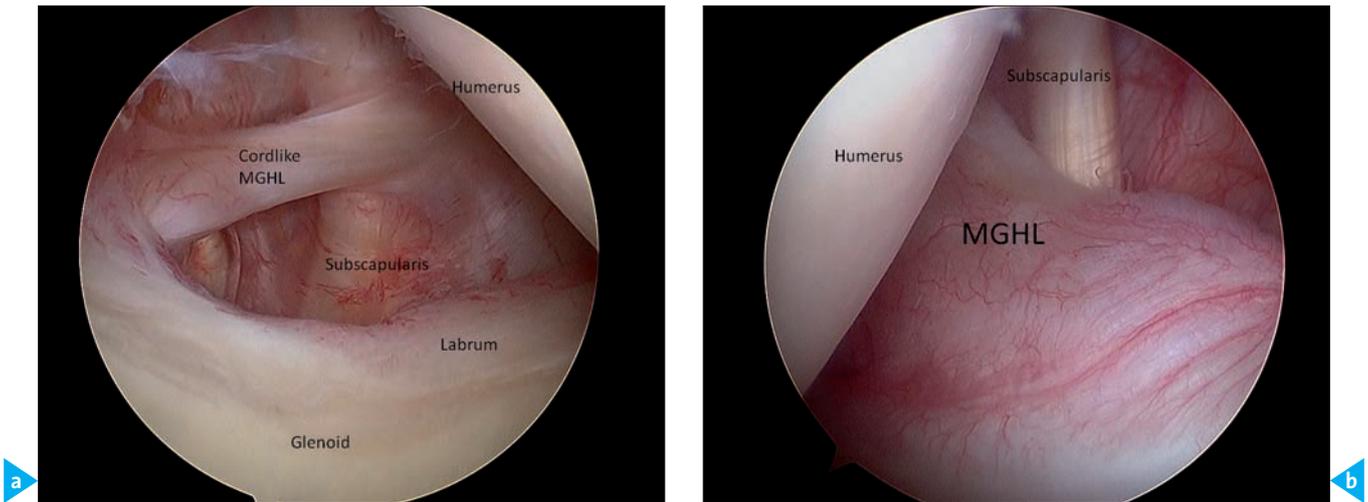


Abb. 2.17a, b: MGHL, das als separierte Struktur *cord-like* verlaufen kann (a), oftmals aber auch eingebettet in die Struktur der Gelenkkapsel ist (b).

Inferiores glenohumerales Ligament

Siehe Abbildung 2.18

Das inferiore glenohumerale Ligament (IGHL, *inferior glenohumeral ligament*) ist der wichtigste statische Stabilisator der Schulter. Es ist in die Kapselstruktur integriert, bei 75–90% aller Schultern ist es dabei als Bandstruktur sichtbar [12]. Das IGHL besteht aus einem starken anterioren Anteil (*anterior band*) und einem schwächer ausgebildeten posterioren Band (*posterior band*), inferior zwischen den beiden Anteilen liegt, vergleichbar mit einer Hängematte, die inferiore Kapsel mit dem Recessus axillaris. Das anteriore Band inseriert zusammen mit dem vorderen Labrum am Glenoidrand bzw. Scapulahals inferior des Äquators und zieht nach inferolateral zum anatomischen Hals des Humeruskopfs. Das posteriore Band entspringt dem posterioren Labrum bzw. Glenoidhals ebenfalls unterhalb des Äquators.

Die vordere Instabilität der Schulter geht i.d.R. mit Läsionen des IGHL einher, wobei das Band in den meis-

ten Fällen an der glenoidalen Insertion (meist zusammen mit dem Labrum) abgelöst ist, was arthroskopisch über das posteriore Portal gut sichtbar ist. Das Band kann aber auch im intraligamentären Verlauf oder an der humeralen Insertion (HAGL-Läsion) lädiert sein. Eine Visualisierung von anterior oder anterolateral (D-Portal) macht in allen Fällen chronischer Schulterinstabilität Sinn, da zum einen nur so ausreichende Übersicht über den anterioren Scapulahals zu erlangen ist, wo oft Teile des anteroinferioren Labrums und der IGHL-Insertion in dislozierter Position zu finden sind. Zum anderen kann auch der Verlauf des Bands nach lateral bis zum Humerus so gut verfolgt werden.

Zusätzlich zur morphologischen Beurteilung des Bands ist eine dynamische Bewertung der Schulterstabilität erforderlich, d.h. das Visualisieren der Kapsel-Band-Strukturen in Außenrotation/Abduktion sowie unter anteroposteriorer Translation des Humeruskopfs.

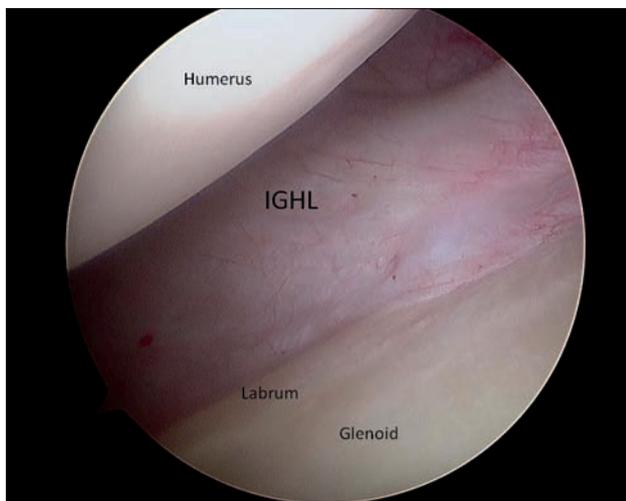


Abb. 2.18: Das IGHL ist der wichtigste passive Stabilisator der Schulter nach anterior und stellt eine strangartige Verstärkung der anteroinferioren Gelenkkapsel dar.

Checkliste: IGHL

- Normal
- Läsion:
 - Nein
 - Ja:
 - Lokalisation
 - Beschreibung

Korakohumerales Ligament

Siehe Abbildung 2.19

Das CHL ist eine extraartikuläre Struktur und inseriert breitflächig an der Basis des Korakoids. Als wesentlicher Anteil des Rotatorenintervalls verläuft es gewissermaßen im Dach desselben nach lateral und spaltet sich dann in 2 Anteile auf, die dann lateral bei der Stabilisierung der Bizepssehne im sog. *pulley system* mitwirken, der anteriore Bandanteil zieht zur Subscapularissehneninsertion bzw. zum Lig. transversum humeri am

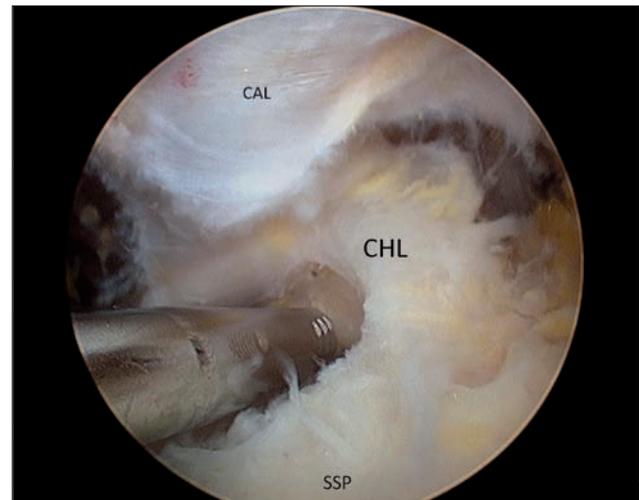
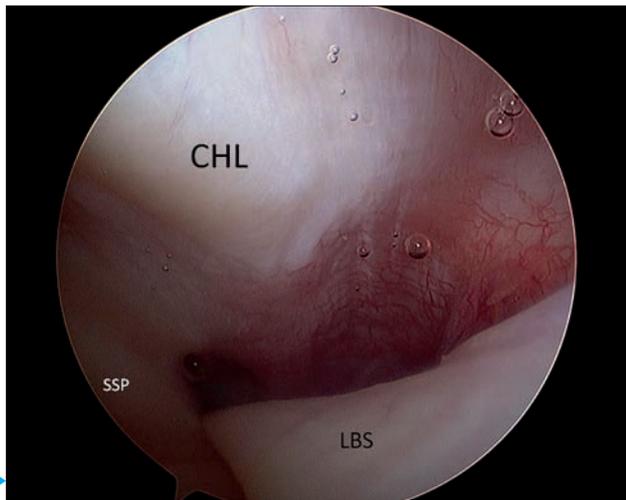


Abb. 2.19a, b: Das CHL verläuft als kräftige Bandverbindung zwischen der Korakoidbasis und dem Dach des Rotatorenintervalls, Blick von intraartikulär (a) und von subakromial (b).

Tuberculum minus, der posteriore Anteil zieht zur anterioren Begrenzung der Supraspinatussehne am Tuberculum majus.

Bizepssehne

Siehe Abbildung 2.20

Vom intraartikulären Anteil der Sehne des langen Bizepskopfs können 3 Bereiche unterschieden werden: die Insertion (Bizepsanker), der freie intraartikuläre Anteil und der Austritt aus dem Gelenk in den Sulcus bicipitalis hinein.

Die Bizepssehne setzt am oberen Labrum bzw. Glenoidpol am Tuberculum supraglenoidale an.

Physiologischerweise ist die Sehne eine ovale, in gerader Richtung verlaufende Struktur von perlmuttweißer Färbung und weist eine glatte, regelmäßige Oberfläche auf.

Unmittelbar vor dem Übergang in den Sulcus bicipitalis wird die lange Bizepssehne (LBS, engl. *long head of biceps tendon*, LHBT) von einer Schlinge aus Bandstrukturen stabilisiert, die als *pulley system* bezeichnet wird. Der anteriore Anteil dieser Schlinge besteht aus dem oberen Abschnitt der Subscapularissehne, dem SGHL und dem Lig. transversum. Der posteriore Part der Schlinge wird vom anterioren Teil des Supraspinatus und des CHL gebildet.

Alle 3 Anteile der LBS können über das posteriore Standardportal gut eingesehen werden, wobei ein Teil des extraartikulären Sehnenbereichs aus dem Sulcus zusätzlich durch ein Zurückziehen der Sehne in das Gelenk mit einem Tasthaken überprüft werden kann.

Die Makrostruktur der LBS wird als normal oder pathologisch klassifiziert (s. auch Kap. 14), wobei insbesondere die Funktion und Integrität des *pulley system* statisch und dynamisch überprüft werden müssen. Dazu gehört die Visualisierung der Bizepssehnenführung im *pulley system* (s. Abb. 2.21) unter Rotationsbewegungen

des Arms, wobei auf mediale oder laterale Subluxationen der Sehne in dieser Schlinge geachtet wird. Eine LBS, die bei allen dynamischen Bewegungen zentriert im Sulcus liegt, weist i.d.R. ein intaktes *pulley* auf und ist somit stabil.

Checkliste: Bizepssehne

- Erscheinungsbild:
 - Normal
 - Pathologisch (Checkliste Bizeps), Beschreibung:
 - Entzündet
 - Verbreitert
 - Partiiell rupturiert
 - Degenerativ verändert
- Stabilität:
 - Normal
 - Pathologisch (Checkliste Bizeps)
- Nicht vorhanden
- Sonstiges

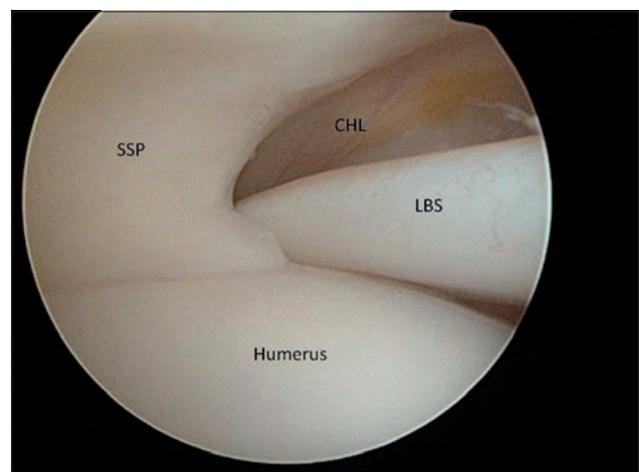


Abb. 2.20: Die LBS verläuft intraartikulär und verlässt das Gelenk medial und anterior der Insertion der SSP-Sehne durch das *pulley system*.

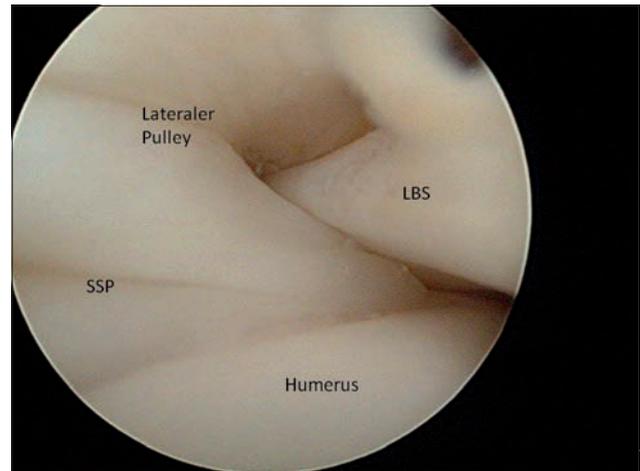
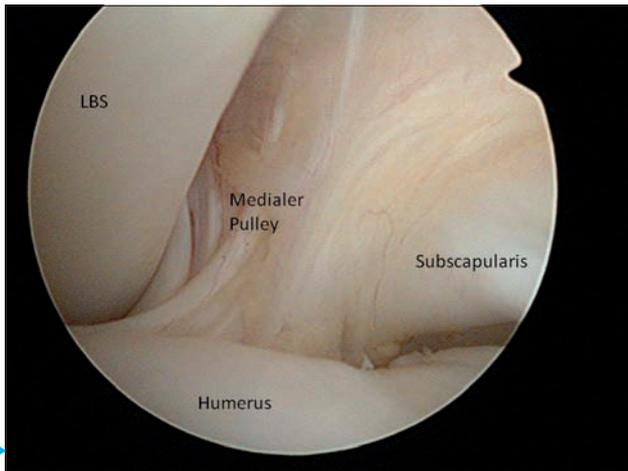


Abb. 2.21a, b: Aufhängeapparat der Bizepssehne (*pulley system*). Nach medial hin wird die LBS durch das SGHL und das CHL stabilisiert (a), nach lateral hin durch die SSP-Sehne und das CHL (b).

Gelenkseitige Rotatorenmanschette

Supraspinatus, Infraspinatus und Teres minor

Siehe Abbildung 2.22

Die gesamte intraartikuläre Ansatzzone der Supraspinatussehne und fast der gesamte Teil der Insertion des Infraspinatus können durch das posteriore A-Portal gut visualisiert werden. Das Lichtkabel am Arthroskopschaft wird dabei so gedreht, dass man oberhalb des OA-Kopfs nach lateral blickt. Über ein anteriores Portal (E) erlangt man einen guten Blick auf den posteroinferioren Ansatz des Infraspinatus.

Grundsätzlich sollte bei der Beurteilung der Manschette eine dynamische Untersuchung unter Bewegungen des OA-Kopfs erfolgen. Für den Überblick über die posterosuperioren Sehnenansätze wird der Arm hierzu in ca. 45-Grad-Flexion und 30-Grad-Abduktion gebracht, und zusätzlich werden Rotationsbewegungen ausgeführt.

Die Supraspinatussehne setzt direkt lateral des Gelenkknorpels am Tuberculum majus an und verschmilzt

nach anterior mit dem *biceps pulley*. Weiter posterior im Bereich der Infraspinatusinsertion ist die *bare area* (s.o.) zu beachten und von einer möglichen Hill-Sachs-Läsion zu unterscheiden. Das Vorhandensein eines sog. Rotatorenkabels (*rotator crescent cable*), einer domförmig zwischen den Insertionspunkten der Supra- und Infraspinatussehne verlaufenden Faserverbindung wird registriert.

Die Integrität der Sehneninsertionen des Supra- und Infraspinatus wird von intraartikulär genauestens überprüft. Strukturelle Unterbrechungen der Ansatzzone werden als partielle Risse oder komplette Risse klassifiziert. Bei den Partialrupturen erfolgt eine Einteilung der Lokalisation und des Ausmaßes der Strukturunterbrechung (artikulär, intrasubstanziell, bursaseitig, I°, II°, III°, s. auch Kap. 10). Bei den Totalrupturen werden die Lokalisation der Strukturunterbrechung, der Retraktionsgrad, die Retraktionsrichtung sowie die Sehnenqualität bewertet [9].

Assoziierte Läsionen der LBS oder des *pulley system* sind bei Rotatorenmanschettenläsionen häufig, und es muss, insbesondere bei den anterioren Manschettenrissen nach ihnen gefahndet werden (s. auch Kap. 14).



Abb. 2.22: Die SSP-Sehne setzt am OA-Kopf direkt lateral der Knorpelbeschichtung an.

Checkliste: Supraspinatus und Infraspinatus

- Normal
- Partialruptur
 - Lokalisation
 - Rissdicke
- Komplettruptur
 - Lokalisation
 - Retraktionsgrad
 - Retraktionsrichtung
 - Sehnenqualität

Subscapularissehne

Der intraartikuläre Anteil der Sehne des M. subscapularis kann durch eine posteriore Visualisierung normalerweise gut erfasst werden (A-Portal), sofern keine retrahierte Ruptur vorliegt. Es ist dabei wichtig zu verstehen,

dass allerdings nur das superiore $\frac{1}{3}$ der Sehne über eine glenohumerale Arthroskopie von intraartikulär her visualisiert werden kann. Ein Großteil des Subscapularis liegt außerhalb der Kapsel und inferior des intraartikulär sichtbaren Abschnitts und wird somit durch die vordere Gelenkkapsel verdeckt. Die Sehne verläuft aus dem subkorakoidalen Raum kommend nach lateral in horizontaler Richtung und strahlt dort unter Teilnahme am *pulley system* in das Tuberculum minus ein (s. Abb. 2.23).

Die Sehneninsertion wird mit einem Tasthaken exakt auf ihre Integrität hin überprüft, eine flektierte und ggf. innenrotierte Armposition ist hierfür hilfreich. Risse der Subscapularissehne werden entsprechend unserer Klassifizierung eingeteilt in Grad 0–5 (s. hierzu auch Kap. 13).

Läsionen der Subscapularissehne gehen in überwiegender Mehrzahl mit Läsionen bzw. Instabilitäten der LBS einher.

Checkliste: Subscapularissehne

- Normal
- Ruptur
 - Grad 0–5
- LBS
- Pulley system*

**Extraartikuläre Bereiche:
Endoskopie der Schulter**

Subakromialer Bereich

Subakromiale Bursa

Die subakromiale Bursa liegt im anterioren Abschnitt des Subakromialraums oberhalb der Supraspinatussehne, ihre Begrenzung ist nicht mit denen des Akromions identisch, d.h., die Bursa erstreckt sich insbesondere nach medial und lateral deutlich über die Begrenzung des Akromions bis unter den Korakoidansatz und lateral in den subdeltoiden Bereich hinein [1]. Die Verhältnisse sind gewissermaßen mit einer sog. kleinen Kiste (= Bursa) innerhalb einer großen Kiste (= Subakromialraum) vergleichbar.

Die posteriore Begrenzung der Bursa befindet sich im Bereich des Übergangs zwischen Supra- und Infraspinatussehne und ist mit dieser i.d.R. locker verwachsen, sodass von der Bursa aus i.d.R. die Infraspinatussehne mit dem Arthroskop erst gesehen werden kann, sobald Teile der posterioren Bursa entfernt sind.

Die Bursa ist häufig aufgrund von diversen Schulterpathologien entzündet und von Adhäsionen bzw. Narbensträngen durchzogen, die Visualisierung des subakromialen Bereichs ist hierdurch nicht immer leicht und erfordert in diesen Fällen eine Bursektomie.

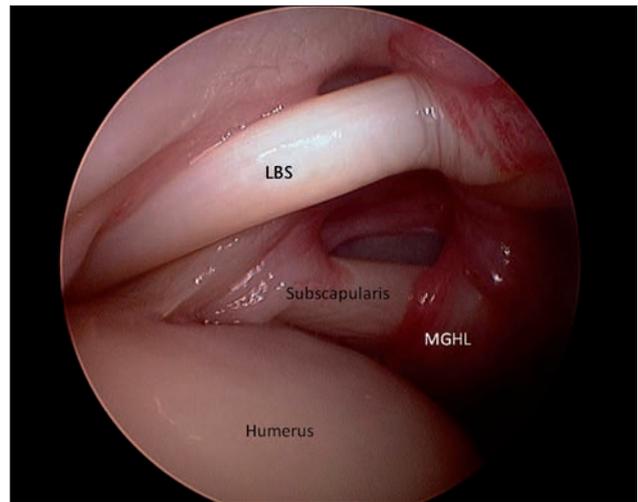


Abb. 2.23: Blick von dorsal auf die LBS, das Rotatorenintervall und die Subscapularissehne.

Die subakromiale Arthroskopie beginnt i.d.R. mit dem Arthroskop von posterior (A-Portal), gelegentlich auch von lateral (B- oder C-Portal) aus und zielt primär in die Bursa. Sofern keine wesentlichen Verwachsungen vorliegen und der Bursabereich mit dem Arthroskop auch getroffen wurde, ist sofort eine recht gute räumliche Übersicht über die angrenzenden Strukturen, wie CAL und Supraspinatussehne, möglich. Liegen Verwachsungen vor bzw. liegt das Arthroskop außerhalb des Bursaraums (häufig zu weit posterior) und die entsprechende Übersicht ist nicht vorhanden, muss das Arthroskop neu positioniert werden, bzw., es muss mit dem Shaver für Übersicht gesorgt werden.

Der Schlüssel zu einer guten subakromialen Visualisierung wird häufig in einer erheblichen Traktion am Arm vermutet, was nicht zutrifft. Unter leichter Traktion am Arm (ca. 3–5 kg) in leichter Neutralposition des Arms, ggf. in leichter Flexion lässt sich der Subakromialraum i.d.R. mit korrekten Portalen gut darstellen!

Checkliste: subakromiale Bursa

- Normal
- Entzündet
- Adhäsionen
- Sonstiges

Knöchernen Strukturen

Akromion. Die arthroskopisch sichtbare kaudale Fläche des Akromions ist von Bursagewebe bedeckt. Von posterior (A-Portal) oder lateral (C-Portal) betrachtet kann die grundsätzliche Morphologie (Neigung, Biegung, Ausmaß der Überdachung) gesehen werden. Insbesondere gilt es, immer zu beurteilen, ob eine Spornbildung vorliegt, die den subakromialen Raum einengt. Die verschiedenen Typen des Akromions von flach bis hakenförmig werden röntgenologisch nach Bigliani klassifiziert [2], was allerdings nicht mit einer arthroskopisch

sichtbaren Pathologie verwechselt werden darf. Sekundäre Veränderungen, wie Osteophyten am lateralen oder vorderen Rand bzw. im Verlauf des CAL, sind von dieser konstitutionell vorliegenden Hakenform des Akromions nach Bigliani abzugrenzen. Die pathomorphologischen Substrate des subakromialen Impingements sind i.d.R. arthroskopisch gut sichtbar: Ausfransungen im anterolateralen Bereich des Akromions und insbesondere im Ansatzbereich des CAL und der Bursa-Auskleidung der Akromionunterfläche. Gelegentlich finden sich bei schweren Formen des Impingements auch knöcherne Ausmoldungen an der Unterfläche des Akromions.

Das Os acromiale ist eine anatomische Variation, der ein gestörter Verknöcherungsprozess von Anteilen des Akromions zugrunde liegt, der bei 3–8% aller Schultern angetroffen wird [13]. Das Os acromiale darf nicht als Fraktur interpretiert werden. Es muss vor jeder subakromialen Prozedur (insbesondere auch bei der Dekompression) das Vorhandensein abgeklärt werden (axiale Röntgenaufnahme).

Checkliste: Akromion

- Normal
- Formgebung:
 - Anteriorer Überhang
 - Lateraler Überhang
- Spornbildung
- Impingement
- Os acromiale. Beschreibung:

Korakoid. Das Korakoid ist eine sehr wichtige Landmarke für arthroskopische Schulterprozeduren. Es liegt sowohl vollständig extraartikulär als auch außerhalb der subakromialen Bursa. Das Korakoid ist der Ansatzpunkt zahlreicher Sehnen- und Bandstrukturen, die sich sämtlich auch arthroskopisch visualisieren lassen: Von der Spitze des Korakoids ziehen die gemeinsamen Sehnen des M. coracobrachialis und des kurzen Bizepskopfs (*conjoint tendons*) nach distal. Lateral setzt das CAL an. Lateral von der Basis des Korakoids entspringt das CHL; die superiore Fläche der Basis bildet den Ursprung der CC-Bänder (Lig. trapezium und Lig. conoideum). Medial setzt der M. pectoralis minor an.

Um einen arthroskopischen Blick auf das Korakoid und seine angrenzenden Strukturen zu erlangen, muss die Bursa subacromialis nach medial und anterior mit Shaver bzw. Radiofrequenz eröffnet werden und sodann das lockere Bindegewebe, das kaudal und kranial um das Korakoid vorhanden ist, arthroskopisch entfernt werden. Von lateral (C-Portal) oder anterolateral (D-Portal) kommend kann das Arthroskop im subdeltoidalen Bereich entweder kaudal oder kranial des Korakoidbogens

positioniert werden, und die entsprechenden Strukturen können gesehen werden (s. auch Kap. 5, 13 und 16).

Checkliste: Korakoid

- Normal
- Osteophyten
- Sonstiges

Akromioklavikuläres Gelenk (AC-Gelenk). Das akromioklavikuläre Gelenk kann von subakromial aus in seinem kaudalen Abschnitt arthroskopisch beurteilt werden. Hierfür eignen sich das A- oder das C-Portal. Auch hier ist wichtig zu verstehen, dass für eine Beurteilung zunächst eine (Teil-)Entfernung der Bursa erforderlich ist. Zur Orientierung der Lage des Gelenks kann man sich mit dem Arthroskop im posterioren A-Portal den Verlauf des CAL zunutze machen: Das AC-Gelenk (ACG) liegt oberhalb des schräg nach inferomedial abtauchenden Ligaments direkt medial seiner akromialen Ansatzstelle. Eine Entfernung des Bands ist **nicht** erforderlich, um einen Blick auf das Gelenk und die laterale Klavikula zu erhalten. Manueller Druck von oben zeigt zusätzlich die Position des lateralen Klavikulaendes. Beurteilt werden die Stabilität bei manueller Manipulation, die Intaktheit der inferioren Gelenkkapsel sowie die Formgebung des lateralen Klavikulaendes (z.B. inferiore Osteophyten).

Checkliste: akromioklavikuläres Gelenk

- Normal
- Inferiore Osteophyten
- Arthritis
- Instabilität
- Sonstiges

Ligamente

Korakoakromiales Ligament. Siehe Abbildung 2.24

Das CAL ist im subakromialen Raum durch das A- oder das C-Portal gut sichtbar und stellt eine wichtige **Landmarke** zur Orientierung dar. Es inseriert auf der anterioren und kaudalen Fläche des anterolateralen Akromions und zieht dann in inferomedialer Richtung zum distalen, lateralen Abschnitt des Korakoids. Meist besteht das Band aus 2 Teilbändern, einem anterolateralen und einem posterolateralen Anteil [3], die sich meist auch arthroskopisch gut differenzieren lassen. Beim arthroskopischen Check-up gilt es, Zeichen des subakromialen Impingements, wie Ausfransungen und Vernarbungen im akromialen Ansatzbereich, zu beurteilen. Primäre oder sekundäre Spornbildungen am Akromion liegen häufig direkt innerhalb des akromialen CAL-Ansatzes anterolateral am Akromion.

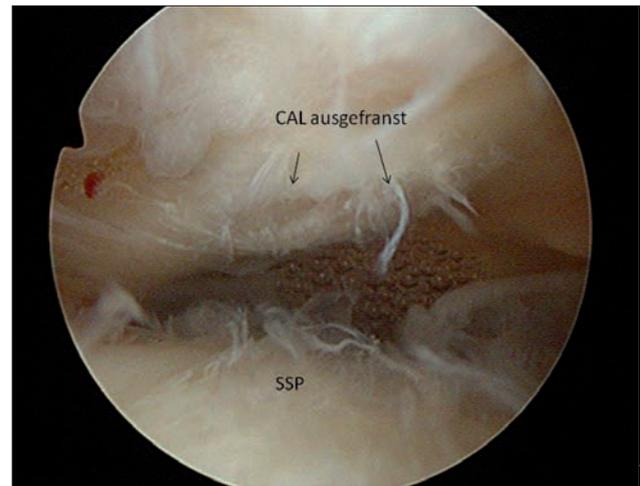
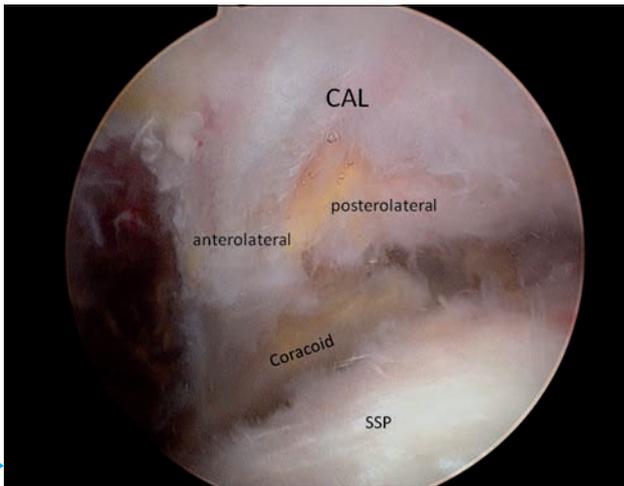


Abb. 2.24a, b: Das CAL verläuft segelartig zwischen der anterioren und inferioren Akromionfläche und zieht zur lateralen Begrenzung des Korakoids. In vielen Fällen lassen sich ein anterolateraler und ein posterolateraler Bandanteil differenzieren (a). Beim subakromialen Impingement zeigt die Insertion des CAL am Akromion Schleifspuren und Ausfransungen (b).

Checkliste: CAL

- Normal
- Impingementzeichen
 - Ausfransung
 - Teilablösung
 - Verdickung
- Voroperation
- Sonstiges

Korakohumerales Ligament und Rotatorenintervall. Das CHL verläuft zwischen der Basis des Korakoids und dem lateralen Anteil des Rotatorenintervalls, wo es einen wesentlichen Anteil des *pulley system* der Bizepssehne darstellt (s.o.). Das Band limitiert die Außenrotation in adduzierter Armposition [5] und kann am besten durch das C-Portal von subakromial aus visualisiert werden. Das Band hat eine viereckige Form und ist posterior eng mit dem Supraspinatus verwachsen. Nach anterior wird das Ligament durch Bindegewebe fortgesetzt, das mit der Bursa der Subscapularissehne verbunden ist. Diese anteriore Fortsetzung des CHL ist die von intraartikulär sichtbare anteriore Kapselwand des Glenohumeralgelenks im Rotatorenintervall und liegt direkt oberhalb der Subscapularissehne. Meist werden hier die anterioren Instrumentenzugänge zur Schulter positioniert (z.B. auch E-Portal). Das Band zieht nach lateral zum OA-Kopf, wo es in seinem posterioren Anteil mit dem Ansatzbereich des Supraspinatus am Tuberculum majus und anterior mit dem Ansatzbereich des Subscapularis am Tuberculum minus verbunden ist.

Checkliste: CHL und RI

- Normal
- Abgelöst
- Retrahiert
- Kontrakt
- Sonstiges

Bursaseitige Rotatorenmanschette

Supraspinatussehne. Supraspinatussehne und -muskel können vom C-Portal aus begutachtet werden. Eine intakte Sehne stellt sich in weißlicher Farbe dar, ist auf der Oberfläche glatt und von einer feinen Schicht der viszeralen Bursa subacromialis bedeckt. Für eine ungestörte Übersicht über die Sehne bis nach lateral ist gelegentlich eine Teilentfernung der Bursa notwendig.

Die Struktur und Beschaffenheit der Sehne werden im Hinblick auf Risse oder Kalkeinlagerungen überprüft. Bursaseitige (Teil-)Rupturen (B-Rupturen, s. Kap. 10) werden i.d.R. sofort gut sichtbar und gehen meist mit akromialen Zeichen des Impingements einher. Bei Komplett rupturen werden Retraktion, Repositionsmöglichkeit und Sehnenqualität überprüft.

Infraspinatus- und Teres-minor-Sehne. Von subakromial aus kann durch das C-Portal die Grenze zwischen Infraspinatus und Supraspinatus i.d.R. gut visualisiert werden, man blickt von lateral in Richtung Spina scapulae, anterior der Spina verläuft der Supraspinatus, posterior der Spina der Infraspinatus. Nach lateral konfluieren die Sehnen der beiden Muskeln, d.h., sie gehen in eine gemeinsame Sehnenstruktur über, die keine klare Grenze zueinander aufweist. Risse der Infraspinatussehne weisen häufig charakteristischerweise ein mehrschichtiges Rissmuster auf, d.h., es existieren zumindest eine oberflächliche und eine tiefe Sehnen-schicht, die voneinander abgegrenzt werden können (sog. Delamination). Es gilt dabei, dieses mehrschichtige Rupturmuster zu erkennen und v.a. dann bei der Sehnenrekonstruktion zu berücksichtigen. Das tiefe Sehnenblatt muss in den medialen Bereich des Insertionsareals (*footprint*) und das oberflächliche bis zum lateralen Bereich des Insertionsareals reponiert werden.

Die bursaseitige Unterscheidung zwischen Infraspinatussehne und der posteroinferior lokalisierten Teres-

minor-Sehne ist nicht immer klar zu sehen, da die Sehnen auch hier konfluieren, die Übersicht über die Sehnen gelingt am besten durch ein B- oder C-Portal, wobei das Arthroskop über den OA-Kopf (meist nach posteriorer subakromialer Bursektomie) nach dorsal und inferior geschwenkt wird.

Checkliste: bursaseitige Rotatorenmanschette (s.o.)

- Normal
- Kalkeinlagerung
- Tendinose
 - Lokalisation
 - Beschreibung:
- Bursaseitige (B-)Ruptur
 - Lokalisation
 - Beschreibung:
- Sonstiges

Suprakorakoidaler Bereich

Der suprakorakoidale Bereich erstreckt sich im medialen Abschnitt des Subakromialraums zwischen Korakoidbasis und Klavikula. Das Areal ist von lockerem Bindegewebe durchzogen und erst nach arthroskopischer Präparation, d.h. Eröffnung der medialen Begrenzung der Bursa subacromialis, arthroskopisch zugänglich. Die Indikation zur Arthroskopie dieses Bereichs ergibt sich z.B. bei der arthroskopischen Behandlung der Instabilität des ACG. Darüber hinaus enthält das Areal dorsal der Korakoidbasis die Incisura scapulae mit dem N. suprascapularis (s. auch Kap. 16).

Infrakorakoidaler Bereich

Der infrakorakoidale Raum liegt zwischen Korakoid und anteriorem Scapulahals, er wird durch den M. subscapularis in einen präsubskapularen und einen retroskapularen Bereich unterteilt.

Der retroskapuläre Raum wurde oben bereits als Recessus subscapularis im Rahmen der intraartikulären arthroskopischen Diagnostik beschrieben. Er wird durch das Dach des Rotatorenintervalls und die anterosuperiore Gelenkkapsel vom präsubskapularen Raum abgegrenzt.

Der präsubskapuläre Bereich enthält meist eine mit der Bursa subacromialis nicht in Verbindung stehende eigene Bursa, die dorsal der *conjoint tendons* und direkt unterhalb des Korakoidbogens liegt. In der Literatur besteht hinsichtlich ihrer exakten Beschreibung kein Konsens. Nach medial erstreckt sich das Areal bis zum Ple-

xus brachialis. Um das Arthroskop bei physiologischen Bedingungen in dieses Areal einzubringen, muss die Bursa an ihrem lateralen Rand vom Subakromialraum aus kaudal des CAL eröffnet werden, wobei dann eine Visualisierung zwischen Subscapularissehne, Korakoid und *conjoint tendons* möglich ist (s. auch Kap. 13 und 16).

Zusammenfassung

Aus praktischer Sicht empfiehlt es sich für den Arthroskopeur, Schritt für Schritt die jeweiligen Räume und Strukturen der Schulter zu untersuchen. Das hier vorgelegte Konzept eines standardisierten Rundgangs mit einer Schritt-für-Schritt-Visualisierung aller relevanten anatomischen Strukturen soll als Gedächtnisstütze für den Operateur dienen, es muss ggf. an die jeweils vorliegende klinische Situation angepasst werden.

Literatur zur Vertiefung

1. Beals TC, Harryman DT II, Lazarus MD, Useful boundaries of the subacromial bursa. *Arthroscopy* (1998), 14, 465–470
2. Bigliani LH, Morrison DS, April EW, The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears. *Orthop Trans* (1986), 10, 228
3. Brodie CG, Note on the transverse-humeral, coracoacromial and coracohumeral ligaments of the shoulder. *J Anat Physiol* (1890), 24, 247–252
4. Detrisac DA, Johnson LL (1986) Arthroscopic shoulder anatomy. Pathological and surgical implications. Thorofare, New Jersey
5. Ferrari DA, Capsular ligaments of the shoulder. Anatomical and functional study of the anterior superior capsule. *Am J Sports Med* (1990), 18, 20–24
6. Ide J, Maeda S, Takagi K, Normal variations of the glenohumeral ligament complex: an anatomic study for arthroscopic Bankart repair. *Arthroscopy* (2004), 20, 164–168
7. Ilahi OA, Anatomical variants in the anterosuperior aspect of the glenoid labrum. *J Bone Joint Surg Am* (2004), 86, 432–433
8. Outerbridge RE, The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br* (1961), 43, 752–757
9. Patte D, Classification of rotator cuff lesions. *Clin Orthop Relat Res* (1990), 254, 81–86
10. Prescher A, Klumpen T, Does the area of the glenoid cavity of the scapula show sexual dimorphism? *J Anat* (1995), 186, 223–226
11. Tuite MJ, Orwin JF, Anterosuperior labral variants of the shoulder: appearance on gradient-recalled-echo and fast spin-echo MR images. *Radiology* (1996), 199, 537–540
12. Turkel SJ et al., Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surg Am* (1981), 63, 1208–1217
13. Sammarco VJ, Os acromiale: frequency, anatomy, and clinical implications. *J Bone Joint Surg Am* (2000), 82, 394–400

3 Instrumente und Implantate zur Durchführung arthroskopischer rekonstruktiver Verfahren

M. Tröger, J. D. Agneskirchner

Einleitung

Die rekonstruktiven Verfahren, wie Kapsel-Labrum-Refixationen, Kapselplastiken oder Rotatorenmanschettennähte, galten lange Zeit als Domäne der offenen Schulterchirurgie. In den letzten Jahren hat eine rasante Entwicklung der arthroskopischen Therapiemöglichkeiten am Glenohumeralgelenk stattgefunden. Auch aktuell ist weiterhin ein deutlicher Verdrängungsprozess von den offenen hin zu den arthroskopischen Techniken zu beobachten. Die enormen Fortschritte im arthroskopischen Vorgehen lassen das Indikationsspektrum stetig wachsen. Eine Flut von neu entwickelten, hoch spezialisierten Instrumenten und Implantaten trägt hierzu entscheidend bei.

Hierbei ist die arthroskopische Versorgung von Verletzungen am Glenohumeralgelenk bisher wenig standardisiert und von den individuellen Erfahrungen des einzelnen Operateurs mit gewissen Instrumenten und Implantaten geprägt. Die Technik entwickelt sich kontinuierlich durch immer flächendeckendere praktische Anwendung weiter, und mit ihr schreitet die Innovation bei Instrumenten und Implantaten voran.

Eine große Erleichterung, insbesondere bei beginnenden Erfahrungen mit der arthroskopischen Schulterchirurgie, können aus unserer Erfahrung einige technische Voraussetzungen und Instrumente darstellen, die sich bei den diversen arthroskopischen Techniken bisher bewährt haben.

Dieses Kapitel soll einen groben Überblick über aktuell verfügbare und aus unserer Sicht empfehlenswerte Instrumente und Implantate zur Durchführung rekonstruktiver arthroskopischer OP-Techniken geben.

Instrumente

Fluid Management

Das Fluid Management spielt gerade am Glenohumeralgelenk eine ganz entscheidende Rolle, sodass die Verwendung eines Pumpensystems aus unserer Erfahrung dringend zu empfehlen ist. Bei der Schulterarthroskopie sind zum einen teilweise deutlich höhere Drücke nötig, die sich durch rein hydrostatischen Druck durch Aufhängen des Wasserreservoirs nur schwer erreichen lassen, zum anderen sind durch häufig notwendige multi-

ple Zugänge Druckverlust und *outflow* größer als bei der Arthroskopie des Kniegelenks. Durch Standardpumpensysteme lassen sich bei einem Ausgangswert von 50–60 mmHg i.d.R. konstante Druckverhältnisse erreichen, die eine problemlose Arthroskopie des Glenohumeralgelenks zulassen. Bei erhöhter Blutungsneigung, längerer OP-Dauer, zu hohem mittlerem Blutdruck des Patienten oder aber insbesondere bei Arbeiten im Subakromialraum können jedoch häufig deutlich höhere Werte erforderlich werden.

Unnötiger Wasser- und damit Druckverlust über Zugänge sollten vermieden werden, d.h., einerseits sollten die Wahl und Anzahl der Zugänge sorgfältig überdacht werden, und andererseits kann durch die Verwendung von Arbeitskanülen der Druck aufrechterhalten werden.

Eine sehr sinnvolle und effektive Möglichkeit des Fluid Managements stellt ein *outflow*gesteuertes Pumpensystem (z.B. FMS DUO, DePuy Mitek, s. Abb. 3.1) dar. Hierbei handelt es sich um ein Doppelpumpensystem mit integriertem Shaver, wobei Zufluss und Absaugung prozessorgesteuert funktionieren, sodass jederzeit ein konstantes Druckniveau aufrechterhalten wird. Durch Tastendruck kann ein Modus aktiviert werden, wobei der Druck zur Blutstillung für 90 s erhöht wird und danach automatisch auf den Ausgangswert zurückgeht. Des Weiteren ist durch Drücken einer weiteren Taste ein vollständiger intraartikulärer Flüssigkeitsaustausch möglich im Sinne einer Wash-Funktion.

In unserem klinischen Alltag hat sich das FMS (Fluidmanagementsystem) gerade bei der Rekonstruktion der Rotatorenmanschetten sehr bewährt, die Sicht kann hierdurch rasch optimiert und hiermit das Arbeiten gerade im Subakromialraum erleichtert werden.

Shaver/bipolare Hochfrequenzsonden

Eine sorgfältige Darstellung der vorliegenden Weichteilsituation und -pathologie ist Grundvoraussetzung für das Verstehen der Verletzung und somit für eine adäquate anatomische Rekonstruktion. Ein sorgfältiges Weichteildebridement ist daher unumgänglich. Hierzu hat sich der Einsatz von **bipolaren Radiofrequenzsonden** (VAPR, VULCAN, OPES, TurboVac) sowie zunehmend zusätzlich von **motorbetriebenen Rotationsmessern (Shaver-Systemen)** bewährt (s. Abb. 3.2 und 3.3).



Abb. 3.1: Pumpensystem (fms Duo, DePuy Mitek, Boston, USA) zum Fluidmanagement bei der Schulterarthroskopie. Die Doppelrollenpumpe kontrolliert In- und Outflow sowie das Shaver-system.



Abb. 3.2: Bipolare Radiofrequenzsonde (VAPR P90, DePuy Mitek, Boston, USA). Mit dem 90° abgewinkelten Endstück (Inset oben) sind Gewebeablation und Blutstillung möglich.

Gerade im Subakromialraum besteht häufig eine erhebliche Blutungstendenz, daher ist der Einsatz einer Hochfrequenzsonde zur Reduktion von Blutungen sehr empfehlenswert und hilfreich. Andererseits lassen sich durch ein gutes Shaversystem sicherlich am effektivsten und schnellsten größere Weichteilmengen, insbesondere im Subakromialraum entfernen, um möglichst rasch eine gute Übersicht zu erhalten.

Auch die häufig erforderliche Mobilisation von Weichteilgewebe, wie u.a. der Rotatorenmanschette durch Lösen von Verwachsungen im subakromialen Raum sowie periglenoidal, wird mit einer Elektrosonde erheblich erleichtert.

Unentbehrlich ist eine Hochfrequenzsonde auch zur Durchführung einer periglenoidalen Kapsulotomie bei der adhäsiven Kapsulitis.

Greifinstrumente

Zur probeweisen Reposition der Sehne oder des Kapsel-Labrum-Komplexes an den angestrebten Ort der Refixierung ist eine **arthroskopische Gewebefasszange** hilfreich.

So kann einerseits die Mobilisierung der Sehne bzw. des Labrums beurteilt und andererseits die optimale Position der Nahtanker gefunden werden.

Abb. 3.3a, b: Shaversystem zur Anwendung bei arthroskopischen Schulteroperationen (fms, DePuy Mitek, Boston, USA). Handstück des Shavers (Tornado), der wie für Schultereingriffe empfehlenswert über eine Fußsteuerung betrieben wird (a). Oben: Shaveransatz (Ultra-Aggressive 5.0 mm) zur Weichteilresektion. Unten: Trommelfräse (4 mm) zur Knochenresektion (b).



a



b

Eine **spitze Fasszange** (Fadenrückholer) wird im weiteren Verlauf für das sorgfältige Fadenmanagement eingesetzt und ist hier unentbehrlich.

Unterschiedliche Ausführungen dieser Greifinstrumente sind hier von jedem Hersteller in verschiedenen Ausführungen erhältlich, alle erfüllen ihren Zweck (s. Abb. 3.4).

Instrumente zur Gewebepenetration bei Naht- und Refixationstechniken

Bei der arthroskopischen Anlage von Nähten sind grundsätzlich verschiedene Techniken je nach Vorliebe des Operateurs zu unterscheiden.

Nahtzangen

Siehe Abbildung 3.5

Zum einen besteht die Möglichkeit, die Sehnennähte unter Zuhilfenahme einer speziellen **Nahtzange** (EXPRESSEW, Scorpion, ElitePass) anzulegen. Ein Fadenende wird hierbei in spezieller Technik außerhalb des



Abb. 3.4: Greifinstrumente zum Fadenmanagement und Gewebefassen. Links: Fadenrückholzange. Rechts: KingFisher (jeweils Arthrex, Naples, USA)

Gelenks in die Nahtzange eingespannt, dann das Instrument in den Subakromialraum eingebracht und vor die präparierte Sehne platziert. Die Zange wird geöffnet und die Sehne gefasst, dabei lässt sich die Tiefe der Naht frei variieren, je nachdem, wie weit die Sehne nach medial gefasst wird. Ist die gewünschte Position gefunden, wird die Zange geschlossen und somit auf der Sehne fixiert. Nun wird über einen Mechanismus am Handgriff der Zange eine Nadel von kaudal nach kranial durch die Sehne befördert und hierdurch der vorher eingespannte Faden durch die Sehne transportiert. Hier kann der Faden nun entweder mit dem Fanghaken an der Zange selbst oder aber mit einer Fadenfazzange abgeholt und ausgeleitet werden. Nacheinander können so alle Fäden in individuell gewünschter Technik eingebracht werden.

Gerade bei erst beginnender Erfahrung mit der arthroskopischen Versorgung von Rotatorenmanschettenrupturen ist der Einsatz einer Nahtzange eine Erleichterung und daher aus unserer Sicht empfehlenswert.

Bei kleineren Rotatorenmanschettenläsionen kann die Verwendung einer Nahtzange ebenso Vorteile bringen, da das Vorlegen der Fäden mit sonstigen Fadenführinstrumenten durch einen kleinen Defekt mit wenig Sicht häufig erheblich erschwert ist.

Fadenführinstrumente

Siehe Abbildung 3.6. und 3.7

Ebenso ist es jedoch möglich, die Sehnennaht allein mit speziellen spitzen **Fadenführinstrumenten** durchzuführen. Mit diesen kann die Sehne penetriert und so der Faden eingebracht bzw. abgeholt werden. Hier steht inzwischen eine Vielzahl von Instrumenten in unterschiedlichen Ausführungen zur Verfügung (CleverHook, Sixter, BirdBeak, Penetrator, Sidewinder, Rhino). Das Prinzip besteht darin, dass mit einer Greiffunktion an der Spitze des Instruments der Faden gehalten werden kann und dann das Instrument mit Faden in gewünschter Position durch die Sehne gestochen wird oder aber der Faden auf einer Seite vorgelegt wird und nach Durchstechen der Sehne von der anderen Seite abgeholt wird. Mit dieser Technik entfällt das teilweise

umständliche Ein- und Ausfädeln der Nahtzange, ein sehr flexibles Setzen der Nähte ist möglich, aber der sichere und zügige Umgang mit solchen Instrumenten erfordert einige Übung und Erfahrung, zumal wenn die Sichtverhältnisse nicht immer optimal sind und das Manipulieren weiter erschweren können. Bei nicht sicherem Umgang mit diesen Instrumenten kann das zu bearbeitende Gewebe unnötig geschädigt werden, nur eine sehr saubere Technik kann ein möglichst atraumatisches Durchstechen von Gewebe und Manipulieren im Gewebe gewährleisten.

Die einzelnen Instrumente unterscheiden sich im Wesentlichen durch unterschiedliche Ausrichtungen der vorgegebenen Biegungen und Windungen im Arbeitsbereich an der Spitze des Instruments.

Individuelle Vorlieben oder Erfahrungen geben letztendlich den Ausschlag, welches Instrument für den einzelnen Operateur das angenehmste Handling zulässt.

Instrumente der 1. Generation sind im Prinzip simple spitze Greifinstrumente mit entweder geradem Verlauf (Penetrator) oder aber nach links oder rechts abgewinkelter Spitze (Sidewinder, BirdBeak). An der kranialen Seite befindet sich hier das Maul zum Öffnen und Greifen des Fadens.

Technisch deutlich ausgereifter sind die Instrumente der neuen Generation (CleverHook, Sixter), die einige Unterschiede aufweisen. Auch diese Instrumente sind in Links- und Rechts-Ausführung zu erhalten, die Spitze des Instruments ist aber nicht einfach gerade nach links oder rechts abgewinkelt, sondern helixartig nach links oder rechts geschwungen. Somit ist ein wesentlich runderes und atraumatischeres Penetrieren von Gewebe möglich. Durch eine Pro- oder Supinationsbewegung gleitet das Instrument besser durch das Gewebe, weniger Kraft wird auf das Gewebe ausgeübt.

Hier sind 2 unterschiedliche Windungstypen erhältlich, einerseits der CleverHook als Standardinstrument für die meisten Indikationen, wie z.B. bei der Rotatorenmanschettennaht, andererseits der Sixter, der eine ausgeprägtere Biegung seiner Spitze aufweist und sich hiermit z.B. beim Arbeiten auf engerem Raum, wie dem Umstechen des Labrums bei der Kapsel-Labrum-Refixation, anbietet.

Abb. 3.5a–c: Nahtzangen zum Fadentransport durch die Rotatorenmanschette. Diese wiederverwendbaren Geräte arbeiten mit einer flexiblen (*single use*) zentral im Instrument laufenden Perforationsnadel, die den Faden von kaudal nach kranial durch die Rotatorenmanschette schiebt: (a) EXPRESSEW II (DePuy Mitek, Boston, USA), (b) Endstück der EXPRESSEW, (c) Scorpion (Arthrex, Naples, USA).





Abb. 3.6: Abgewinkeltes Perforationsgerät zur Fadenpassage für Kapsel-Labrum- und Rotatorenmanschettengewebe (BirdBeak, Arthrex, Naples, USA).

Als weiterer Unterschied ist bei diesen Instrumenten das Maul zum Greifen des Nahtmaterials an der kaudalen Seite zu nennen. Auch dies gewährleistet ein wesentlich schonenderes Arbeiten, denn in den meisten Fällen wird Gewebe von kranial durchstochen, um den darunter positionierten Faden abzuholen, dies ist natürlich durch ein Maul auf der Unterseite des Instruments wesentlich sinnvoller und einfacher.

Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit, den Faden entweder an der Spitze nur wie in einer Öse eingefädelt zu lassen, wie bei den Instrumenten der 1. Generation, d.h., ein Gleiten des Fadens ist möglich. Andererseits ist es aber auch möglich, den Faden ganz an der Spitze des Greifmechanismus fest zu greifen, ohne dass ein Gleiten möglich ist, dies kann in einigen Situationen durchaus hilfreich sein, und man muss nicht auf ein anderes Greifinstrument wechseln.

Inzwischen haben sich in kurzer Zeit diese Instrumente der 2. Generation durchgesetzt, sodass nahezu



Abb. 3.7a–c: Speziell gebogene Perforationsinstrumente mit Fadengreiffunktion für die Rotatorenmanschettennaht (Clever-Hook, DePuy Mitek, Boston, USA). **Abb. 3.7a:** Es stehen ein 45° nach rechts (grün, unten in **Abb. 3.7a** und in **Abb. 3.7b** dargestellt) sowie ein 45° nach links (rot, oben in **Abb. 3.7a** und in **Abb. 3.7c** dargestellt) gebogenes Instrument zur Verfügung.



Abb. 3.8a, b: Spezielle Hohlnadeln zum Fadentransport durch Weichgewebe an Labrum und Rotatorenmanschette, die in unterschiedlicher Krümmung angeboten werden. Der Fadentransport erfolgt hier durch einen im Instrument laufenden Shuttle-Faden. (a) Oben: IDEAL Suture Shuttle (Einmalinstrument, DePuy Mitek, Boston, USA). Unten: Spectrum Suture Passer (mehrfach verwendbar, ConMed, USA). Endstück einer 45° nach rechts gebogenen Spectrum Suture Passer (b).



alle Anbieter von Schulterinstrumenten mehr oder weniger baugleiche geschwungene Instrumente vertreiben.

Shuttle-Systeme

Siehe Abbildung 3.8 und 3.9

Eine weitere Möglichkeit, Nähte anzulegen, besteht durch Penetrieren der Sehne mit einer Hohlnadel, über die dann ein Faden (PDS) vorgeschoben werden kann und mit diesem Faden wiederum der endgültige Nahtfaden durchgezogen (**Shuttle**) wird. Es stehen hier verschiedenen Nadeltypen in unterschiedlicher Stärke und mit unterschiedlichen Windungen und Richtungen von nahezu allen Anbietern zur Verfügung. Einerseits werden hier Einmalinstrumente angeboten, andererseits gibt es aber durchaus auch wiederverwendbare Systeme.

Der größte Vorteil dieser Technik ist das gewebeschonende Arbeiten ohne nötiges Manipulieren und Hebeln bei der Anlage einer Naht durch das Verwenden jeweils der Stichrichtung angepasster Nadeln. Der Nachteil besteht in dem zusätzlich erforderlichen Arbeitsschritt des Faden-Shuttles und dem nötigen Materialmehraufwand. Der Materialaufwand kann durch das Verwenden von wiederverwendbaren Systemen umgangen werden (Spectrum, ConMed).

Die Verwendung von Shuttle-Systemen bietet sich insbesondere bei eingeschränkter Weichteilqualität an, um die Manipulation am und im Gewebe zu minimieren und so möglichst wenig zusätzliche Gewebeschäden zu verursachen.

Aus unserer Erfahrung bietet sich die Verwendung gerade bei Kapsel-Labrum- und SLAP-Refixationen oder Kapselplikaturen an. Hier sind die Gewebeverhältnisse häufig problematisch, der Raum zum Manipulieren mit Instrumenten ist eingeschränkt, aber andererseits ist ein exaktes Arbeiten dringend erforderlich, sodass Shuttle-Systeme von wesentlichem Vorteil sein können.

Wir bevorzugen ein wiederverwendbares und variables Shuttle-System. Die Richtung der Nadel kann jederzeit durch Tauschen des Aufsatzes intraoperativ den Gegebenheiten angepasst werden. Dies scheint uns dringend sinnvoll zu sein, denn ist z.B. bei einer regulären Kapsel-Labrum-Refixation für eine rechte Schulter i.d.R. eine rechtsgebogene Nadel nötig, ist bei einer gleichzei-



Abb. 3.9: Kombination einer Hohlnadel mit direkter Greiffunktion für den Fadentransport (PATHSEEKER, DePuy Mitek, Boston, USA).

tig zu versorgenden SLAP-Refixation eine linksgebogene Nadel sinnvoll. Bei Verwendung von Einmalinstrumenten müssten demnach 2 Instrumente verbraucht werden, dies stellt, insbesondere bei einem recht hohen Preis der Einmalartikel, einen ganz erheblichen und unnötigen Kostenfaktor dar.

Hilfsinstrumente

Auch wenn sich knotenlose Ankersysteme immer mehr durchsetzen, ist ein sicheres und festes Knoten weiterhin von entscheidender Bedeutung für den Erfolg von verschiedenen Refixationstechniken.

Zum eigentlichen Knoten der vorgelegten Fäden bei Verwendung von Schraubankern besteht einerseits die Möglichkeit, auf einen Rutschknoten zurückzugreifen oder aber mithilfe eines **Knotenschiebers** (s. Abb. 3.10) zu arbeiten, indem sog. halbe Schläge in wechselnder Richtung nach intraartikulär transportiert werden. Individuelle Vorlieben sind hier für das gewählte Vorgehen entscheidend. Wir bevorzugen i.d.R. das Knoten mit dem Knotenschieber und wechselnden Schlägen und zusätzlichem Flippen der Knoten (s. Kap. 4).

Ein möglicher Nachteil des Rutschknotens ist aus unserer Sicht die größere Gewebetraumatisierung durch Säge-Effekte durch das nötige Einziehen des Knotens am gegenläufigen Fadenende. Größere Fadenstrecken müssen so durch teilweise ohnehin schon geschädigtes, degeneriertes Gewebe gezogen werden, eine weitere Traumatisierung scheint uns hier nicht immer sinnvoll zu sein.

Nützlich kann evtl. ein Rutschknoten beim Knoten ohne direkte Sicht sein, wie z.B. beim Intervallverschluss, allerdings ist bei genügender Erfahrung auch ein Knoten mit dem Knotenschieber ohne Sicht durchaus sicher möglich.

Es ist dringend empfehlenswert, verschieden Knotentechniken zu üben und zu beherrschen, um für alle Situationen gerüstet zu sein.

Arbeitskanülen

Siehe Abbildung 3.11

Aus verschiedenen Gründen kann die Verwendung von Arbeitskanülen sinnvoll sein.

Für das Fadenmanagement und insbesondere das je nach verwendetem Implantat evtl. notwendige Knoten kann insbesondere anfangs das Einbringen einer **Arbeitskanüle sinnvoll und erleichternd sein**. Ein komplikationsloses Knoten ohne störende Weichteilinterpositionen ist hierdurch u.U. leichter möglich. Auch ein leichteres Penetrieren der Zugänge durch die vorgegebene Richtung und sichere Öffnung ist am Anfang eine Erleichterung. Auf einen ausreichenden Durchmesser der Kanüle ist zu achten, um ein problemloses Arbeiten auch mit kräftigeren Instrumenten, wie bspw. einer Nahtzange, zu gewährleisten. Ein Durchmesser von 8,25 mm ist hierzu aus unserer Erfahrung ausreichend.

Auch für das Fluid Management ist die Verwendung von Arbeitskanülen, wie oben beschrieben, teilweise sehr sinnvoll. Unnötige Druckverluste können so verhindert werden und hierdurch möglichst gute Sichtverhältnisse durch geringere Blutungstendenz gewährleistet werden.

Fadenabschneider

Das Kürzen der Fadenenden erfolgt vorzugsweise mit einem **Fadenabschneider** (s. Abb. 3.12). Einerseits werden hier offene Systeme angeboten, bei denen die Fäden erst intraartikulär unter arthroskopischer Sicht aufgenommen werden, andererseits geschlossene Systeme, bei denen die Fadenenden außerhalb des Gelenks eingefädelt werden müssen, um dann das Instrument über den Faden in das Gelenk einzuführen und ihn schließlich abzuschneiden.

Bei guten Sichtverhältnissen scheinen die offenen Systeme problemlos anwendbar und vorteilhaft zu sein, da ein lästiges Einfädeln des Fadens entfällt.



Abb. 3.10: Knotenschieber mit geschlossener Öse zur Durchführung arthroskopischer Knotentechniken.

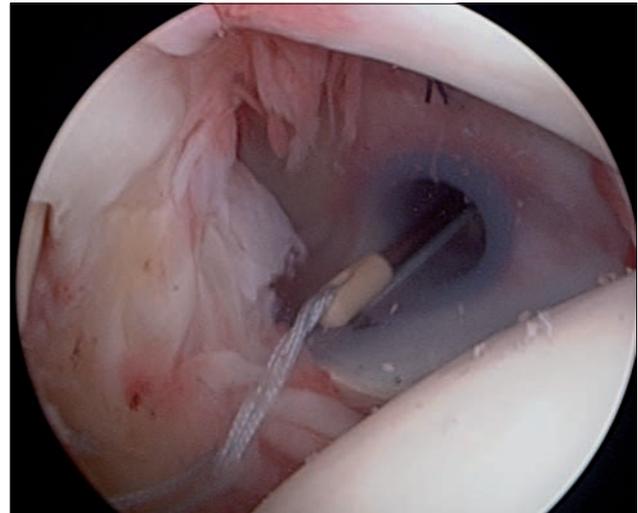


Abb. 3.11: Arbeitskanüle (*single use*) zur Erleichterung von Instrumenten- und Implantathandling bei arthroskopischen Schultereingriffen. Besonders vorteilhaft sind flexible Materialien (z.B. Silikon), die das umliegende Gewebe und Fadenmaterial nicht schädigen. Links: PassPort Cannula (Arthrex, Naples, USA). Rechts: intraartikuläres Bild bei einliegender PassPort-Kanüle.

Bei schlechter Übersicht kann jedoch ein geschlossener Fadenabschneider ohne frustantes Suchen eines Fadens u.U. sehr wertvoll sein.

chanische Stabilität der von anderen Fixationssystemen deutlich unterlegen ist.

Implantate

Lange Zeit war die operative Behandlung von Schulterverletzungen Domäne der offenen chirurgischen Verfahren. Zur Refixation des Kapsel-Labrum-Komplexes oder der Rotatorenmanschette wurden und werden teilweise auch noch heute transossäre Nähte über angelegte Knochenbrücken bevorzugt. Mit Beginn der arthroskopischen Therapie derartiger Weichteilverletzungen an der Schulter wurde ein neues Fixationskonzept notwendig. Arthroskopisch ist ein solches Vorgehen nur schwer umsetzbar. Aus dieser Situation heraus wurden zunehmend Implantate entwickelt, durch die sich Gewebe an den Knochen fixieren lässt.

Am Humeruskopf können Anker nach Vorkörnern (s. Abb. 3.13) meist direkt eingebracht werden, am Glenoid erfordert die Ankerinsertion meist die Verwendung von kanülierten Einbringhülsen (s. Abb. 3.14) nach vorheriger Knochenanfrischung (s. Abb. 3.15).

Tacs

Anfangs wurden als recht simple Lösung sog. Tacs verwendet. Sie funktionieren schrauben- oder nagelähnlich, wobei das zu fixierende Gewebe einfach penetriert wird und dann Implantat und Gewebe in den Knochen geschraubt oder geschlagen werden. Das Prinzip ist einfach, die Handhabung simpel, aber diese Systeme haben sich über die Zeit nicht bewährt, u.a. auch, weil die me-

Fadenanker

Rasche Verbreitung haben Fadenankersysteme gefunden. Die Handhabung ist arthroskopisch über lange Handstücke in allen Gelenkabschnitten problemlos, die biomechanische Stabilität sowohl für Maximalbelastung als auch für zyklische Belastung ist i.d.R. sehr hoch.

Prinzipiell ist zwischen den herkömmlichen Schraubankern (TWINFIX, Healix, Corkscrew, SPIRALOK, s. Abb. 3.16–3.18), knotenlosen, schraub- oder dübelähnlichen Ankern (PushLock, Bio-PushLock, Swivelock, KINSA, VERSALOK, s. Abb. 3.19–3.21) und erhältlichen kompletten Fixationssystemen (OPUS AutoCuff) zu unterscheiden.



Abb. 3.12: Spezieller arthroskopischer Fadenabschneider (Arthrex, Naples, USA) für spezielles reißfestes (Polyblend)-Fadenmaterial (z.B. FiberWire, ORTHOCORD, ULTRABRAID).



Abb. 3.13: Pfrieminstrumente und Gewindeschneider zum Vorkörnen bei Verwendung von resorbierbaren Fadenankern bei der arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion.



Abb. 3.14: Kanülierte Führungshülse bei der Einbringung von Fadenankern bei der arthroskopischen Schulterstabilisierung.

Schraubanker

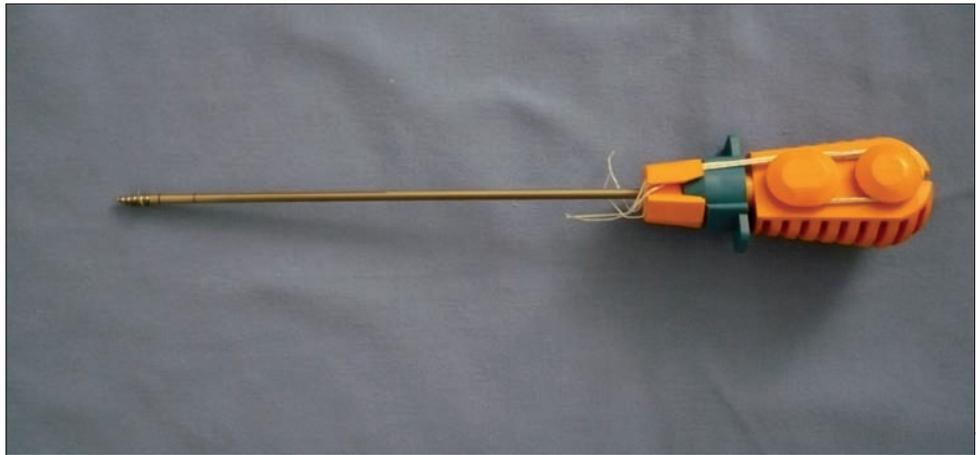
Nahezu alle Schraubanker sind inzwischen entweder in **Titan**, aus **bioresorbierbarem** Material oder vermehrt aus PEEK erhältlich. Die Verwendung richtet sich hier eher nach den Vorlieben des jeweiligen Operateurs, bei korrekter Anwendung sind die biomechanischen Eigenschaften bei allen Implantaten ohne wesentliche Unterschiede. Die Anker der verschiedenen Anbieter unterscheiden sich in Design, Windungsgröße und -anzahl, sind aber im Prinzip alle sehr ähnlich.

Unterschiedlich ist aber durchaus die Armierung der verschiedenen Anker, teilweise sind gleiche Anker auch mit unterschiedlichen Armierungen erhältlich, sodass hier eine genaue Prüfung durchaus sinnvoll erscheint.



Abb. 3.15: Bankart-Raspel zur Mobilisierung und Anfrischung bei der arthroskopischen Schulterstabilisierung.

Abb. 3.16a, b: Fadenanker aus Titan (TWINFIX 5.0 mm, Smith & Nephew, Boston, USA) zur arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion. Die Anker sind meist mit 2 oder 3 Fadenpaaren vorgeladen, die zentral im Insertionsinstrument verlaufen (a). Titananker sind selbstschneidend und können meist ohne Vorkörnen direkt in den Humeruskopf eingedreht werden (b).



a



b

Abb. 3.17: Bioresorbierbarer Anker (SPIRALOK 5.0 mm, DePuy Mitek, Boston, USA) zur arthroskopischen RM-Rekonstruktion. Bei resorbierbaren Materialien ist vor der Einbringung zunächst ein Ankörnen und ggf. Gewindefschneiden erforderlich (s. Abb. 3.13).

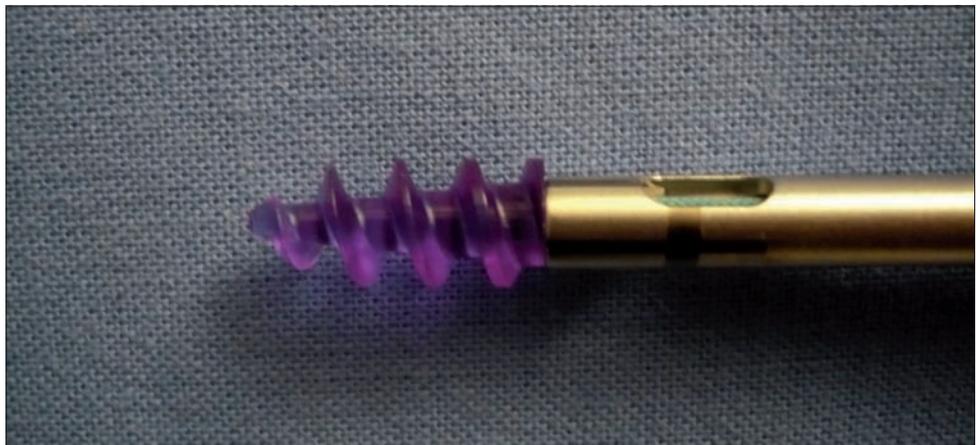


Abb. 3.18: Schraubanker aus PEEK (Polyetheretherketon) für die arthroskopische Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion (HEALIX 5,5 mm, DePuy Mitek, Boston, USA). Der nicht resorbierbare Anker weist 2 Gewinde unterschiedlicher Steigung auf und ist speziell zum Halt in weichem Knochengewebe konzipiert.





Abb. 3.19: Spezieller knotenloser Anker zur arthroskopischen Schulterstabilisierung (PushLock 3,5 mm, PEEK, Arthrex, Naples USA).



Abb. 3.20: Knotenloser Anker zur arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion, Kombination aus PEEK und Titan. Die Fixation des Fadens erfolgt durch Verklebung im Anker (VERSALOK, DePuy Mitek, Boston, USA).



Abb. 3.21: Knotenloser Anker zur arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion, Kombination aus PEEK und bioresorbierbarem PLLA (Poly-L-lactid-acid). Die Fixation des Fadens erfolgt durch Verklebung zwischen Anker und Knochen (Bio-SwiveLock, Arthrex, Naples, USA).

Es gibt **einfach** und **doppelt armierte** Nahtanker. Während bei der Rekonstruktion der Rotatorenmanschette überwiegend doppelt armierte Anker üblich und sinnvoll sind, sind bei der Kapsel-Labrum-Refixation teilweise einfach armierte Anker sicherlich ausreichend.

Viel entscheidender ist aber aus unserer Sicht die Wahl des **Fadenmaterials**, denn auch hier werden teilweise unterschiedliche Varianten angeboten.

Die Fäden der neueren Generation (ORTHOCORD, FiberWire, Fiber Tape, ULTRABRAID, Herculine) haben sich in Halte- und Widerstandskraft in verschiedenen Studien im Vergleich zu den herkömmlichen Fäden als weit überlegen gezeigt, und ihre Verwendung scheint somit für eine dauerhaft stabile Fixierung dringend empfehlenswert zu sein. Dabei ist der Unterschied zwischen den einzelnen Fäden der neuesten Generation wiederum nur sehr gering. Die biomechanische Stabilität ist bei allen Produkten vergleichbar gut. Unterschiede gibt es eher bei der Verarbeitung der Fäden, da die Struktur und die Festigkeit teilweise unterschiedlich und somit spürbar sind. Knotet sich ein ORTHOCORD oder ULTRABRAID eher weich, lässt sich ein FiberWire eher etwas härter und grober kneten, da der Faden deutlicher rigider und von der Oberfläche glatter ist.

Titananker haben den Vorteil, dass sie ohne Ankörnen oder Vorbohren direkt in den Knochen eingebracht werden können und man somit einen Arbeitsschritt spart. Ein weiterer Vorteil kann die Darstellbarkeit im konventionellen Röntgenbild sein. So kann bei einer Röntgenkontrolle bei auffälligem postoperativem Verlauf eine evtl. Ankerfehlplatzierung oder -dislokation rasch erkannt werden.

Als nachteilig ist dagegen die Artefaktbildung bei der Kernspintomographie (MRT) zu nennen, die teilweise zu Interpretationsschwierigkeiten führen kann.

Bei den bioresorbierbaren und bei den PEEK-Implantaten verhält sich dies genau umgekehrt, im konventionellen Röntgen stellen sie sich nicht dar, sodass ein Röntgenbild meist nicht wirklich weiterhilft, in der MRT kommt es zu kaum Artefaktbildung und guter Darstellbarkeit der postoperativen Situation.

Sinnvoll erscheint uns, immer ein Revisionsimplantat zur Verfügung zu halten. Die standardmäßig verwendeten Schraubanker haben einen Durchmesser von 5,0 mm. Nahezu alle Firmen bieten inzwischen auch Schraubanker in der Größe 6,5 mm an. Bei schlechter Knochenqualität kann es durchaus zur Dislokation des eingebrachten Ankers kommen. Einerseits macht sich dies u.U. bereits beim Eindrehen des Ankers und fehlenden Widerstand bemerkbar, andererseits sollte jeder Anker nach dem Eindrehen durch Zug an den Fäden auf Festigkeit überprüft werden. Zeigt also ein standardmäßig eingebrachter Anker (5,0 mm) keinen ausreichenden Halt, sollte ein größerer Schraubanker (6,5 mm) verwendet werden (TWINFIX 6,5 mm, SPIRALOK 6,5 mm, Bio-Corkscrew FT). Durch diese Implantate gelingt regelhaft auch bei schlechter Knochenqualität eine feste Verankerung.

Knotenlose Anker

Zunehmend drängen knotenlose Ankersysteme auf den Markt. Das Prinzip dieser Fixierung ist bei den verschiedenen Anbietern ähnlich, das Fadenmaterial wird mit einem dübelartigen Implantat im Knochenkanal verklemmt, ein Knoten der Fäden ist nicht mehr nötig, nach vollständigem Einschlagen oder Versenken des Implantats werden die Fadenenden lediglich über dem Anker abgeschnitten.

Auch in biomechanischen Tests konnten diese Implantate überzeugen und gewährleisten demnach eine ebenso sichere Fixation wie Schraubanker.

Knotenlose Anker setzen sich sowohl bei der Kapsel-Labrum- als auch bei der Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion immer mehr durch. Dies liegt nicht zuletzt an der sehr einfachen und sicheren Handhabung und dem Wegfall des nicht für jeden ganz einfachen arthroskopischen Knotens. Ein weiterer Vorteil besteht eben gerade darin, dass nämlich kein Fadenknoten entsteht und somit im Verlauf stören kann. Es gilt als unumstritten, dass überstehende Knoten über den Nahtankern durchaus störend sein können und teilweise lange mechanische Phänomene im Sinne eines Schnappens im Subakromialraum verursachen können. Durch das Verwenden von knotenlosen Ankern wird dieses Problem elegant umgangen.

Ein weiterer positiver Effekt besteht darin, dass durch das Eintreiben des Implantats zunehmend Zug auf das Gewebe ausgeübt wird und somit z.B. bei der Rotatorenmanschettennaht die Sehne schrittweise ge-

spannt und dem *footprint* angenähert wird. Dies kann gerade bei Defekten, die sich nur unter gewisser Spannung rekonstruieren lassen, durchaus ein großer Vorteil sein. Das arthroskopische Knoten einer Sehne unter Spannung kann problematisch und schwierig sein.

Dabei ermöglichen einige Verankerungssysteme (AutoCuff, VERSALOK) ein regelrechtes dosiertes Nachspannen der Sehne. Bevor der Anker endgültig arretiert wird, kann über einen Radmechanismus schrittweise Spannung auf die Naht ausgeübt werden und somit die Sehne weiter nach lateral an den *footprint* angenähert werden. Eine noch optimalere Reposition der Sehne ist so möglich und scheint uns eine sehr sinnvolle und elegante Möglichkeit einer Nachjustierung zu sein.

Als Nachteil der knotenlosen Anker ist zu bemerken, dass ein Knochenkanal zum Versenken des Implantats vorbereitet werden muss, je nach Implantat wird hier vorgebohrt oder ein spezieller Pfriem in den Knochen eingeschlagen.

Etwas Erfahrung und Gefühl verlangt am Anfang das Einbringen der Anker. Die Festigkeit der Fixierung wird, zumindest bei den nicht nachspannbaren Implantaten, dadurch bestimmt, wie gut man die Sehne vorspannt, bevor man den Anker eintreibt, d.h., wie fest man an den Fadenenden zieht. Aus unserer Erfahrung sollte unter mäßigem, aber spürbarem Zug der Sehnenrand an den Ort der gewünschten Fixierung angenähert werden und dann mit dem Einschlagen des Implantats begonnen werden. Mit dem Vorantreiben des Ankers gelingt dann i.d.R. ein vollständiges nahezu anatomisches Bedecken des *footprint*.

Inzwischen haben sich durch die Verwendung von knotenlosen Ankern eigene Fixationstechniken entwickelt. Unbestritten hat sich inzwischen bei der Rekonstruktion der Rotatorenmanschette eine Versorgung in *double-row*-Technik durchgesetzt und bewährt. Eine solche Technik unter Verwendung von knotenlosen Ankern für die laterale Reihe stellt die sog. *suture-bridge* dar. Als mediale Reihe werden hier konventionelle Schraubanker verwendet, die Fäden werden verknotet und nicht abgeschnitten. Die Fäden werden dann über knotenlose Anker im Sinne einer lateralen Reihe an den Knochen fixiert und pressen somit die Sehne über die ganze Fläche des *footprint* an. Erst dann werden die Fäden über der lateralen Reihe abgeschnitten. Aus unserer Erfahrung verbindet diese Technik viele Vorteile miteinander und gewährleistet aus unserer Sicht aktuell die wahrscheinlich stabilste und überzeugendste Fixierung.

Ein spezielles knotenloses Fixationssystem stellt das OPUS AutoCuff dar. Das Prinzip ist wiederum ähnlich, die Fäden werden dübelartig verklemmt. Über ein pistolenartiges, recht massives Handstück werden die Fadenenden an der Spitze des Instruments eingefädelt, dann wird das Instrument in das Gelenk und in den vorberei-

teten Knochenkanal eingebracht. Über ein erstes Betätigen eines Abzugs wird dann der Anker platziert. Nun lässt sich über einen Radmechanismus schrittweise Spannung auf die Naht und somit auf die Sehne ausüben, bis die gewünschte Position über dem *footprint* erreicht ist. Erst dann wird erneut mehrmals der Abzug betätigt, sodass der Anker die endgültige Position erreicht und die Fäden sicher verklemmt.

Ein Vorteil dieses Systems besteht sicher in der Möglichkeit des individuellen Nachspannens der Fäden bei schon liegendem Anker.

Nachteilig ist aus unserer Erfahrung das doch sehr massive und damit etwas unhandliche Design, nicht zuletzt begründet durch die ausgeklügelte inliegende Technik. Auch die nötigen, verschiedenen Arbeitsschritte an dem System selbst, vom Einbringen bis zum letztendlichen endgültigen Verklemmen der Fäden durch den Anker, sind zumindest am Anfang gewöhnungsbedürftig.

Waren diese Systeme anfangs deutlich teurer als andere Verankerungssysteme, sind die Preise inzwischen angeglichen und durchaus vergleichbar. War anfangs das benötigte Nahtmaterial nur in Verbindung mit der dazugehörigen Einmalnahtzange erhältlich, gibt es inzwischen sowohl das Nahtmaterial selbst als einzelnen Faden als auch Schraubanker mit entsprechender Armierung, sodass auch eine Refixation in *suture-bridge*-Technik problemlos möglich ist.

4 Arthroskopische Knotentechnik

J. D. Agneskirchner, S. Friedmann

Einleitung

Die arthroskopische Technik der Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion setzt sich im Vergleich zum offenen Vorgehen immer mehr durch, sodass versierte arthroskopische Chirurgen mittlerweile nicht mehr nur kleine, nicht retrahierte Rupturen, sondern zunehmend auch größere, retrahiertere Rupturen arthroskopisch rekonstruieren.

Bei aller Euphorie um die schnelle Verbreitung dieser speziellen arthroskopischen Operationstechnik darf nicht vergessen werden, dass es sich grundsätzlich um eine anspruchsvolle und komplexe Prozedur handelt, die dem Operateur neben einem grundlegenden Verständnis für die Indikationsstellung und die unterschiedlichen Läsionstypen ein hohes technisches Können abverlangt. Hierzu gehören neben der Fähigkeit zur raschen Schaffung einer guten Übersicht im Subakromialraum und der Kontrolle von Blutungen insbesondere das Handling der speziellen Instrumente zum Faden-transport und die absolut sichere Beherrschung arthroskopisch geknüpfter Knoten. Trotz der Tatsache, dass bzw. gerade weil knotenlose Refixationssysteme auch für die Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion zunehmend entwickelt und verbreitet werden, muss jeder Chirurg, der rekonstruktive Prozeduren insbesondere an der Schulter durchführt, stabile arthroskopische Knoten sicher und zügig anlegen können, da sich die knotenlosen Systeme noch nicht für alle Läsionstypen und Rekonstruktionstechniken eignen bzw. teilweise auch noch zu fehleranfällig sind.

Dieses Kapitel soll eine Übersicht über die heutige Technologie der Knotentechnik bei der arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion geben.

Instrumentelle Voraussetzungen zum Knoten

Fadenmaterial

Die Verwendung von stabilem und gut gleitendem Fadenmaterial ist eine wichtige Voraussetzung für sichere und feste arthroskopische Knoten. Noch vor wenigen Jahren, als die neue reißfeste Fadengeneration noch nicht verfügbar war und die Fadenanker noch mit Ethibond oder gar PDS von der Industrie geliefert wurden,

waren Fadenrisse im Zuge des arthroskopischen Knotens auch bei richtiger Knotentechnik häufig nicht vermeidbar und führten zu erheblicher Frustration und wahrscheinlich auch zu schlechteren Operationsergebnissen. Mit der Entwicklung der neuen speziellen reißfesten Fadengeneration, zunächst des FiberWire (Arthrex), später anderer Fäden (ULTRABRAID, Smith & Nephew, ORTHOCORD, DePuy Mitek) hat sich das Problem des Fadenrisses heute drastisch reduziert. Die Fäden sind so stabil, dass der Operateur heute sogar eher dazu neigt, die Knoten zu fest zuzuziehen. Im Hinblick darauf muss gerade an der Rotatorenmanschette darauf geachtet werden, die Knoten trotz der festen Fäden nur so weit zusammenzuziehen, bis die Adaptation des gefassten Gewebes an den Knochen stattgefunden hat. Es muss vermieden werden, dass durch sehr starkes Ziehen an den Fadenenden beim Knoten das Sehngewebe stranguliert oder gar zerrissen wird.

Es sollte i.Allg. geflochtenes, nicht resorbierbares Fadenmaterial der Stärke 2, wie es standardmäßig in nahezu allen gängigen Refixationssystemen für die Rotatorenmanschette vorhanden ist, verwendet werden. Dünnere Fäden (z.B. 2–0) tragen zwar wahrscheinlich im Subakromialraum weniger auf, weisen aber eine deutlich schlechtere Reißfestigkeit und vermutlich auch ein höheres Risiko zum Durchschneiden der Fäden aus der Rotatorenmanschette auf.

Subjektiv scheinen weichere Fäden (ULTRABRAID oder ORTHOCORD) gegenüber dem harten FiberWire leichte Vorteile zu haben, da sie bei vergleichbaren Werten bez. Reißfestigkeit und Steifigkeit im Handling für den Operateur angenehmer sind, d.h. zu weniger Einschneiden in die Finger des Operateurs während des Festziehens der Knoten führen. Im eigenen Vorgehen hat sich diese geringere Aggressivität der weicheren Fäden auch im Hinblick auf die Stabilität der Naht in etwas brüchigeren Gewebsanteilen der Rotatorenmanschette als vorteilhaft erwiesen.

Fadenholinstrument

Der Fadenholer ist neben dem jeweiligen Instrument zum Fadentransport durch die Sehne und dem arthroskopischen Knotenschieber das bei der arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion wichtigste



Abb. 4.1: Spitz zulaufender Fadenrückholer (Arthrex), wie er sich ideal für Faden- und Knotenmanagement eignet.

te und am häufigsten benutzte Instrument. Im Hinblick auf das arthroskopische Knoten dient das Instrument zum Ausleiten der im nächsten Schritt zu verknotenden Fadenenden. Es kann entweder ein gebogener Haken (*crochet hook*), ähnlich einer Häkelnadel, oder besser noch eine Fadenrückholzange (*suture retriever*) verwendet werden. Die Instrumente der verschiedenen Anbieter unterscheiden sich hierbei nicht wesentlich, wobei im eigenen Vorgehen der Fadenrückholer der Fa. Arthrex (s. Abb. 4.1) auch in seiner Variante mit Sehnen-greiffunktion (KingFisher) sich als besonders vorteilhaft erwiesen hat, da er durch ein spitz zulaufendes Ende sehr leicht auch durch kleinste Portale ohne Arbeitskanüle eingeführt werden kann, und Fäden, die sich inmitten eines Gewirrs anderer Fadenenden befinden, leicht und zuverlässig herausgefischt und zum Knoten ausgeleitet werden können.

Knotenschieber

Die meisten arthroskopischen Knoten erfordern ein Instrument, mit dem extraartikulär vorgelegte Knoten oder Halbschläge ins Gelenk bzw. den Subakromialraum transportiert werden können. Die einfachste und mit Abstand verbreitetste Variante ist hierbei eine einfache

geschlossene Metallöse am Ende eines dünnen Metallschafts. Am anderen Ende befindet sich ein Metallring, durch den der Operateur z.B. den Daumen führen kann und damit dosiert Zug auf das im Instrument befindliche Fadenende ausüben kann (s. Abb. 4.2). Durch die Öse wird ein Fadenende gefädelt und der Knoten wird entweder durch direktes Schieben eines gesamten vorgelegten Knotens (*Rutschknoten, sliding knot*) oder durch Hineinfädeln einer einzeln vorgelegten Halbschlinge (*half hitch, non-sliding knot*) transportiert.

Dieser Knotenschieber, der in nahezu identischer Bauweise von den meisten Firmen erhältlich ist, existiert auch in einigen Varianten, z.B. mit einem kleinen Schlitz in der endständigen Öse, die ein seitliches Einfädeln des Fadens ermöglicht, oder sogar mit einem Mechanismus zum Abschneiden des Fadens nach dem Knoten.

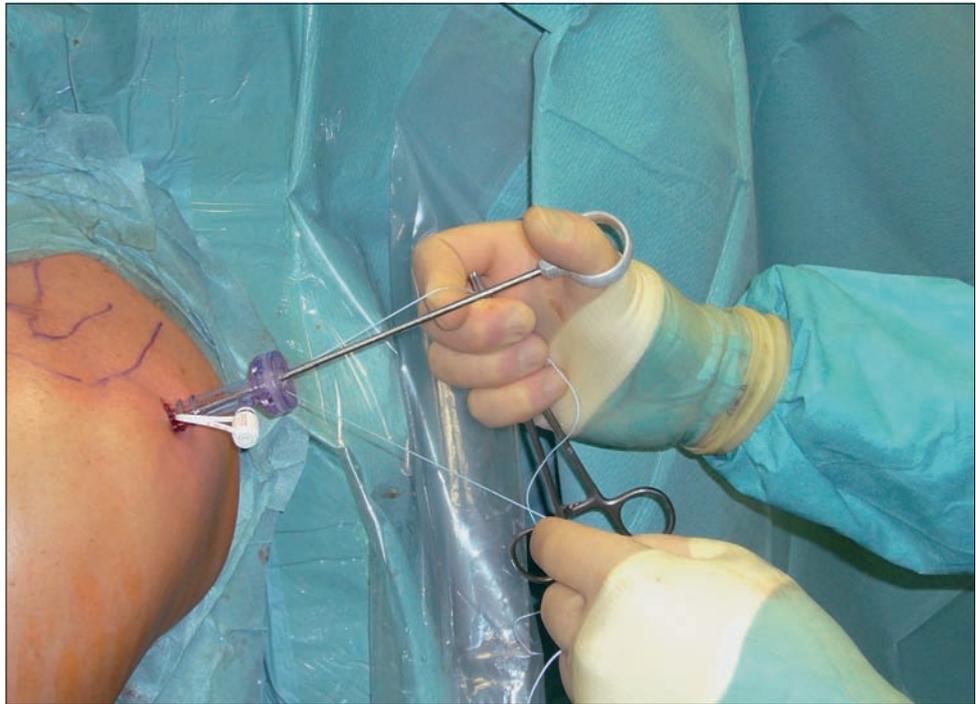
Wegen ihrer Einfachheit sind diese Knotenschieber im Vergleich zu anderen arthroskopischen Instrumenten oder Implantaten relativ preisgünstig (ca. 100–200 €). Sie sind unbegrenzt wiederverwendbar, sterilisierbar und bei sorgsamem Umgang quasi unverwundlich.



Abb. 4.2a, b: Einfacher, wiederverwendbarer Knotenschieber (Smith & Nephew) mit geschlossener Metallöse am Ende zur universellen Verwendung beim arthroskopischen Knoten.



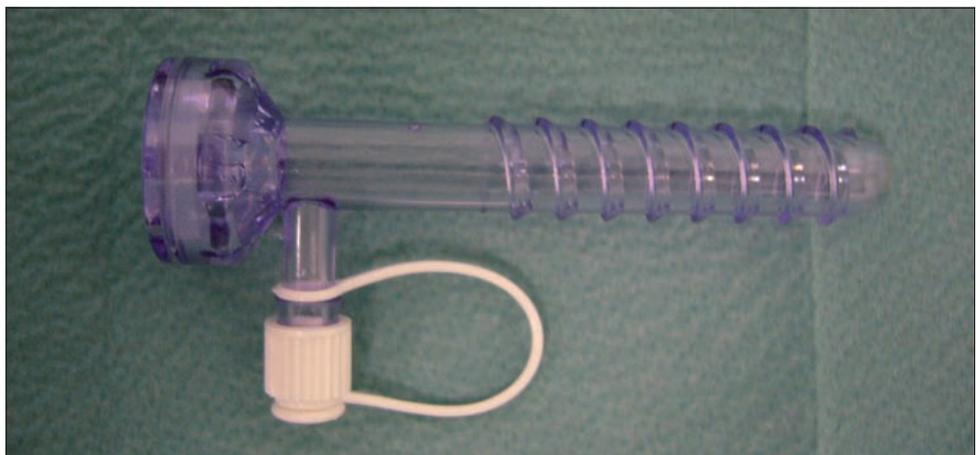
Abb. 4.3: Bei Verwendung eines einfachen Knotenschiebers wird der Daumen durch den dafür vorgesehenen Ring des Instruments geführt. Das im Knotenschieber befindliche Fadenende wird mit einem Klemmchen gefasst, das in der gleichen Hand geführt wird.



Klemmchen bzw. Nadelhalter

Bei vielen Knotentechniken, z.B. denen, die mit einem einfachen Ösenschieber arbeiten, sollte das Fadenende, das durch den Knotenschieber geführt ist, mit einem einfachen Instrument angeklammert werden, da sich das Handling und die Spannung des Fadens mit der Hand, die gleichzeitig den Knotenschieber halten muss, so leichter kontrollieren lassen (s. Abb. 4.3). Es sollte hierbei ein Instrument verwendet werden, das den Faden ohne scharfe Zähne, aber trotzdem stabil festklemmt (z.B. einfacher Nadelhalter), da beim Packen des Fadens mit scharfen Metallkanten sonst – selbst bei den neuen reißfesten Fäden – Fadenrisse während des Knotens auftreten können.

Abb. 4.4: Transparente Arbeitskanüle (Durchmesser 8,25 mm, Arthrex)



Arbeitskanülen

Die Verwendung von Arbeitskanülen (s. Abb. 4.4) beim arthroskopischen Knoten an der Schulter minimiert die Gefahr der Interposition von Weichteilen, z.B. Bursa oder Kapsel, im Zuge des Einschlebens des Knotens. Vorteilhaft sind durchsichtige Arbeitskanülen (Einmalmaterial), da bei schlechteren Sichtverhältnissen das Finden und Manipulieren von Fadenenden gelegentlich dann etwas leichter fallen. Vielfach wird aber gerade von geübteren Operateuren auf Arbeitskanülen verzichtet, da die Gefahr der Weichteilinterposition durch gleichzeitiges Greifen und Ausleiten **beider** zusammengehöriger Fadenenden vor dem Knoten ausgeschaltet werden kann [1]. Zudem schränken die Arbeitskanülen den ohnehin gelegentlich knappen Arbeitsraum bei subakromialen Prozeduren, wie der RM-Naht, weiter ein und können sogar zu Fadenschäden führen, wenn die Fäden an den scharfen Kanülenenden wiederholt scheuern.

Allgemeines zu arthroskopischen Knoten

Grundsätzlich existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Knoten, die bei arthroskopischen Prozeduren an der Schulter beschrieben worden sind und prinzipiell eingesetzt werden können. Das auf den ersten Blick offensichtliche Problem des arthroskopischen Knotens ist, in der Tiefe und Enge der Schulter ausschließlich durch ein kleines Arbeitsportal und ohne die gewohnte manuelle Kontrolle einen festen Knoten zu produzieren.

Gleitende (*sliding*) vs. nicht gleitende (*non-sliding*) Knoten

Die grundsätzliche Idee zur Lösung dieses Problems ist es, zunächst außerhalb des Gelenks und der eigentlichen Refixationsstelle einen speziell konfigurierten Knoten vorzulegen, der dann von außen nach innen in die Tiefe zur eigentlichen Nahtstelle gezogen werden kann. Diese Idee ist in den Rutschknoten (*sliding knots*) umgesetzt. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Rutschknoten, die letztlich meist aus der Bergsteigerszene oder der Schifffahrt stammen und sich mehr oder weniger unterscheiden. Das gemeinsame Prinzip aller dieser Knoten ist, dass durch Ziehen an einem Fadenende (*post*) mit oder ohne Zuhilfenahme eines einfachen Knotenschiebers ein vorgelegter Knoten durch das Arbeitsportal zur Refixationsstelle, z.B. zum Fadenanker, gezogen wird. Einer der ersten verwendeten Knoten dieser Art, teilweise bis heute im Gebrauch, ist der klassische Henkerknoten (*hangman's knot*), dessen Schlinge sich von selbst bei Zug an einem Ende des Seils bzw. Fadens zuzieht.

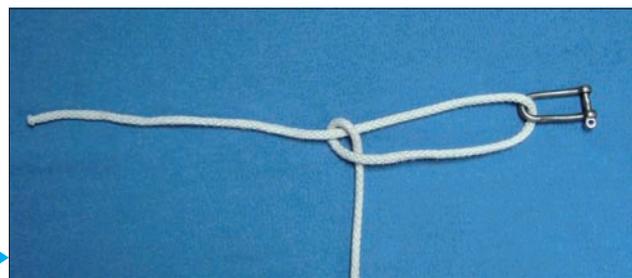
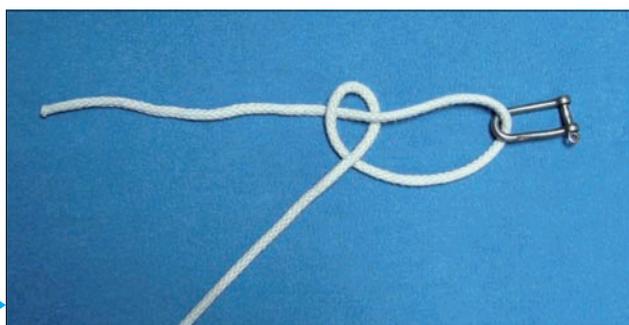


Abb. 4.5a, b: Einfache Halbschläge (*half hitches*): Die *loop* ist entweder oberhalb (a) oder unterhalb (b) um den *post* herumgeschlungen.

Voraussetzung für die Verwendung all dieser *sliding knots* ist, dass der Faden nach dem Durchstechen des Gewebes frei in Ankeröse und Gewebe gleiten kann. Ist durch irgendeinen Umstand, z.B. ein Verblocken eines Fadens durch sich selbst oder einen anderen Faden, das Gleiten nicht mehr möglich, kann kein Rutschknoten mehr verwendet werden, was der Hauptnachteil dieser Knoten ist.

In diesem Fall muss ein nicht gleitender Knoten (*non-sliding knot*) verwendet werden, der das feste Zuziehen der Knotenschlinge und damit das stabile Adaptieren des Gewebes erlaubt, ohne dass der Faden im Anker bzw. in der Nahtstelle im Gewebe gleiten muss. Diese *non-sliding knots* funktionieren daher so, dass einzelne Halbschlingen (*half hitches*, s. Abb. 4.5) in einer bestimmten Konfiguration sukzessive wie beim offenen Knoten einzeln gelegt werden und dann in der Summe den gesamten Knoten ergeben. Der Vorteil dieser Knoten ist, dass sie, unabhängig von der Gleitfähigkeit der vorgelegten Naht, immer funktionieren, z.B. auch bei komplizierteren vorgelegten Nähten (z.B. *lasso-loop stitch* [6]), die sich bei Zug an einem Fadenende in sich selbst verblocken und bei denen *sliding knots* kontraindiziert sind.

Post und loop

Die Begriffe *post* und *loop* tauchen bei allen Beschreibungen und Anleitungen zu arthroskopischen Knoten auf. Deren Kenntnis ist für ein grundlegendes Verständnis arthroskopischer Knoten unentbehrlich. *Post* (Steg) und *loop* (Schlaufe) bezeichnen jeweils die beiden Fadenenden, mit denen der Knoten angefertigt wird, wobei *post* das gestreckte Fadenende und *loop* das um den *post* herumgeführte Fadenende darstellt (s. Abb. 4.5 und 4.6). Im einfachsten Fall ist die *loop* eine einfache Halbschlinge, die um den *post* einmal herumgeschlungen ist. Bei komplizierteren Fadenanordnungen, z.B. Rutschknoten, heißt das Fadenende, entlang dem die vorgelegte Fadenkonfiguration beim Zuziehen des Knotens gleitet, ebenfalls *post*.

Rutschknoten bilden durch einfachen Zug an einem Fadenende (*post*) eine sich selbst zuziehende Schlinge. Bei Zug am anderen Fadenende bzw. beim Lockerlassen der *post* lockern sich diese Knoten wieder. Dies ist neben dem normalerweise größeren Volumen des Knotens im Vergleich zum *non-sliding knot* ein wesentlicher Nachteil der meisten Rutschknoten. Wegen dieser Tendenz zur Lockerung müssen die Rutschknoten nach dem Festziehen des primär vorgelegten Knotens durch nachträglich einzeln vorgeschobene Halbschläge gegen Auslockern gesichert werden (z.B. *hangman's knot*, *Duncan loop*, *fischerman's knot*).

Es ist wichtig zu verstehen, dass *post* und *loop* bei einzelnen vorgeschobenen Halbschlingen durch wechselseitigen Zug an den Fadenenden jeweils beliebig getauscht werden können (s. Abb. 4.6). Wird zunächst bspw. an einem straffen Ende (*post*) eine lockere Halbschlinge (*loop*) entlanggeschoben, kann durch Ziehen an der *loop* und gleichzeitiges Lockerlassen am *post* (*switch post*) die Halbschlinge so umschnappen, dass der ehemalige *post* zur *loop* und die *loop* zum *post* wird. Das Verblocken eines Knotens folgt letztlich immer dem Prinzip des wechselseitigen Austauschs von *post* und *loop* und ist daher die Basis der Stabilität der meisten Knoten.

Es ist empfehlenswert für jeden, der arthroskopische Knoten übt und anwenden möchte, dieses grundlegende Prinzip jedes Knotens, d.h. das Verblocken durch Wechseln von *post* und *loop*, zu verstehen und an einem einfachen Modell, z.B. mit einer dünnen Kordel an einer Metallöse, ohne arthroskopische Instrumente, nachzuvollziehen.

Richtung des Knotens (*overhand-* bzw. *underhand-Knoten*)

Ein weiteres grundsätzliches Merkmal jedes Knotens ist die Anordnung der beiden Fadenenden zueinander in Bezug auf ihre Richtung. Dieses Prinzip ist jedem vom offenen chirurgischen Knoten her bekannt und basiert darauf, dass das Fadenende der Halbschlinge (*loop*) entweder oberhalb oder unterhalb des anderen Fadenendes (*post*) herumgeführt werden kann. Beim einhändigen chirurgischen Knoten wird dies im sog. *underhand-* (s. Abb. 4.7a) oder *overhand-*Knoten (s. Abb. 4.7b) sichtbar, wo ein Fadenende oberhalb oder unterhalb des anderen Fadenendes geführt wird.

Für die Stabilität des gesamten Knotens ist diese Richtung der Fadenführung deutlich weniger wichtig

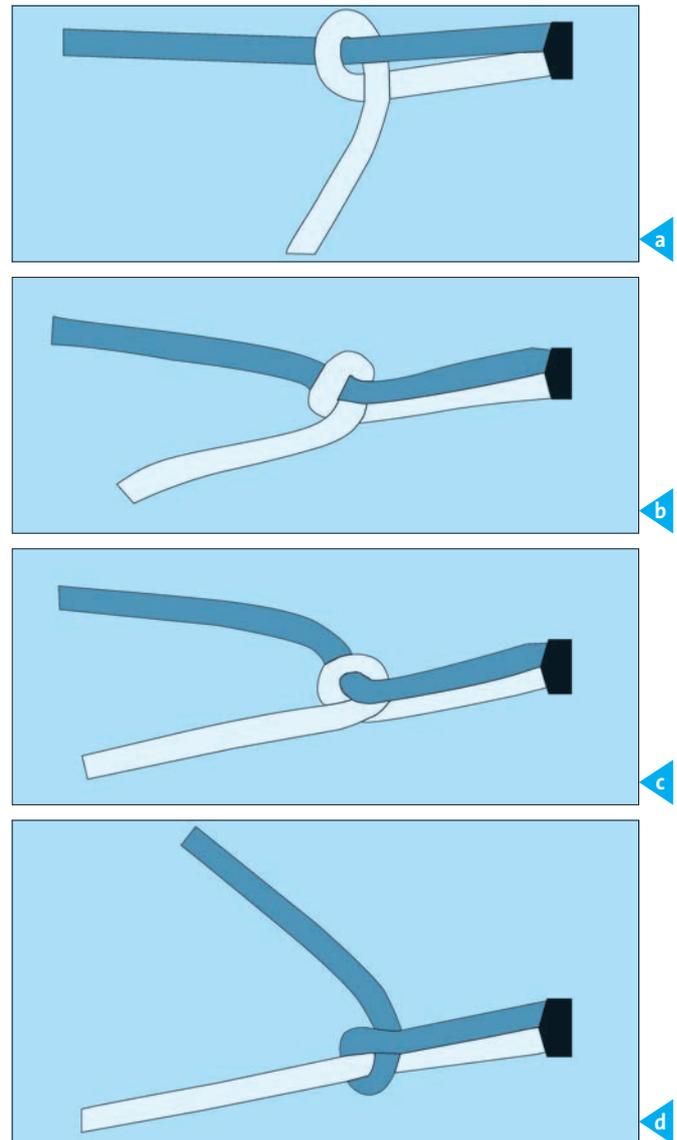


Abb. 4.6a–d: Prinzip des einfachen Wechsels zwischen *post* und *loop* durch simplen Wechsel der Spannung zwischen 2 Fadenenden. Wird ein straffes *post*-Ende (a) gelockert und gleichzeitig am anderen Ende (*loop*) gezogen (b, c), schnappt die Halbschlinge so um, dass aus dem *post* die *loop* und umgekehrt (d) wird.

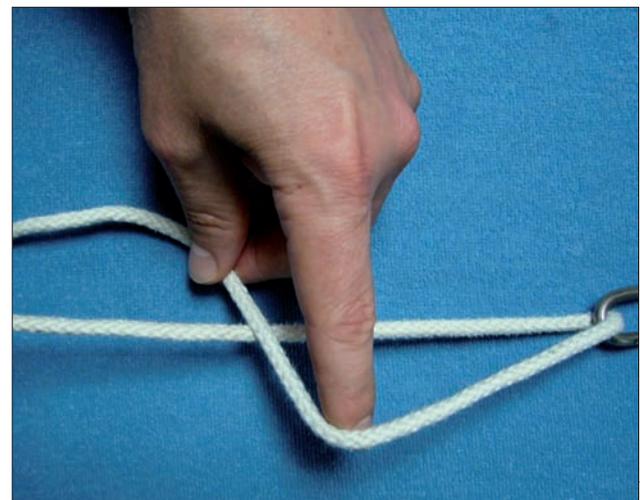
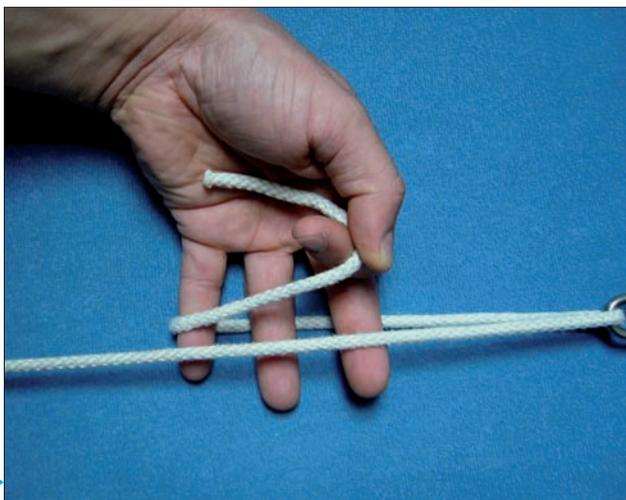


Abb. 4.7a, b: Prinzip des einhändigen Anlegens einer Halbschlinge um einen *post*. Beim *underhand* (a) wird die *loop* unterhalb des *post* geführt, beim *overhand* (b) oberhalb des *post*.

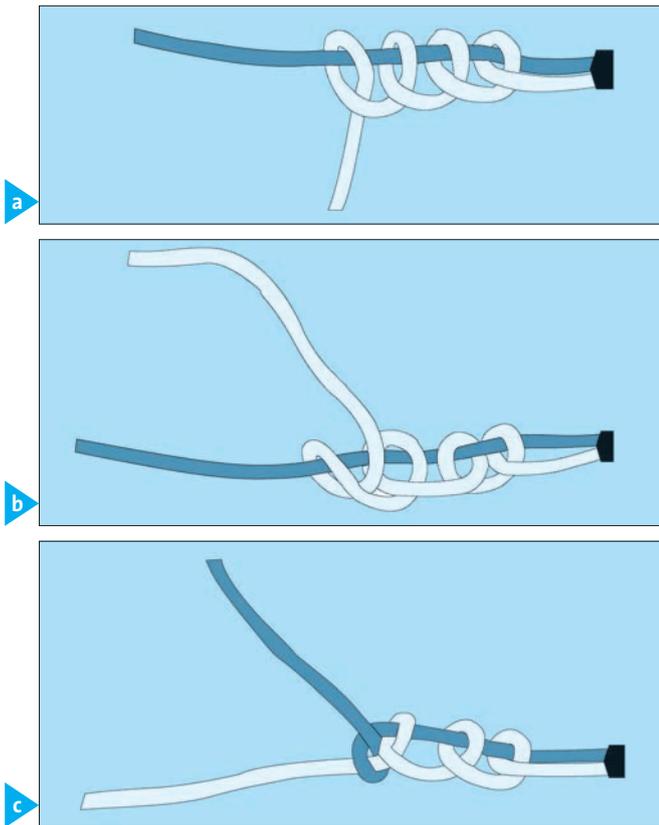


Abb. 4.8a–c: 4 Halbschläge sind in gleicher Richtung um einen identischen *post* herumgeschlungen, der Knoten ist nicht verblockt und kann sich wieder lockern (a). 4 Halbschläge sind in jeweils gegenläufiger Richtung um einen identischen *post* herumgeschlungen, der Knoten ist nicht verblockt und kann sich wieder lockern (b). Der *post* wechselt im letzten Halbschlag bei 4 in gleicher Richtung angelegten Halbschlingen, der Knoten ist hierdurch verblockt und kann sich nicht wieder lockern (c).

als das Prinzip der Kippung der beiden Fäden zueinander (Wechsel von *post* und *loop*), da selbst eine große Anzahl von Halbschlingen in jeweils wechselnder Richtung (*underhand* oder *overhand*) um einen einzigen *post* keinen stabilen Knoten ergibt (s. Abb. 4.8a, b). Der Knoten kann solange entlang dem einzigen *post* rutschen,

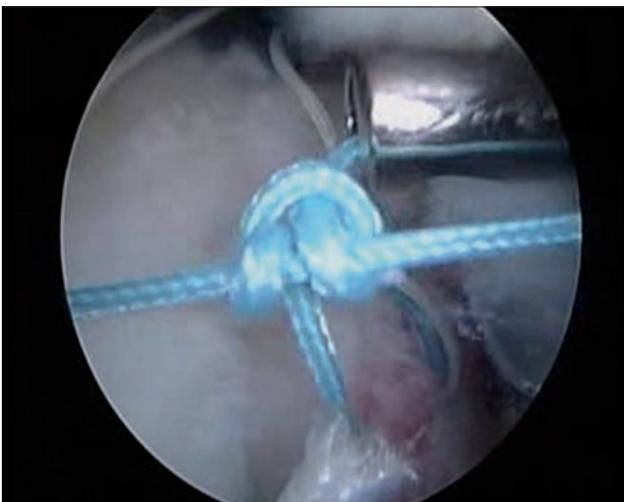


Abb. 4.9: Das Spannen der um das Gewebe angelegten Nahtschleife wird durch Zuziehen zweier gegenläufig gelegter Halbschläge um einen *post* mithilfe des einfachen Knotenschiebers durchgeführt. Nach dem Spannen wird der Knoten verkippert.

bis zumindest einmal eine Verblockung durch einen Wechsel von *post* und *loop* stattgefunden hat (s. Abb. 4.8c), was z.B. beim *easy knot* am besten zu sehen und zu verstehen ist.

Knot security und loop security

Aufgrund der zunehmenden Zahl arthroskopischer Rekonstruktionsoperationen an der Schulter haben sich bereits einige biomechanische Studien mit der Stabilität von verschiedenen Knotenkonfigurationen beschäftigt [2–5, 7]. Es gilt grundsätzlich, zwischen der *knot security*, d.h. der Festigkeit des Knotens im Ganzen, und der *loop security*, d.h. der Auslockerung und Erweiterung der das Gewebe umfassenden Knotenschlinge, insbesondere unter zyklischer Belastung, zu unterscheiden. Gerade im Hinblick auf die *loop security* haben die Rutschknoten definitionsgemäß erhebliche Nachteile, sodass hier eine zusätzliche Absicherung mit gegenläufigen und gekippten Halbschlägen immer zwingend erforderlich ist (s. Abb. 4.9). Letztlich lassen sich aber mit den meisten verwendeten Knoten ausreichend stabile Konfigurationen erzielen, wenngleich der sog. *square knot*, ein *non-sliding knot* (s. Abb. 4.10), der aus lediglich 4 Halbschlägen besteht, die in wechselnder Richtung und mit jeweils getauschtem *post* und *loop* angelegt sind, in einer aktuellen Studie sich als stabilster Knoten unter zyklischer Belastung erwiesen hat [2].

Arthroskopische Knoten

Die detaillierte Beschreibung aller benutzten arthroskopischen Knoten, die bei Schulterstabilisierung und Rotatorenmanschettennaht Verwendung finden, würde den



Abb. 4.10: *Square knot (non-sliding knot)*. Aus 4 gegenläufigen und jeweils zueinander gekippten Halbschlägen bestehender Knoten, wie er arthroskopisch ohne die Voraussetzung der Gleitfähigkeit des Fadens mit großer Festigkeit und relativ geringem Fadenvolumen angefertigt werden kann.

Umfang dieses Kapitels sprengen. Bei aller notwendigen Diskussion um arthroskopische Knoten und deren Übung soll mit dem Knoten ja letztlich nur die Geweberefixation durch Fadenmaterial stattfinden, wie sie seit Jahrhunderten in der offenen Chirurgie durchgeführt wird und bestens funktioniert. Es besteht angesichts der Faszination um einen Knoten, der ausschließlich mit kleinen Instrumenten unter Kamerakontrolle ohne die direkte, gewohnte manuelle Kontrolle angefertigt wird, gelegentlich die Gefahr, dass sich das Thema des Knotens verselbstständigt und zu einer Art Selbstzweck wird. Es kann daher für den Arthroskopeur mit sportlichem Ehrgeiz primär nicht darum gehen, möglichst viele der unterschiedlichen Knoten zu kennen und selbst knüpfen zu können. Vielmehr ist wichtig, wenigstens einen Knoten, der unter allen denkbaren Bedingungen anwendbar ist, sicher zu beherrschen; ein Prinzip, das eben auch in der offenen Chirurgie gilt.

Rutschknoten (*sliding knots*)

Bei Rutschknoten wird ein Fadenende – in einer bestimmten Konfiguration und Anzahl – um das andere Fadenende gewickelt. Anschließend wird meist das Fadenende, das gewickelt wurde, in bestimmter Richtung durch eine vorgeformte Fadenschlaufe geführt. Ein so hergestellter Knoten kann dann durch Zug am *post* und Gleiten des Fadens bis zum Zuziehen der Schlaufe um das gefasste Gewebe (ähnlich dem Hals eines Gehängten) festgezogen werden, wodurch die Gewebeadaptation eintritt (s. Abb. 4.11).

Bei den älteren Rutschknoten (*hangman's knot*, *Duncan loop*) wird das *loop*-Ende einfach mehrfach (ca. 4–5-mal) um *post* und sich selbst gewunden und schließlich entweder von unten oder oben durch eine vorgeformte Fadenschlaufe des *loop*-Endes geführt. Der Nachteil dieser Knoten ist ein relativ großes Faden- bzw. Knotenvolumen, das gerade im engen Subakromialraum auf der Rotatorenmanschette auftragen und zum Knotenimpingement führen kann. Von diesen einfachen ersten Rutschknoten ist daher heute eher abzuraten, zumal sie durch obligatorische Halbschläge nach dem Festziehen des Primärknotens zusätzlich gesichert werden müssen, was das Knotenvolumen noch weiter erhöht.

Eine Fortentwicklung dieser ersten Rutschknoten sind solche, bei denen die Zahl der Wicklungen auf meist 2 reduziert ist und außerdem nicht um beide Fadenenden, sondern meist nur um den *post* erfolgt (*easy knot*, *Tennessee slider knot*, *Roeder's knot*, *Nicky's knot*) (s. Abb. 4.12 und 4.13). Der *easy knot* entspricht lediglich einer Anzahl (4–5) von Halbschlingen, die in gleicher Richtung um einen einzigen *post* geschlungen sind. Dadurch kann der Knoten über eine weite Strecke gleiten

und wird erst nach dem Zuziehen der Schlinge mit einem weiteren Halbschlag, der dann durch Wechsel von *post* und *loop* gekippt wird, gegen Lockerung gesichert. Ein *easy knot*, der gut gleiten kann, entsteht aber auch dann, wenn die Halbschlingen in jeweils alternierender Richtung um einen gleich bleibenden *post* geschlungen werden. *Nicky's knot* (s. Abb. 4.13) ist der derzeit wahrscheinlich verbreitetste Rutschknoten und einer der

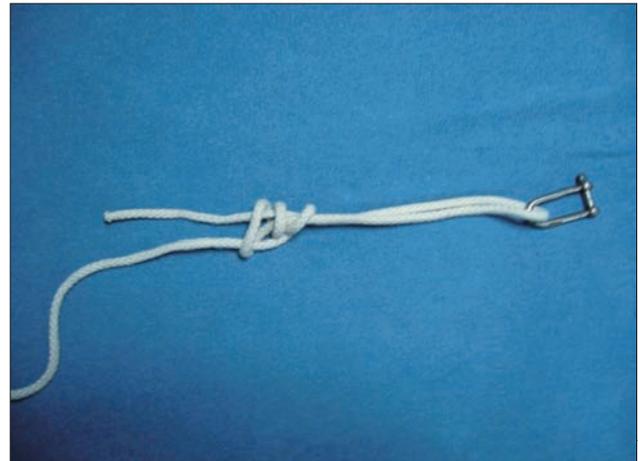


Abb. 4.11a–c: *Fisherman's knot* (*sliding knot*): Das *loop*-Ende wird 3 x um *post* und *loop* herumgewickelt und dann durch eine Fadenschlaufe geführt. Der Knoten zieht sich dann durch Zug am *post* und entsprechendes Gleiten im Knoten an der Refixationsstelle fest, muss dann noch durch gekippte Halbschläge gesichert werden.

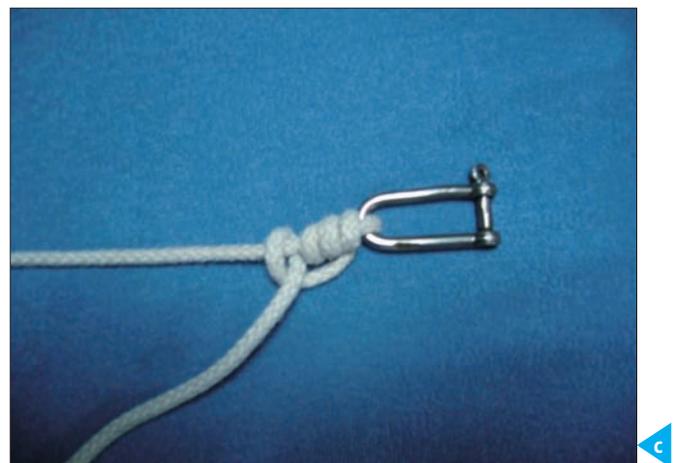
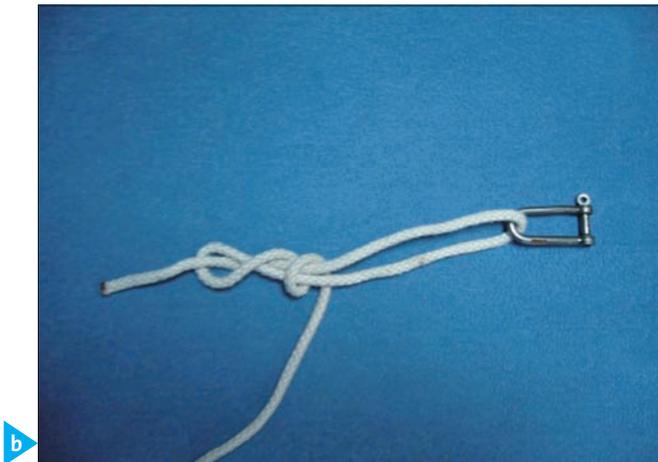
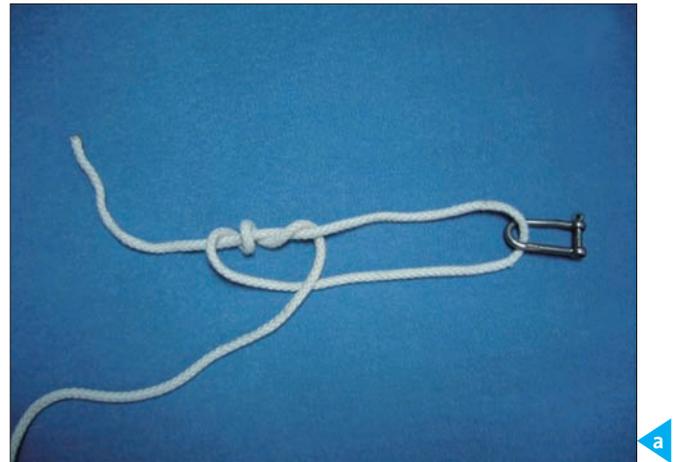


Abb. 4.12a–c: *Roeders's knot (sliding knot)*, ein Rutschknoten mit relativ geringem Volumen, der aber nach dem Festziehen durch Halbschläge ebenfalls noch gesichert werden muss.

Abb. 4.13a–c: *Nicky's knot (sliding knot)*: Das *loop*-Ende wird lediglich um den *post* gewickelt, wodurch das Knotenvolumen reduziert ist, der endständige Halbschlag dient nach Einziehen des Knotens zum sofortigen Verblocken.

Knoten, die mit dem geringsten Volumen auskommen und schon nach dem Einziehen bzw. Schieben des Primärknotens durch Zug am *loop*-Ende und Lockerlassen des *post* gekippt werden können.

Wie erwähnt, ist der Hauptnachteil der Rutschknoten, dass sie zwingend die Gleitfähigkeit des Fadens in der Ankeröse und im Gewebe voraussetzen, die nicht immer gegeben ist. Gerade dann, wenn Anker mit 2 Fäden in einer Öse verwendet werden, von denen einer bereits festgezogen und verknötet wurde, oder Matratzen-

Mason-Allen-Nähte oder gar die Lasso-Naht verwendet werden, sind Rutschknoten meist unbrauchbar, und der Chirurg, der sich auf sie allein verlässt, geht möglicherweise zu Lasten seiner Patienten ein unkalkulierbares Risiko ein.

Ein weiterer Nachteil der Rutschknoten ist ein erheblicher Säge-Effekt, der durch das Gleiten der Fäden in der Öse des Ankers und im durchstochenen Gewebe entsteht. Die Gefahr des Fadenrisses in der Öse oder über einer Knochen- oder Arbeitskanülenkante ist zwar deut-

lich reduziert, seit die reißfesten Fäden verfügbar sind. Die Gefahr der Gewebsschädigung bis hin zum Fadenausriss aus dem Gewebe, insbesondere an der Rotatorenmanschette, wo ja labiles, degenerativ verändertes Gewebe mit dem Faden durchstochen wird, ist aber gerade bei den neuen stabilen Fäden in erheblichem Ausmaß vorhanden, da der Faden dann wie eine Gigli-Säge im Gewebe wirken kann.

Nicht gleitende Knoten (*non-sliding knots*)

Die *non-sliding knots* funktionieren definitionsgemäß ohne einen vorgelegten Knoten, dessen Schlinge dann zur Geweberefixation zugezogen werden muss. Das Schließen der Fadenschlinge um das Gewebe entsteht also, ohne dass eine bestimmte Fadenstrecke durch Gewebe bzw. Anker gleiten muss. Letztlich handelt es sich bei diesen Knoten um eine Aufeinanderfolge von einfachen Halbschlägen, die mit mindestens einmal wechselndem *post* und z.T. mit wechselnder Richtung angelegt werden. Entscheidend ist, dass jede Halbschlinge einzeln mit dem Knotenschieber bis zur Refixationsstelle transportiert wird und der Knotenschieber nicht mechanisch den Knoten vor sich herschiebt wie bei den Rutschknoten, sondern die Halbschlinge so transportiert, dass sie dem Knotenschieber, der als eine Art Hypomochlion fungiert, nachfolgt. Der Transport der Halbschlinge funktioniert demnach nur, wenn gleichzeitig sowohl das *post*-Ende straff gehalten wird als auch langsam im Verlauf des Transports der Halbschlinge das *loop*-Ende durch Zug nachgeführt wird. Diese grundlegenden Unterschiede der Knotenentstehung zwischen dem nicht gleitenden Knoten und dem Rutschknoten sollte ebenfalls jeder Arthroskopeur an einem Knotenbock mit einer dünnen Leine nachvollziehen und ver-

stehen. Deziidiert beschrieben als *non-sliding knots* sind z.B. der *revo knot* und der *square knot*. Beide sind sehr einfache und einander sehr ähnliche Knoten. Sie entsprechen 4–5 einzeln aufeinander folgenden *half hitches* in z.T. gleicher und z.T. wechselnder Richtung mit ein- oder mehrfachem Wechsel des *post*. Selbstverständlich kann auch mit einem *non-sliding knot* ein geringes Gleiten der Fadenschlaufe zur Feinadaptation der Gewebespannung erfolgen, sofern ein Fadengleiten möglich ist. Werden z.B. 2 Halbschlingen nacheinander in gleicher oder alternierender Richtung um einen *post* geschlungen (entsprechend einem halben *easy knot*), kann unter direkter arthroskopischer Sicht und manueller Kontrolle der Gewebespannung ein Zuziehen der Gewebeschlinge um das Gewebe erfolgen. Entscheidend nach dem Zuziehen der Schlinge ist dann das Verblocken des Knotens (*lock the knot*), was zum einen durch ein Austauschen von *post* und *loop* (*switch post*, s. Abb. 4.6) durchgeführt wird. Der Wechsel des *post* mit der Verblockung wird erleichtert, wenn im Zuge des Spannungswechsels zwischen den beiden Fadenenden gleichzeitig die Richtung des Zugs der beiden Fadenenden direkt am Knoten ausgetauscht wird, was dann passiert, wenn das Ende des Knotenschiebers am Knoten vorbeigeschoben wird (*passpointing*, s. Abb. 4.14). Hierdurch lässt sich das Fadenende, das durch die Öse des Knotenschiebers geführt ist und während des Einschlebens der Halbschlinge der *loop* entspricht, in den *post* überführen. Das andere Fadenende, das nicht durch die Öse des Knotenschiebers geführt ist und während des Einführens der Halbschlinge der *post* ist, wird durch diesen Spannungs- und Richtungswechsel zur neuen *loop*.

Dieses auf den ersten Blick kompliziert wirkende Prinzip der Anordnung der Halbschlingen in Bezug auf den exakten Lauf der Fadenenden zueinander ist bei einiger Übung – zunächst an einem Knotenbock oder



Abb. 4.14a, b: Verblocken des 2. Halbschlags bei einer arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion durch *passpointing* und Wechsel der Spannung zwischen den 2 Fadenenden.

Schultermodell – eigentlich recht simpel. Mit dem Prinzip der wechselseitigen Spannungsänderung zwischen den beiden Fadenenden und gleichzeitigem *passpointing* des Endes des Knotenschiebers ist ein alternierender Wechsel zwischen *post* und *loop*, der zur Sicherung jedes Knotens obligatorisch ist, leicht möglich, ohne dass beide Fadenenden abwechselnd in den Knotenschieber eingefädelt werden müssen. Bei entsprechender Übung gelingt es auch unter nicht optimalen Sichtbedingungen und sogar ohne Sicht auf den Knoten, einen derartigen Knoten sicher anzulegen. Das Zuziehen der Schlinge und insbesondere das Umschnappen und Verblocken (Flippen) der vorgeschobenen Halbschlingen jeweils zueinander können sehr gut erföhlt werden.

Arthroskopisches Knoten eines überkreuzten Knotens aus Halbschlägen (*square knot*)

Mit folgender Knotentechnik lässt sich prinzipiell jede Art von Knotenrefixation, insbesondere auch bei Schulterstabilisierungen und Rotatorenmanschetten-Rekonstruktionen, sicher und absolut stabil durchführen. Es handelt sich um den im eigenen Vorgehen praktisch ausschließlich verwendeten Knoten, der als *non-sliding knot* o.g. Nachteile der Rutschknoten vermeidet und daher immer anwendbar ist. Zudem haben biomechanische Studien ihn im Vergleich zu anderen Knoten als stabilsten bez. *knot security* und *loop security* unter zyklischer Belastung erwiesen.

Vor der Knotenanlage müssen die beiden Faden-schenkel, die verknotet werden sollen, ausgeleitet werden. Ein wichtiger Grundsatz hierbei ist es, dass alle anderen vorhandenen Fäden in anderen Portalen geparkt sind und sich keine weiteren Fäden in dem Portal, durch das geknotet werden soll, befinden, da sich die Fäden

sonst verwickeln könnten (s. Abb. 4.15). Wird eine Arbeitskanüle verwendet, können die Fadenenden einzeln und nacheinander ausgeleitet werden. Wird keine Arbeitskanüle verwendet, müssen beide Fadenenden in einem Schritt gegriffen und herausgezogen werden, da sonst meist eine Weichteilbrücke zwischen den Fäden entsteht, die das Knoten unmöglich machen kann. Weiter ist es wichtig, dass jede etwaige Verwicklung zwischen den beiden Fadenenden beseitigt ist, bevor geknotet wird, da sonst ein präzises Legen, Zuziehen und vor allem Flippen der Halbschlingen erschwert sind. Am besten gelingt dies unter Verwendung einer Arbeitskanüle und dem gezielten Ausleiten der beiden Fadenenden einzeln nacheinander.

Für den einfachen Fall einer vorgelegten U-Naht durch die Rotatorenmanschettensehne kann bspw. zunächst das Fadenende, das durch die Sehne gezogen ist, ausgeleitet und dann in einer bestimmten erkennbaren Weise geparkt werden. Im 2. Schritt wird das Fadenende, das direkt in die Ankeröse läuft, ausgeleitet, in die Öse des Knotenschiebers eingefädelt und dann mit einem Klemmchen oder Nadelhalter angeklemt. Der Nadelhalter wird am besten locker in der Hand, die gleichzeitig auch den Knotenschieber führt, zwischen den Fingern 2–5 in der Handfläche geführt (s. Abb. 4.3 und 4.15). Die richtige Position des Anklemmens des Fadens ergibt sich, wenn nach dem Einfädeln des Fadens in den Knotenschieber zwischen äußerem Eingang in die Arbeitskanüle und Klemmchenposition ca. 10 cm liegen. Sofern der Faden gleiten kann, ist es von Vorteil, vorher eine etwa identische Länge der beiden Fadenenden herzustellen, dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Wie erwähnt, ist es bei dieser Technik nicht notwendig, im Verlauf des Knotens den Knotenschieber zeitaufwändig zwischen den beiden Fadenenden umzufädeln. Es empfiehlt sich, mit der Hand, mit der dies normalerweise

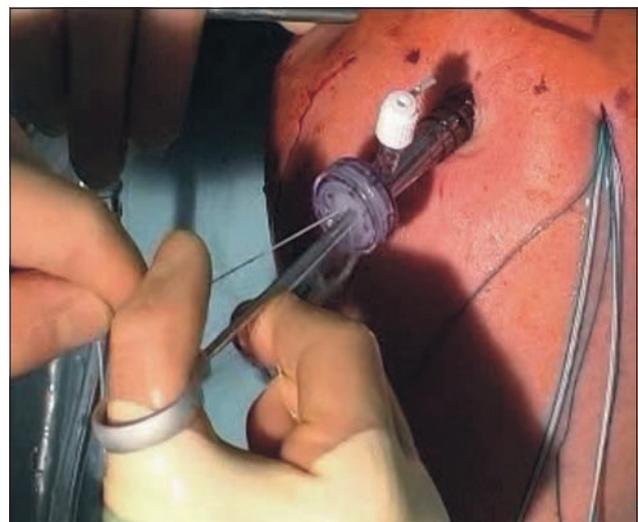
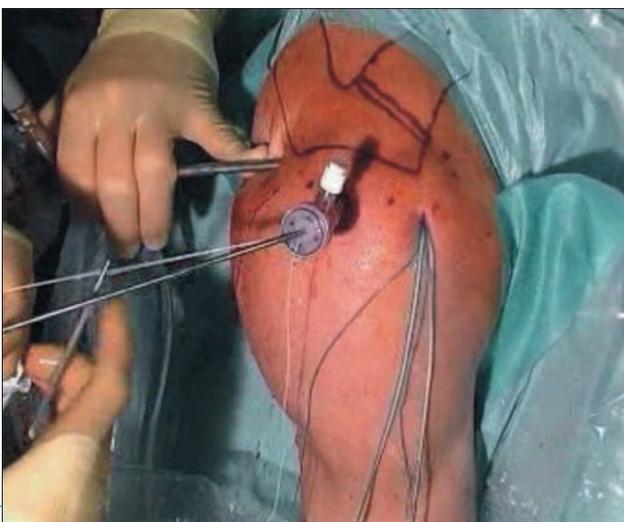


Abb. 4.15a, b: Anordnung der Fäden, der Arbeitskanüle und des Knotenschiebers beim Knoten eines (*non-sliding*) *square knot* bei einer arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion.

auch beim offenen (einhändigen) chirurgischen Knoten erfolgt, auch beim arthroskopischen Knoten die Halbschlingen um den anderen Faden herumzuführen. Die jeweils andere Hand führt dann während des gesamten Knotens sowohl den Knotenschieber als auch das angeklemmte Fadenende, wobei der Daumen in den dafür vorgesehenen endständigen Ring des Knotenschiebers eingeführt wird. Der Knotenschieber kann so nun ähnlich einer Injektionsspritze bedient werden (s. Abb. 4.3), und es kann sehr kontrolliert Zug auf das Fadenende im Knotenschieber ausgeübt werden.

- ▲ Eine erste Halbschlinge wird nun extraartikulär mit dem freien Fadenende (das sich nicht im Knotenschieber befindet) um das Ende im Knotenschieber gelegt, dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob hier *overhand* oder *underhand* gearbeitet wird.
- ▲ Durch anschließendes Straffziehen des freien Fadenendes und gleichzeitiges Lockern des Fadenendes im Knotenschieber schnappt diese Halbschlinge nun so um, dass das freie Ende zum *post* und das Knotenschieberende zur *loop* wird.
- ▲ Unter straff gehaltenem *post* wird nun die Halbschlinge durch Verschieben des Knotenschiebers und gleichzeitiges Nachführen des *loop*-Fadenendes durch vorsichtiges lockeres Ziehen mit dem Klemmchen durch die Arbeitskanüle ins Gelenk transportiert. Wenn doch eine Verwicklung der beiden Fadenenden vorgelegen hat, wird dies beim Einschieben der 1. Halbschlinge sichtbar. Unter Sicht kann nun durch „Ausdrehen“ der Fadenenden die Verwicklung beseitigt werden.
- ▲ Durch *passpointing* mit dem Ende des Knotenschiebers an der Refixationsstelle vorbei und gleichzeitiges Anspannen beider Fadenenden wird die Knotenschlinge zugezogen, die Naht angespannt und das Gewebe somit adaptiert.
- ▲ Beim Lockerlassen der Fadenenden lockert sich diese 1. Halbschlinge im nächsten Schritt i.d.R. wieder, was allerdings völlig unproblematisch ist, da nun in identischer Weise eine 2. Halbschlinge vorgelegt und ins Gelenk geschoben wird. Für einen *flat square knot* wird diese nun in gegenläufiger Richtung zur ersten gelegt, d.h. *overhand*, wenn die erste *underhand* war, und umgekehrt. Als *post* dient für den Transport der 2. Halbschlinge ins Gelenk erneut das freie Fadenende, sodass im Gelenk nun 2 jeweils gegenläufige Halbschlingen um einen identischen *post*, nämlich das freie Fadenende, liegen.
- ▲ Das definitive Anspannen des Knotens und der Gewebenahnt erfolgt nun durch Straffhalten des *post* und Festziehen der Gewebeschlaufe durch Gleiten der beiden Halbschlingen um den *post*, ein Prinzip, wie es jeder Chirurg – möglicherweise unbewusst – beim offenen Knoten täglich anwendet. Das Zuzie-

hen der Schlaufe erfolgt dabei einerseits durch dosierten Zug am *loop*-Ende (Zug am Klemmchen). Gelegentlich kann auch etwas durch mechanisches Schieben mit der Öse des Knotenschiebers „nachgeholfen“ werden. Wie erwähnt, ist es wichtig, sich durch die Festigkeit der Fäden nicht dazu verleiten zu lassen, den Knoten zu fest zusammenzuziehen, sondern nur mit Gefühl das Gewebe an den Knoten zu adaptieren.

- ▲ Der nächste – entscheidende – Schritt ist nun, diesen einfachen 1. Teil des Knotens, bestehend aus 2 Halbschlingen, zu verblocken, was durch einfachen Wechsel zwischen *post* und *loop* geschieht, unter gleichzeitigem *passpointing*, wie oben beschrieben, d.h. Vorbeiführen des Knotenschieberendes am Knoten, sodass die beiden Fadenenden in entgegengesetzter Richtung zueinander angespannt werden können. Dieses Flippen ist sowohl gut zu sehen, aber auch in beiden Fadenenden zu spüren. Ist der Knoten entsprechend umgeschnappt, ist ein Auslockern prinzipiell nicht mehr möglich, da *post* und *loop* innerhalb des Knotens wechseln. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass der Knoten erst dann verblockt wird, wenn er tatsächlich fest sitzt und die gewünschte Gewebespannung erreicht ist. Bei einer zu frühen Verblockung noch vor der Geweheadaptation (Luftknoten) gelingt manchmal (insbesondere bei glattem Fadenmaterial wie FiberWire) die Entblockung, in dem durch nochmaligen Wechsel der Spannung zwischen den Fadenenden erneut *post* und *loop* getauscht werden, wodurch eine Nachspannung des Knotens möglich wird.
- ▲ Zur weiteren Sicherung und Vollendung des Knotens werden nun in identischer Weise noch mindestens 2 weitere Halbschlingen eingeführt, die jeweils sowohl gegenläufig (*underhand* bzw. *overhand*) als auch vor dem Festziehen wiederum mit wechselndem *post* angelegt werden. In der Summe ergibt sich dann eine absolut stabile Knotenkonstruktion.

Der entscheidende Faktor der Festigkeit jedes Knotens, nämlich die Verblockung der Fadenenden zueinander durch Wechsel zwischen *post* und *loop*, ist bei diesem Knoten zwischen allen 4 Halbschlägen, also insgesamt 3 × gegeben. Zusätzlich ist das Knotenvolumen gerade im Vergleich zu einigen *sliding knots* vergleichsweise gering, was sich im engen Subakromialraum in vielen Fällen positiv bemerkbar macht.

Zusammenfassung

Arthroskopisches Knoten ist eine spezielle Fertigkeit, die für jede Art rekonstruktiver arthroskopischer Schulterchirurgie essenziell ist. Grundsätzlich existiert eine Vielzahl verschiedener Möglichkeiten,

um in einem Gelenk in arthroskopischer Technik sichere und feste Knoten zu legen und Gewebe dabei zu refixieren. Extraartikulär vorgelegte Rutschknoten (*sliding knots*) werden von solchen unterschieden, die mit einem Knotenschieber erst im Gelenk durch sequenzielles Einschieben von einzelnen Halbschlägen geknotet werden (*non-sliding knots*). Zwar haben *sliding knots* den vermeintlichen Vorteil, dass das Knoten extraartikulär, d.h. wie für den offenen Chirurgen gewohnt, durchgeführt werden kann. Ein entscheidender Nachteil allerdings ist, dass bei Nähten, die nicht gleiten, ein Rutschknoten grundsätzlich nicht anwendbar ist. Das Erlernen der z.T. kompliziert anmutenden Knotenkonfigurationen bei einigen *sliding knots* ist darüber hinaus zeitraubend und führt den Arthroskopeur etwas in die Irre angesichts der Tatsache, dass mit wenig Aufwand und einiger Übung „normale“, in der offenen Chirurgie hundertfach bewährte Knoten mit großer Zuverlässigkeit und Festigkeit auch voll arthroskopisch angelegt werden können, ohne dass die Gleitfähigkeit der Naht absolute Voraussetzung ist.

Literatur zur Vertiefung

1. Agneskircher JD et al., Complications in reconstructive arthroscopic shoulder surgery. *Arthroscopie* (2006), 19, 157–171
2. Elkousy H et al., The arthroscopic square knot: a biomechanical comparison with open and arthroscopic knots. *Arthroscopy* (2006), 22, 736–741
3. Elkousy HA et al., A biomechanical comparison of arthroscopic sliding and sliding-locking knots. *Arthroscopy* (2005), 21, 204–210
4. Hassinger SM, Wongworawat MD, Hechanova JW, Biomechanical characteristics of 10 arthroscopic knots. *Arthroscopy* (2006), 22, 827–832
5. Ilahi OA et al., Cyclic testing of arthroscopic knot security. *Arthroscopy* (2004), 20, 62–68
6. Lafosse L, Van Raebroeckx A, Brzoska R, A new technique to improve tissue grip: „the lasso-loop stitch“. *Arthroscopy* (2006), 22, 1246.e 1–3
7. Lo IK et al., Arthroscopic knots: determining the optimal balance of loop security and knot security. *Arthroscopy* (2004), 20, 489–502

8 Arthroskopische subakromiale Dekompression und Resektion des Akromioklavikulargelenks

L. Lafosse, M. Haag, A. Giannakos

Anatomie und Pathophysiologie des Subakromialraums

Der Subakromialraum erstreckt sich unterhalb des Akromions nach posterior, lateral und anterior unterhalb des M. deltoideus. Nach medial reicht er entlang der Rotatorenmanschettensehnen bis zu den Muskellogen der Manschettenteile. Wir betrachten diesen Raum als eine Art *big box*, innerhalb der sich eine *small box*, nämlich die Bursa subacromialis befindet, die der Ausgangspunkt für nahezu alle extraartikulären arthroskopischen Schulteroperationen (Rotatorenmanschettennaht, subakromiale Dekompression, ACG-Prozeduren etc.) ist. Physiologischerweise stellt diese Bursa einen wasserundurchlässigen Raum dar, der nicht in direkter Verbindung mit dem glenohumeralen Gelenk steht.

Das Akromion bildet mit dem umgebenden M. deltoideus, dem CAL und dem AC-Gelenk das Dach der Bursa subacromialis. Als Orientierungspunkt für die subakromiale Arthroskopie ist die Position der anterolateralen Akromionecke wichtig, die perkutan meist gut getastet werden kann. Den Boden der Bursa bilden die Rotatorenmanschette, das Rotatorenintervall, das transverse Ligament über dem Sulcus bicipitalis und die lateralen Anteile des Tuberculum majus. Nach posterior überspannt die Bursa den M. supraspinatus vollständig und in unterschiedlichem Ausmaß auch den M. infraspinatus. Der N. axillaris liegt lateral immer inferior der Umschlagfalte der Bursa, kann dabei aber sehr nahe an die subdeltoideale Bursabegrenzung gelangen [1]. Nach anterior endet die Bursa vor dem Processus coracoideus. Dieser Bereich ist besonders wichtig, da die anteroinferiore Bursa bei vielen arthroskopischen Prozeduren eröffnet werden muss, um den lateralen Anteil des Processus coracoideus als Landmarke darzustellen. Wird die Weichteilpräparation über die mediale Begrenzung des Korakoids hinaus vollzogen, gerät der Arthroskopeur in die Nähe des Plexus brachialis und seiner Äste. Jenseits der medialen Begrenzung der Bursa befindet sich unterhalb der lateralen Klavikula gut vaskularisiertes Fettgewebe. Dieses Fettgewebe setzt sich nach posterior zwischen das Akromion, den M. supraspinatus um die Spina scapulae und im weiteren Verlauf nach posteroinferior an der medialen Oberfläche des M. infraspinatus fort.

Exakte anatomische Kenntnisse dieser Strukturen und der räumlichen Lagebeziehungen sind bei der Plat-

zierung des Arthroskops und der Instrumente in diesen durch die Bursa subacromialis vorgeformten Raum sehr hilfreich und erleichtern die Orientierung in diesem Teil der Schulter, selbst wenn unterschiedliche Portale genutzt werden. Wird ein posteriores Portal gewählt, um die Bursa zu erreichen, muss zunächst die Hälfte der Strecke unterhalb des Akromions mit dem Arthroskop durchstoßen werden, bevor die Bursa erreicht ist. Die Richtung des Arthroskops beim Einbringen sollte dabei stets auf die anterolaterale Akromionecke gerichtet sein. Ein häufiger Fehler ist es, wenn das Arthroskop nicht weit genug nach anterior subakromial eingebracht wird, sodass es dann noch außerhalb (posterior) der Bursa liegt. Von einem lateralen Portal aus kommend sollte das Arthroskop auf die Korakoidspitze zielen, um die anterioren Anteile der Bursa adressieren zu können. Aus dieser *small box* heraus werden dann die unterschiedlichen Regionen der *big box* angesteuert. Hierzu muss die *small box*, also die Bursa subacromialis, an ihren entsprechenden Begrenzungen, d.h. Umschlagsfalten, eröffnet werden.

Korakokromialer Bogen

Akromion und Ligamentum coracoacromiale

Das die Schulter überspannende Akromion bildet den posterioren Anteil des korakoakromialen Bogens. Es stellt die Fortsetzung der Spina scapulae nach lateral und anterior dar. Die nach kranial gerichtete Fläche wie auch der seitliche Rand des Akromions dienen als Ursprung für den M. deltoideus. Das Akromion bildet dabei einen Überhang nach lateral, um ein ausreichendes Drehmoment für den M. deltoideus als biomechanische Vorraussetzung für kraftvolle Überkopftätigkeiten zu ermöglichen. An seinem medialen Rand steht das Akromion über das Schulterreckgelenk mit dem Schlüsselbein in Verbindung.

In ca. 3–8% aller Schultern findet sich als persistierende Apophyse des Akromions ein Os acromiale. Arthroskopisch kann das Os acromiale in Fällen einer Instabilität nur indirekt als mehr oder weniger beweglicher Anteil des Schulterdachs identifiziert werden. Eine direkte Darstellung gelingt nur nach einem Weichteildebridement an der Akromionunterfläche, ist aber nur selten indiziert.

In Verlängerung des Akromions spannt sich das korakoakromiale Ligament in anteroinferomedialer Richtung zwischen anteriorer Unterfläche und Kante des Akromions sowie der Korakoidspitze auf. Die Endäste der A. thoracoacromialis verlaufen zwischen dem korakoakromialen Ligament und dem M. deltoideus. Sie können von der Bursa aus dargestellt werden, wenn das Ligament vom Akromion abgesetzt wird.

Im anterioren Anteil des korakoakromialen Bogens und des Lig. coracoacromiale befindet sich die anteriore Begrenzung der Bursa subacromialis. In dieser Region lässt sich ein Impingementphänomen meist anhand von Aufrauungen bzw. Ausfransungen des Ligaments und seines Bursaüberzugs erkennen. Als korrespondierendes Gegenstück ist die bursaseitige Rotatorenmanschette oftmals ebenfalls oberflächlich arrodiiert, bzw. im fortgeschrittenen Stadium kann eine bursaseitige Partialruptur unterschiedlichen Ausmaßes bis hin zur kompletten Ruptur vorliegen.

Es ist mittlerweile allgemein anerkannt, dass in den meisten Fällen ein Impingementsyndrom nicht primär durch die Anatomie der überspannenden korakoakromialen Strukturen (*outlet*-Impingement), sondern sekundär durch die Unfähigkeit der Rotatorenmanschette, den Humeruskopf zu zentrieren, entsteht. Die Muskulatur des Schultergürtels koordiniert die skapulothorakalen Bewegungen, sodass physiologischerweise eine zentrierte Ausrichtung des Oberarms zum Glenoid gewährleistet wird. Ist diese Scapulaführung auf irgendeine Weise beeinträchtigt und somit eine stabile Basis für die Funktion der Rotatorenmanschette nicht gegeben, kann eine Rotatorenmanschetten-Dysfunktion mit Impingementphänomen auftreten, was als funktionelles Impingement bezeichnet wird. Des Weiteren kann in Einzelfällen auch eine Mikroinstabilität oder eine dorsale Gelenkkapselschrumpfung ein sekundäres Impingement hervorrufen. Ist der OA-Kopf als Folge dieser Pathologien dezentriert, hinterlässt die mechanische Überlastung an den umliegenden weichteiligen Strukturen dann Folgeschäden.

Auf der anderen Seite können ossäre oder ligamentäre Veränderungen, die als Konsequenz des Impingements oder sonstiger degenerativer Prozesse entstehen (Osteophyten am Akromion, Veränderungen des Lig. coracoacromiale), den Subakromialraum nach kaudal dann noch zusätzlich einengen.

Pathologische Veränderungen des korakoakromialen Bogens können somit eine wichtige Rolle bei der Aggravierung subakromialer Probleme bis hin zur Entwicklung einer Rotatorenmanschettenläsion einnehmen.

Andererseits bietet der korakoakromiale Bogen bei gewissen funktionellen oder auch pathophysiologischen Anforderungen einen passiven Rückhalt. So dient er beim Abstützen des Körpers auf die obere Extremität

wie auch bei nach superior oder anterosuperior gerichteten Gewalteinwirkungen als Gegenhalt. Bei RM-Massentraktionen kann bei zunehmender Dezentrierung eine anterosuperiore Migration des OA-Kopfs zumindest partiell unterbunden werden.

Ein Impingement des OA-Kopfs an der Unterfläche des CAL verursacht eine Schädigung mit zunehmender plastischer Deformierung dieses Ligaments. Diese repetitiven Mikrotraumen können dabei verschiedene strukturelle Schädigungen bewirken. Zum einen entstehen häufig eine Verdickung und Aufrauung der Unterfläche des Ligaments, die sich auch arthroskopisch in der Bursa darstellen lassen. Zum anderen kann das Impingement zur Entwicklung eines anterioren Akromionsporns führen, der dann als Enthesiopathie des CAL gesehen werden kann (Traktionsosteophyt). Dieser Sporn lässt sich röntgenologisch in der Supraspinatus-*outlet*-Röntgenaufnahme nachweisen.

Diese Erkenntnisse bez. der pathophysiologischen Zusammenhänge zeigen, dass die knöcherne Formgebung des Akromions im Zusammenhang mit subakromialen Pathologien differenziert betrachtet werden sollte. Die traditionellen radiomorphologischen Betrachtungsweisen des Akromions (z.B. Akromiontypen nach Bigliani, s.u.) rücken so in ein anderes Licht: Während manche Aspekte der Akromionform angeboren sind, werden andere also erst sekundär erworben. Abhängig von den Stress- und Belastungsmustern, denen das Akromion und der korakoakromiale Bogen unterworfen sind, ist die Ausbildung von Akromionsporen und Osteophyten ein dynamischer und altersabhängiger Prozess und nicht angeboren [14].

Bezüglich der Formgebung des Akromions existieren mehrere Klassifikationen, wobei die Einteilung der Akromionmorphologie in sagittaler Ebene nach Bigliani in 3 Typen die meiste Verbreitung gefunden hat [2].

Nach Bigliani werden 3 Typen des Akromion unterschieden [2]. Die Klassifikation beruht auf nativradiologischen *outlet-view*-Aufnahmen und beurteilt in sagittaler Richtung Morphologie und Inklination des anterioren Akromions zum mittleren und dorsalen Akromion. Folgende Typen werden unterschieden:

- ▲ Typ I: flach (Winkelabweichung 0–15°)
- ▲ Typ II: gekrümmt (Winkelabweichung 16–30°)
- ▲ Typ III: hakenförmig (Winkelabweichung > 30°)

Die Klassifikation nach Bigliani erfasst lediglich die Formgebung in anteroposteriorer Richtung, nicht die in mediolateraler Richtung. Eine erhöhte laterale Neigung des Akromions nach inferior oder die Präsenz von Osteophyten an der Unterfläche eines degenerativ veränderten akromioklavikulären Gelenks können allerdings das subakromiale *outlet* ebenfalls stark einengen und damit signifikant zur Pathogenese einer Impinge-

mentsymptomatik beitragen [10, 11]. In diesen Fällen sind die bursaseitigen Anzeichen für ein Impingement entsprechend weit medial unter dem AC-Gelenk am Supraspinatusvorderrand bei medialem *encroachment* bzw. weit lateral und dorsal am Supraspinatus bei erhöhtem lateralen *downward slope* zu finden.

Von MacGillivray wurde der laterale *downward slope* in der koronaren Ebene klassifiziert und der Begriff **mediales *encroachment*** (medialer Überhang) geprägt.

Bewertet wurde auf einem koronaren Schnitt in einer 3D-MRI- oder CT-Rekonstruktion. Relativ zur Ausrichtung der distalen Klavikula wurde die Winkelabweichung des Akromions als *lateral slope* kategorisiert:

- ▲ Typ A: neutral (Winkelabweichung 0–10°)
- ▲ Typ B: *downward slope* (Winkelabweichung > 10°)

Eine inferiore osteophytäre Projektion der distalen Klavikula oder des medialen Akromions von 5 mm oder mehr innerhalb 1 cm vom ACG definiert ein mediales *encroachment*.

Weitere wichtige Parameter zur Deskription des Akromions sind die Gesamtinklination und Längenausdehnung des Akromions in sagittaler Richtung wie auch die Gesamthöhe des korakoakromialen Bogens relativ zum Tuberculum supraglenoidale. Nach biometrischen Erhebungen von Edelson und Taitz gehen ein langes, kobraförmiges Akromion mit einer Länge von 6,2 cm, eine horizontale Ausprägung mit akromialer Inklinations von 35° oder weniger bzw. ein tiefer korakoakromialer Bogen mit einem Abstand von 12 mm oder weniger mit einer hohen Rate an Impingementproblemen einher. Ein kurzes Akromion mit einer durchschnittlichen Länge von 5,2 cm, eine hohe akromiale Inklinations von über 41° oder ein großer Abstand zwischen Tuberculum supraglenoidale und dem korakoakromialen Bogen ziehen demgegenüber nur selten ein Impingement nach sich [5]. Diese letzteren morphologischen Gesichtspunkte sind arthroskopisch nur indirekt durch eine allgemeine subakromiale Enge erkennbar und müssen dann durch eine ausgedehnte und weit nach posterior ausgedehnte Dekompression behandelt werden.

Ebenso kann ein instabiles Os acromiale in einer Impingementsymptomatik münden. Der nach distal gerichtete Zug des M. deltoideus führt in diesem Kontext zur subakromialen Enge.

Im Gegensatz zum knöchernen durch Veränderungen bzw. Formgebung des Akromions bedingten *outlet*-Impingement können Verdickungen (Tendinitis, Tendinose) der Rotatorenmanschette im Bereich des Supraspinatus oder auch Bursaveränderungen (Hypertrophien) ebenfalls zu einer subakromialen Enge führen.

Formen des subakromialen Impingements

Primäres Impingement

Outlet-Impingement:

- ▲ Traktionssporn (anterior oder lateral)
- ▲ Akromionform Typ III nach Bigliani
- ▲ Übermäßiger *lateral slope*
- ▲ Hypertrophe ACG-Arthrose
- ▲ Niedriger korakoakromialer Bogen
- ▲ Langes kobraförmiges Akromion
- ▲ Geringe Inklinations des Akromions
- ▲ Instabiles Os acromiale

Non-outlet-Impingement:

- ▲ Bursitiden
- ▲ Tendinose/Tendinitis der Rotatorenmanschette (Supraspinatus)

Sekundäres Impingement

- ▲ Pathologische skapulothorakale Beweglichkeit
- ▲ Pathologische glenohumerale Beweglichkeit (Dezentrierung) durch:
 - Veränderungen der Rotatorenmanschette (Riss, Dysfunktion)
 - Glenohumerale Instabilität
- ▲ Kapsulärinduzierte pathologische glenohumerale Beweglichkeit (z.B. posteriore Kapselkontraktur)

In vielen Fällen des primären Impingements sowie nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette ist eine subakromiale Dekompression indiziert, um ausreichend Gleitraum für die Rotatorenmanschettensehnen sicherzustellen.

Das Ausmaß und die Lokalisation der Sehnenläsion an der Manschette sowie die insgesamt (arthroskopisch) feststellbare akromiohumere Distanz bestimmen dabei, welche Strukturen (korakoakromiales Ligament, laterales Akromion, anteriores Akromion, mediales Akromion) in welchem Ausmaß reseziert bzw. dekomprimiert werden müssen (s.u.).

Arthroskopische Klassifikation des Impingements:

- ▲ I°: Die Unterfläche des korakoakromialen Ligaments oder andere Teile des subakromialen Dachs weisen Ausfransungen auf. Eine strukturelle Läsion an der Rotatorenmanschette liegt nicht vor.
- ▲ II°: Zusätzlich zu deutlichen Ausfransungen des CAL und knöchernen Veränderungen des Akromions finden sich bursaseitige Partialrupturen der Rotatorenmanschette mit Schleifspuren der korrespondierenden Areale des Schulterdachs.
- ▲ III°: Es liegt nun eine vollständige Ruptur des M. supraspinatus mit Vorhandensein von deutlichen knöchernen Alterationen des lateralen, medialen oder anterioren Akromions oder inferiore Klavikulaosteophyten vor.

Processus coracoideus

Der Processus coracoideus vervollständigt den korakoakromialen Bogen nach anterior hin. An den medialen Anteilen und auf der Oberfläche des Processus coracoideus inseriert die Sehne des M. pectoralis minor. Die gemeinsame Sehne des M. coracobrachialis und des M. biceps (*conjoint tendons*) inseriert an der Korakoidspitze und verläuft nach kaudal. Das CAL setzt lateral/distal an. Gemeinsam bilden diese Strukturen in der auf das Korakoid ausgerichteten Übersicht ein seesternähnliches Bild. An der Basis des Korakoids inserieren die CC-Bänder und das CHL. Unter einem Bogen bestehend aus dem hakenförmigen Korakoid sowie dem Scapulahals und den *conjoint tendons* verläuft der M. subscapularis, der ausreichend Platz benötigt, um hier frei gleiten zu können.

Ist analog zu den subakromialen Verhältnissen dieser Raum zum freien Gleiten des M. subscapularis nicht ausreichend, resultiert ein mechanisches Impingement des Subscapularis mit der Korakoidspitze bzw. den dorsalen Anteilen des Korakoidbogens, was arthroskopisch durch mechanische Irritationen des Weichteilüberzugs der Korakoidspitze und der *conjoint tendons*, ggf. mit begleitender Schädigung des M. subscapularis gesehen werden kann. Dieses Phänomen wird als subkorakoidales Impingement oder Korakoidimpingement bezeichnet [7].

Analog zur subakromialen Dekompression kann bei diesen Läsionen eine Erweiterung des subkorakoidalen *outlets* bis hin zur Korakoidplastik notwendig werden.

Diagnostik

Klinische Untersuchung

Klassisches Symptom des subakromialen Impingements ist der schmerzhafte Bogen (*painful arc*), d.h. ein bewegungsabhängiges Schmerzbild, das beim seitlichen Abduzieren des Arms typischerweise zwischen 60° und 120° auftritt. Die Schmerzen werden dabei meist seitlich am proximalen Oberarm angegeben. Dabei schmerzt das Absenken des Arms aus abduzierter Position in der Praxis häufig mehr als das Anheben. Die Unterscheidung der jeweils zugrunde liegenden Pathologie ist dabei allerdings im Einzelfall klinisch nicht immer einfach, d.h., ein subakromiales Impingement (allein) ist nicht immer Ursache des schmerzhafte Bogens. Strukturelle Läsionen der Rotatorenmanschette, der Bizepssehne, des AC-Gelenks oder eine *frozen shoulder* im Anfangsstadium können ebenfalls ähnliche Schmerzbilder verursachen, sodass weitere klinische Tests und diagnostische Maßnahmen (Bildgebung) zur Differenzierung in den meisten Fällen erforderlich sind.

Nächtliche Ruheschmerzen weisen eher auf eine Rotatorenmanschettenläsion hin, während bei reinem subakromialem Impingement ohne strukturellen Sehenschaden die Schmerzhaftigkeit während der Nacht meist weniger ausgeprägt ist.

Als guter Test in der Praxis hat sich der Impingementtest nach Hawkins und Kennedy [8] bewährt, der eine passive Flektions-/Innenrotationsbewegung durch den Untersucher in abduzierter und leicht flektierter Armposition darstellt, wobei während des Tests dann Schmerzen auftreten. Sehr sensitiv ist auch die forcierte Innenrotation durch den Untersucher gegen leichten Widerstand des Untersuchten bei in 90° Abduktion und 90° Außenrotation gehaltenen Arms, wobei hier ebenfalls Schmerzen als positiver Test gewertet werden.

Das Korakoidimpingement imponiert klinisch als vorderer Schulterschmerz, der durch eine Hyperadduktion, ähnlich dem *cross-body*-Test, provoziert werden kann. Ebenso kann eine Anteversion des Arms mit Innenrotation oder auch eine einfache aktive Innenrotation gegen Widerstand als positives Zeichen eines Korakoidimpingements gewertet werden.

Bildgebung

Grundlage der Bildgebung beim symptomatischen Patienten ist eine Röntgendarstellung der betroffenen Schulter in 3 Ebenen: a.p. Aufnahme in Neutralstellung des Arms, die axiale Aufnahme sowie die sog. Supraspinatus-*outlet*-Aufnahme [12], in der die Form des Akromions und anteriore Akromionsporne diagnostiziert werden. Außerdem dient diese Aufnahme zur Einschätzung der Akromioninklination und des Abstands zwischen Tuberculum supraglenoidale und dem korakoakromialen Bogen. Die a.p. Aufnahme in Neutralstellung des Arms stellt den lateralen *slope* des Akromions im Verhältnis zur Klavikula und inferomediale Osteophyten des Akromions oder der lateralen Klavikula dar. Form und Größe des Akromions sowie der Gelenkstatus des AC-Gelenks lassen sich am besten in der Axialaufnahme darstellen, die auch das evtl. Vorhandensein eines Os acromiale am besten zeigt.

In vielen Fällen ist neben der Röntgenuntersuchung die Darstellung der Schulter im Ultraschall sinnvoll, die bei geeigneter Technik und beim erfahrenen Untersucher sehr sensitiv in der Darstellung von Rissbildungen der Rotatorenmanschette und Läsionen der Bizepssehne im Sulcus ist. Entscheidende Fragen nach intraartikulären Strukturen sowie dem Status der Rotatorenmanschette bleiben allerdings im Sonogramm meist unbeantwortet, sodass in vielen Fällen die Durchführung von Schnittbilddiagnostik, insbesondere mittels MRT sinnvoll ist.

OP-Technik der subakromialen Dekompression

Zu Beginn des Eingriffs sollte ein glenohumeraler Rundgang durch das Schultergelenk erfolgen, um intraartikuläre Läsionen zu diagnostizieren und ggf. zu behandeln.

Erst nach Abschluss der glenohumeralen Arthroskopie wird das Arthroskop in die subakromiale Bursa eingebracht.

Prinzipiell sind 2 unterschiedliche Techniken für die Dekompression und arthroskopische Akromioplastik möglich:

- ▲ Optik im klassischen posterioren Portal (A), über das laterale Portal (C) wird mit den entsprechenden Resektionsinstrumenten die Dekompression durchgeführt.
- ▲ Optik im lateralen Portal (C), die Dekompression erfolgt von posterior (A).

Fast alle arthroskopischen Prozeduren an der Schulter lassen sich über standardisierte Portale durchführen, wobei diese bedarfsadaptiert gewählt werden (s. Abb. 8.1 und Kap. 5). Das posteriore Standardportal (A-Portal), in Ausnahmefällen auch das laterale C-Portal, wird als Portal für das Einbringen der Optik gewählt, wobei der Gelenkraum bei intakter Rotatorenmanschette von lateral nicht erreicht werden kann.

Posteriores Portal (A)

Bei dem A-Portal handelt es sich um den dorsalen Standardzugang zur Schulterarthroskopie, der im Bereich des sog. *soft spot* ca. 2 cm kaudal und 2 cm medial der posterolateralen Akromionnecke liegt. Wir empfehlen vor Hautinzision und Einbringen des Arthroskops zunächst die Sondierung der korrekten Lage des Zugangs mit einer langen Kanüle, die ein Austesten des korrekt parallel zum glenohumeralen Gelenkspalt ausgerichteten Zugangs ermöglicht. Über den gleichen Zugang lässt sich dann nach Abschluss des glenohumeralen Durchgangs das Arthroskop in die subakromiale Bursa platzieren.

Zunächst werden die knöchernen Landmarken (OA-Kopf, Akromion, Klavikula und Processus coracoideus) getastet und mit einem sterilen Marker auf der Haut angezeichnet. Dann wird der OA-Kopf in seiner anteroposterioren Ausdehnung palpirt, wobei er zwischen Daumen posterior und Zeige- bzw. Ringfinger anterior umfasst wird. Mit der anderen Hand wird die Scapula stabilisiert, wobei nach Codman der Mittelfinger das Korakoid und die Handfläche das Akromion festhält. Mit diesen Griffen kann der Humeruskopf dann bei fixiert gehaltener Scapula auf der glenoidalen Gelenkebene nach anterior und posterior geschoben werden,

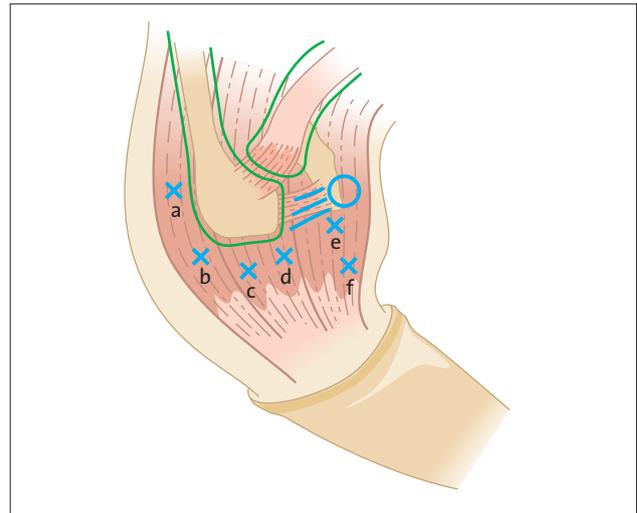


Abb. 8.1: Schematische Darstellung der Lage der Portale (rechte Schulter), die (hier) mit a–f bezeichnet sind.

wodurch die Ebene des Gelenkspalts deutlich wird. Das Einbringen der Kanüle erfolgt dann vom *soft spot* medial des tastbaren OA-Kopfs in Richtung Processus coracoideus. Das Eindringen der Kanüle ins Gelenk durch die posteriore Kapsel kann meist gut als Überwinden eines Widerstands getastet werden. Wurde die Kanüle korrekt in den glenohumeralen Gelenkspalt platziert, kann die Kanülenspitze in superoinferiorer Richtung frei hin und her bewegt werden. Gelegentlich ist ein leicht zischendes Ansaugen von Luft aufgrund des aufgehobenen Vakuums im Gelenk wahrnehmbar. Nach Hautinzision wird dann der Arthroskopschaft mit stumpfem Trokar die Kanüle entlang in das Gelenk platziert.

Laterales Portal (C)

Das C-Portal liegt ca. 2 cm kaudal und mittig von der lateralen Akromion-Begrenzung. Es wird i.d.R. unter arthroskopischer Sicht mit dem Arthroskop posterior angelegt. In bestimmten Fällen kann allerdings die Anlage dieses Portals für die Optik zu Beginn eines Eingriffs sinnvoll sein, v.a., wenn bei großen superioren Rotatorenmanschettenrupturen eine sofortige Übersicht subakromial und in das Gelenk zu Beginn an möglich ist. Die anteroposteriore Ausdehnung des Akromions kann zur Anlage des Portals durch Greifen des Akromions zwischen Daumen und Mittelfinger abgeschätzt werden. Die superoinferiore Höhe des Portals kann den operativen Zielsetzungen angepasst werden. Eine mehr superiore Positionierung erlaubt das parallele Einführen der Arbeitsinstrumente direkt an der Akromionunterfläche, was bei einer subakromialen Dekompression dienlich sein kann. Im Gegensatz dazu bietet eine eher inferiore Positionierung bei Einführen der Optik eine bessere Übersicht über die Region des OA-Kopfs und des Tuberculum majus.

Bursoskopie und Bursektomie

Zum Einführen der Optik in die Bursa subacromialis von posterior wird die Optik zunächst aus dem Gelenkraum zurückgezogen bis in die Subkutis. Dann wird die knöcherne dorsale Akromionkante getastet und das Arthroskop dann unmittelbar kaudal von dieser bis zur anterolateralen Akromionbegrenzung vorgeschoben. Alternativ kann für das Umsetzen in die Bursa das Arthroskop entfernt und durch den Trokar ersetzt werden.

Nicht selten ist die Bursa entzündlich verändert (s. Abb. 8.2), sodass zunächst durch Entfernen von Bursagewebe Übersicht geschaffen werden muss.

Adhäsionen und hypertrophiertes, inflammatorisches Bursagewebe werden durch einen Shaver und Radiofrequenzsonde vorsichtig entfernt. Die Orientierung subakromial ist dabei nicht immer leicht. **Blindes** Entfernen von Gewebe ist aufgrund der Verletzungsgefahr von Rotatorenmanschette, Delta-Ansatz etc. nicht empfehlenswert. Eine sehr hilfreiche Landmarke, die auch bei stark entzündlichen Verhältnissen gut gesehen werden kann, ist i.d.R. das CAL. Das perkutane Tasten der anterolateralen Akromionecke und das Einbringen einer Kanüle zur Markierung können ebenfalls die Orientierung erleichtern.

Die posterioren Anteile des Subakromialraums, die oberhalb des Infraspinatus liegen, befinden sich meist außerhalb der Bursa subacromialis (*small box*). Eine Entfernung dieser Gewebsanteile nach erfolgtem Debridement der anterioren und lateralen Anteile des Subakromialraums gelingt am besten durch Portalwechsel, d.h. Positionieren der Optik nach lateral und Einführen der Resektionsinstrumente von posterior.

Blutungen aus dem Bursagewebe bei diesen OP-Schritten sind fast nie zu vermeiden und treten umso mehr auf, je entzündlicher das Gewebe verändert ist.

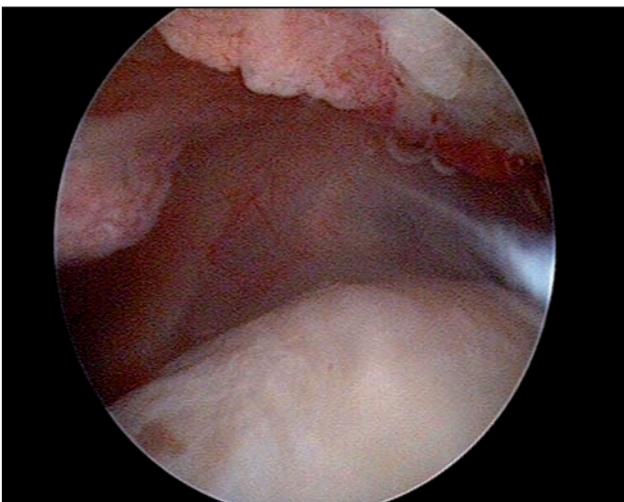


Abb. 8.2: Bursa subacromialis. Blick von posterior in die Bursa subacromialis einer linken Schulter. Die geröteten Gewebezotten und die vermehrte Gefäßzeichnung deuten auf einen leicht bis moderat entzündlichen Zustand hin.

Konsequente Blutstillung mit Radiofrequenz und Hypotension des Patienten sind hierbei konsequent zu beachten bzw. durchzuführen.

Subakromiale Dekompression und Akromioplastik

Die arthroskopische Resektion von Gewebe aus dem Subakromialraum ist grundsätzlich vorsichtig und unter ständiger Sicht der umgebenden anatomischen Strukturen, die unbedingt zu schonen sind, durchzuführen:

- ▲ Rotatorenmanschette
- ▲ Insertion des M. deltoideus am Akromion
- ▲ Kaudale Kapsel des AC-Gelenks

Eine besondere Stellung nimmt das CAL ein, das an seiner anterioren akromialen Insertion je nach Befund möglichst geschont werden sollte. Eine vollständige Resektion des Bands ist prinzipiell nicht erforderlich, lediglich je nach sekundären Strukturveränderungen des Bands eine Glättung bzw. Teilentfernung. Die Schonung der anterioren Anteile des Bands gestattet den Erhalt der Integrität des korakoakromialen Bogens, zudem können unangenehme Blutungen aus Seitenästen der A. thoracoacromialis, die zwischen M. deltoideus und dem Ligament liegen, so meist vermieden werden. Die vollständige Ablösung des Bands konnte in unserem Patientengut mit vermehrten postoperativen Schmerzen in Verbindung gebracht werden. Erstaunlicherweise zeigen *second-look*-Operationen, dass ein abgelöstes (aber nicht reseziertes) CAL oft wieder komplett reinsertiert.

Bei Vorhandensein eines großen Os acromiale sollte bei der Dekompression ausgesprochen vorsichtig vorgegangen und insbesondere die Bearbeitung des CAL auf ein Minimum begrenzt werden, um die Stabilität des Akromions nicht zu gefährden. Die Resektion eines großen Os acromiale führt klinisch zu sehr unbefriedigenden Resultaten, wie sie von der Akromionektomie bekannt sind, da eine Insuffizienz des M. deltoideus auftritt. Besteht eine Instabilität des anterioren Akromions aufgrund eines Os acromiale mit Schmerz- oder Impingementsymptomatik, empfehlen wir eine offen oder arthroskopisch assistierte Osteosynthese.

Arthroskopische Präparation

Zunächst sollten die lateralen und anterioren Anteile des Akromions sowie das CAL und die inferiore Kapsel des AC-Gelenks nach Debridement der Weichteile unterhalb des Akromions dargestellt werden (s. Abb. 8.3 und 8.4). Die innere Faszie des M. deltoideus mit ihrem Bursaüberzug sollte so weit wie möglich geschont werden, um übermäßige Schwellung und Blutung während

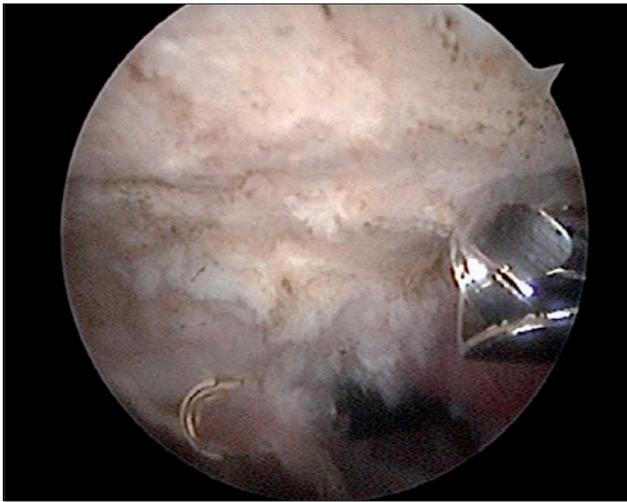


Abb. 8.3: Os acromiale. Blick von posterior in den subakromialen Raum einer rechten Schulter. In der Verlängerung des Fräsenkopfs (laterales Portal) zeigt sich der nicht fusionierte Übergang eines Os acromiale (Mesoakromion) in das Restakromion.

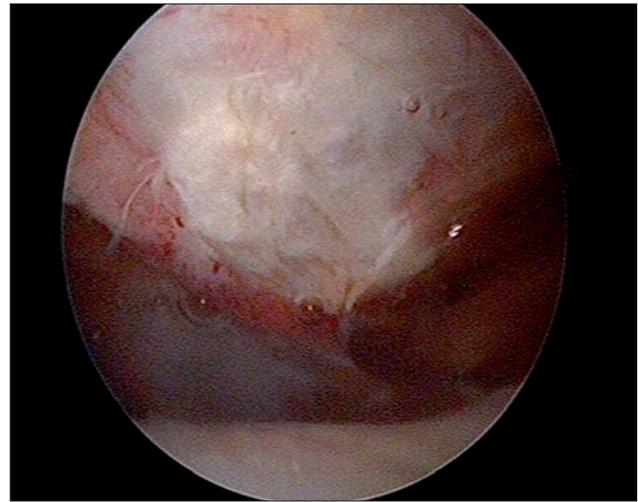


Abb. 8.4: Aufgerautes CAL. Blick von posterior in den Subakromialraum einer linken Schulter. Die deutliche Auffaserung des akromialen Ansatzes des korakoakromialen Bands deutet auf ein relevantes Impingement hin.

der OP zu vermeiden, auch wenn dies bei entzündlich veränderter Bursa nicht immer möglich ist.

Die inferioren Anteile des CAL werden je nach Ausprägung der Strukturveränderungen des Bands (Verdickungen, Vernarbungen) entfernt, die anterioren Anteile werden nach Möglichkeit erhalten. Ein Debridement des medial des CAL gelegenen Fettkörpers sollte ebenfalls vermieden werden, da dies stets mit Blutungen einhergeht.

Knöcherner Resektion am Akromion

Grundlegendes Prinzip hierbei ist, dass das Ausmaß der Knochenentfernung der individuell vorliegenden Pathologie angepasst werden sollte. Die formale Ausdünnung des Akromions oder Resektion einer bestimmten festgelegten Anzahl von Millimetern an Knochen ist dabei vom Prinzip her der falsche Ansatz. Es gilt vielmehr, Lokalisation und Ausmaß des subakromialen Impingements arthroskopisch zu befunden und die Resektion daran anzupassen. Insbesondere müssen sekundäre Strukturveränderungen am Akromion, wie Sporne und Osteophyten, abgetragen werden. Prinzipiell sollte maximal so viel Knochen reseziert werden, bis das Akromion eine Form ähnlich dem Typ I (nach Bigliani) zeigt und einen flachen und geraden Verlauf nimmt. Die Resektion sollte die laterale Klavikula aussparen und das AC-Gelenk mit seiner Kapsel unbeschädigt lassen. Die knöcherner Resektion beginnt an der anterolateralen Akromionkante, die Optik wird dabei so rotiert, dass man nach kranial blickt. Eine gut funktionierende Technik ist, die Resektion zunächst an der lateralen Kante des Akromions zu beginnen und quasi mit der Fräse zunächst eine Eingangsebene festzulegen, innerhalb derer dann schrittweise nach medial voran gearbeitet wird (s. Abb. 8.5–8.8).

Das Resezieren mit der Fräse ist dabei grundsätzlich vorsichtig und ohne Druckausübung durchzuführen.

Insbesondere muss ein Hebeln, z.B. um die laterale Akromionkante, vermieden werden, da ansonsten die Gefahr besteht, abzugleiten und einen Defekt im Akromion zu erzeugen. Als Fräsinstrument ist ein 5,0 mm Akromionizer (z.B. FMS, DePuy Mitek) ideal.

Schrittweise wird die Fräse mit nur geringer Kraft und gleichmäßig gleitend in scheibenwischerartigen Bewegungen in der anteroposterioren Ebene bewegt. Die Spitze der Fräse wird dabei quasi wie ein Pinsel an der Unterseite des Akromions entlang geführt. Es empfiehlt sich, während der OP die Resektionsebene durch penible Kontrolle und Einstellung der Optik bzw. Markierungen von Landmarken mit einer Kanüle regelmäßig zu kontrollieren.

Alternativ kann die Dekompression auch so erfolgen, dass das Arthroskop von lateral und die Resektionsinstrumente von posterior eingebracht werden. Diese Technik bietet sich insbesondere dann an, wenn bei Vorliegen einer Rotatorenmanschettenruptur Übersicht über den Riss und eine entsprechende Rekonstruktion vor oder nach der Dekompression durchgeführt wird.

Die Übersicht über die relevanten Strukturen von Akromion, CAL und AC-Gelenk ist auch von lateral sehr gut möglich und gestattet im Gegensatz zur posterioren Optikpositionierung eine leichtere Visualisierung und Einschätzung der vorliegenden Inklination und Formgebung des Akromions in seiner anteroposterioren Ausdehnung, sodass die Resektion der anterioren Anteile des Akromions durch die Inklination der posterioren und medialen Anteile des Akromions vorgegeben werden. Dies erleichtert es dem Operateur, das Akromion in einen Typ I zu überführen, ohne es wesentlich zu kürzen oder eine Stufenbildung im Akromion zu verursachen.

Ein prinzipieller Nachteil der Technik besteht darin, dass die Fräse stets im Sichtfeld des AC-Gelenks liegt, was mit einer potenziellen Beschädigung desselben ein-

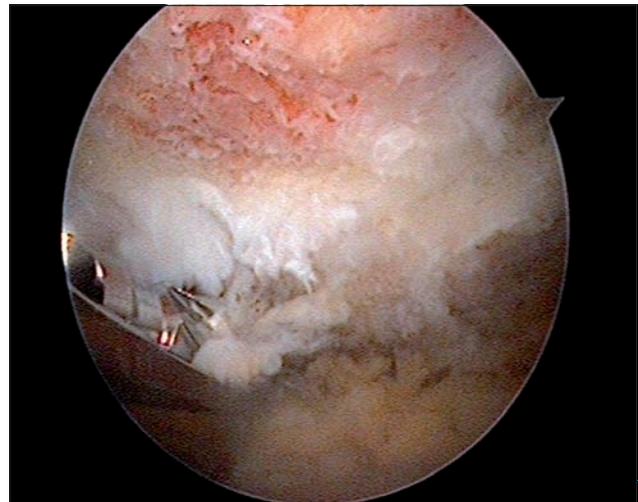
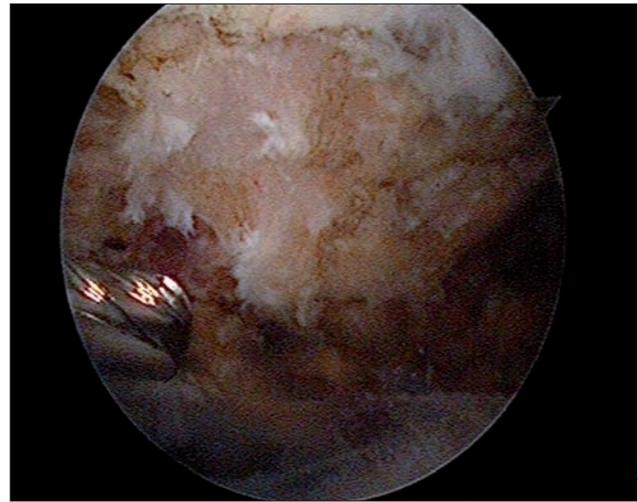


Abb. 8.5–8.8: Blick von posterior in den Subakromialraum einer linken Schulter. Subakromiale Dekompression mit einer Knochenfräse von lateral. Die Resektion erfolgt Bahn für Bahn. Zustand vor Resektion (**Abb. 8.5**), Resektion des lateralen Drittels (**Abb. 8.6**), des mittleren Drittels (**Abb. 8.7**) und die vollständig durchgeführte Dekompression (**Abb. 8.8**).

hergeht und das Ausmaß der Resektion nach medial hin schwerer einzuschätzen ist.

In der Praxis empfiehlt es sich, Optik und Arbeitsinstrumente bedarfsweise zwischen den Portalen zu wechseln, um die Vorteile beider Techniken in Anspruch nehmen zu können.

Fehler und Komplikationen bei der subakromialen Dekompression:

- ▲ **Verletzung des AC-Gelenks:** Ein versehentliches Verletzen der kaudalen Anteile der ACG-Kapsel mit Eröffnung des Gelenks kann postoperativ zu einer schmerzhaften ACG-Symptomatik führen. Die Eröffnung der Kapsel geschieht dabei recht leicht, wenn unbedacht entlang der Akromionvorderkante nach medial präpariert wird. Es gilt, ggf. durch Manipulation der Klavikula deren Lage im Weichgewebe herauszufinden.
- ▲ **Verletzung des M. deltoideus:** Aggressives Arbeiten am Rand des Akromions mit Radiofrequenz oder Shaver führt potenziell zu einer

Schwächung des Deltamuskels, die auch symptomatisch werden kann. Ebenso führt eine starke Verkürzung des Akromions anterior oder lateral analog zur Entfernung eines Os acromiale zu einer Schwächung der Deltoidinsertion, die sogar dann teilweise als palpabler Defekt diagnostiziert werden kann.

- ▲ **Zerstörung des Lig. coracoacromiale und des korakoakromialen Bogens:** Prinzipiell erfordert die Akromioplastik – wie erwähnt – keine vollständige Entfernung des Lig. coracoacromiale, vielmehr je nach Anatomie der Insertion des Bands nur eine vorsichtige Teilablösung der Anteile des Bands, die den Überhang bzw. den Akromionsporn verdecken, sodass der anteriore Teil des korakoakromialen Bogens erhalten bleibt. Im ungünstigen Fall führt bei RM-Insuffizienz die komplette Entfernung des Bands zu einer anterosuperioren Migration des OA-Kopfs bis in den Subkutanbereich. Ein weiterer Fehler ist es, das Band akromial abzulösen und den Bandstumpf dann so zu belassen, dass Verwach-

sungen des Bands mit der Rotatorenmanschette und dem Rotatorenintervall auftreten können, was eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung verursachen kann.

- ▶ **Insuffiziente Akromioplastik:** Das Belassen osteophytärer Veränderungen am Akromion bzw. unsauberer Fräsen mit der Folge von Unebenheiten auf der subakromialen Knochenfläche, z.B. infolge ungenügender Übersicht oder schlechter arthroskopischer Orientierung, führt regelhaft zu klinisch schlechten Ergebnissen mit subakromialen Schmerzsymptomen und dem Auftreten von Bewegungseinschränkungen.

Arthroskopische AC-Gelenkresektion

Das AC-Gelenk liegt medial der anterioren Anteile des Akromions und außerhalb der Bursa subacromialis, die im Durchschnitt ca. 7 mm medial vom ACG endet [1]. Medial dieser Bursabegrenzung, direkt kaudal des AC-Gelenks und der lateralen Klavikula befindet sich vaskularisiertes Fettgewebe.

Das korakoakromiale Ligament, das an der anterioren und anteroinferioren Fläche des Akromions entspringt, strahlt nach medial in die angrenzende ACG-Kapsel ein [19]. Diese dicke und fibröse Gelenkkapsel liegt zirkumferenziell um das komplette Gelenk herum und stellt mit seinen starken Fasern eine wichtige stabilisierende Komponente dar [18]. Speziell die superioren Fasern, als stärkste Kapselanteile [16], bilden den wichtigsten Stabilisator gegen eine posteriore Dislokation und posteriore axiale Rotation der Klavikula [4, 6]. Ein Zentimeter medial der Gelenkfläche der lateralen Klavikula beginnt die Insertion der korakoklavikulären Bänder.

Das pathologisch veränderte ACG ist ein häufiger Grund für Schulterschmerzen und verminderte Schulterbeweglichkeit, insbesondere der Innenrotation. Beide Folgen der pathologischen Veränderungen führen zu einer nichtphysiologischen und eingeschränkten Schulterfunktion. Häufigste Ursachen sind primäre oder posttraumatische arthrotische Veränderungen oder therapierefraktäre Osteolysen. Arthroskopisch darstellbare pathologische Veränderungen können inferiore Osteophyten oder eine inferiore Kapselruptur mit oder ohne Hervortreten des Discus interarticularis sein. Nach inferior reichende Osteophyten treten sowohl an der lateralen Klavikula als auch am medialen Akromion auf und können eine mechanische Irritation der Rotatorenmanschette verursachen. Der Discus interarticularis und die Knorpelflächen des ACG können komplett abgenutzt sein mit der Folge, dass manchmal ein sehr enger praktisch aufgehobener Gelenkspalt resultiert, der die ar-

throskopische Darstellung des Gelenks erschwert. Die funktionell wichtigen superioren Kapselanteile (akromioklavikuläre Ligamente) können arthroskopisch in den meisten Fällen nur während bzw. nach einer ACG-Resektion visualisiert werden.

Diagnostik

Ein wichtiger Hinweis auf das Vorliegen einer ACG-Problematik ist dann vorhanden, wenn vom Patienten bei der klinischen Untersuchung Schmerzen direkt auf dem bzw. um das ACG beschrieben werden (Fingerzeichen). Nicht selten werden die Schmerzen nach medial bis hin in den Nacken ziehend beschrieben, deutliche Nachtschmerzen beim Liegen auf der betroffenen Seite sind ebenfalls häufig. Druckschmerzen zeigen sich insbesondere häufig über dem posterioren ACG (Paxinos-Test). Oft ist eine endgradige Einschränkung der Innenrotation bei den betroffenen Patienten auffällig. Sowohl der *cross-body-Test* als auch der *active compression test* (O'Brien) erzeugen Druck- und Torsionskräfte im AC-Gelenk und führen zu Schmerzhaftigkeit bei pathologisch verändertem Gelenk.

Eine Darstellung des AC-Gelenks mittels Röntgen oder MRT ist im Rahmen der Untersuchung obligat. Dabei ist allerdings wichtig zu wissen, dass arthrotische Veränderungen in der Bildgebung, besonders der MRT, auch bei asymptomatischen Patienten sehr häufig vorkommen und keineswegs immer eine klinische Bedeutung haben. Vielmehr ist die Bildgebung erforderlich, um die Morphologie des Gelenks (Ausrichtung des Gelenkspalts, Lokalisation und Ausdehnung von Osteophyten, Osteolysen, Instabilität, Os acromiale) im Rahmen der OP-Planung einschätzen zu können.

Zeigt das AC-Gelenk degenerative Veränderungen und ist die klinische Untersuchung nicht eindeutig, ist eine Infiltration mit Lokalanästhetikum eine sensitive Methode, um herauszufinden, ob das AC-Gelenk die Patientensymptomatik verursacht.

OP-Technik zur ACG-Resektion

Grundsätzlich führen wir die ACG-Resektion indirekt vom Subakromialraum aus durch. Alternativ hierzu existiert auch die Möglichkeit eines direkten arthroskopischen Zugangs zum ACG [9], wobei diese Technik ein anterosuperiores und ein posterosuperiores Portal direkt vor und hinter dem ACG zur Durchführung der Resektion nutzt.

Wir bevorzugen eine indirekte arthroskopische 3-Portal-Technik (A-, C- und E-Portal). Wenn die ACG-Resektion bei dem geplanten Eingriff im Vordergrund

steht, bevorzugen wir ein modifiziertes posteriores A-Portal, das in einer Ebene mit der a.p. Ausrichtung des AC-Gelenks meist weiter medial als das Standard-A-Portal angelegt wird. Ein Einführen des Arthroskops nach glenohumeral ist über diese Portal gleichwohl aber möglich. Ein Debridement und Coplaning sowie eine vollständige ACG-Resektion können sowohl ohne als auch in Verbindung mit einer Akromioplastik durchgeführt werden.

Im Gegensatz zum klassischen offenen Vorgehen, bei dem meist lediglich die laterale Klavikula reseziert wird, erachten wir auch die Resektion der akromialen Gelenkfläche als wichtig, da auch sie an den degenerativen und symptomatischen Veränderungen teilnimmt. Der sehr wichtige Erhalt der superioren Kapsel des ACG fällt bei diesem Vorgehen auch leichter aus, da so auch der akromionseitige Recessus der Kapsel genutzt und die ACG-Resektion damit zu gleichen Teilen an beiden Gelenkpartnern durchgeführt wird. Die superiore ACG-Kapsel, das sog. akromioklavikuläre Ligament, wird während der arthroskopischen ACG-Resektion dargestellt und unbedingt geschont.

Prinzipielles Ziel ist eine knöcherne Resektion auf einer Breite von ca. 6–8 mm. Die Dicke der verwendeten Fräse ist hier ein Hilfsmittel, um die Resektionsbreite abzuschätzen. Bei einer kleinen 4-mm-Fräse, wie sie von uns bevorzugt wird, entspricht folglich eine typische Resektionsbreite der 1,5- bis 2fachen Dicke des Instruments. In Fällen eines Os acromiale muss nach erfolgter ACG-Resektion die Stabilität des Akromions geprüft werden. Besteht eine Instabilität, muss entweder eine Resektion oder eine Osteosynthese erfolgen.

Arthroskopische Darstellung des ACG

Mit dem Arthroskop posterior wird vom Subakromialraum ausgehend die inferiore Kapsel des ACG darge-



Abb. 8.9: Blick von posterior in eine linke Schulter. Mit der Knochenfräse wird durch das laterale C-Portal die laterale Klavikula geebnet (Coplaning).

stellt, wobei meist die Bursa subacromialis eröffnet und debridiert werden muss. Zur Orientierung dienen hier die anteriore Akromionkante und das CAL. Es wird entlang dem CAL schrittweise nach medial präpariert, die laterale Klavikula befindet sich dann medial und direkt oberhalb des Ligaments innerhalb von Fettgewebe. Ein ausreichendes Debridement des Fettgewebes und der Bursa sind Voraussetzung, um das ACG in seinen kaudalen Begrenzungen sicher darstellen zu können, was mit Shaver oder einer Radiofrequenzsonde durchgeführt wird. Eine Manipulation der Klavikula von kranial durch FINDERDRUCK ist ggf. hilfreich, meist aber nicht erforderlich.

Debridement und Coplaning durch das laterale C-Portal

Die Resektion beginnt mit dem Debridement der inferioren Kapsel und des Discus interarticularis. Nicht selten tritt aus dem arthrotischen Gelenk dabei etwas seröse Flüssigkeit aus. Um die laterale Klavikula vollständig von anterior nach posterior darstellen zu können, muss die mediale Begrenzung des Akromions, insofern sie primär oder durch sekundäre degenerative Veränderungen prominent ist, geglättet werden. Die knöcherne Resektion beginnt dann mit dem Abtragen inferiorer Osteophyten an Klavikula und Akromion (Coplaning, s. Abb. 8.9).

Grundsätzlich ist Vorsicht geboten, um mit der Resektion nicht zu weit nach medial zu geraten. Aufgrund der Formgebung der Klavikula kann eine übermäßige Resektion der Klavikula nach medial diese so schwächen, dass sogar Frakturen auftreten können. Insbesondere geraten aber bei zu weit nach medial gerichteter Fräsung die korakoklavikulären Bänder in Gefahr. Das Lig. trapezoideum inseriert ca. 16 mm und das Lig. conoideum ca. 30 mm medial vom AC-Gelenk [15].

In den meisten Fällen weisen die Knorpelflächen des ACG bei symptomatischen Patienten vollschichtige Läsionen auf. Ein reines Coplaning ist in diesen Fällen nicht mehr ausreichend, sodass dann die Indikation zur kompletten ACG-Resektion gegeben ist.

ACG-Resektion

Die eigentliche ACG-Resektion wird mit der Anlage eines speziell ausgerichteten anterioren Portals (E-Portal) begonnen. Die Platzierung erfolgt exakt ventral des ACG-Spalts. Dieses Portal liegt deutlich medial und kranial der ansonsten üblichen anterioren Portale, die durch das Rotatorenintervall verlaufen. Es gelingt i.d.R., das Portal kranial und medial des CAL zu platzieren, ohne das Band zu verletzen. Die tastbaren Enden der lateralen Klavikula und ggf. auch der fühlbare Gelenkspalt des ACG dienen bei der Anlage des Portals als Landmarken.

Die korrekte Anlage dieses Portals ist für eine saubere knöcherne Resektion von größter Wichtigkeit, was

durch Sondierung mit einer Metallkanüle unter arthroskopischer Sicht zunächst überprüft werden sollte. Unvollständige und fehlerhafte Resektionen am AC-Gelenk sind meist direkt mit falsch angelegten Portalen assoziiert. Ein Einführen der Resektionsfräse planparallel zu den Gelenkflächen gelingt dabei nur, wenn das Portal streng in Verlaufsrichtung des Gelenkspalts angelegt wurde. Ein um wenige Millimeter zu medial oder laterales angelegtes Portal bedeutet, dass die kranialen Anteile der lateralen Klavikula oder des medialen Akromions nicht mehr mit der Fräse erreicht werden können und ggf. als Stufe verbleiben, was regelhaft mit schlechten klinischen Resultaten postoperativ assoziiert ist.

Es ist bekannt, dass die Ausrichtung des AC-Gelenks sowohl in der Sagittal- als auch der Transversalebene relativ stark variiert [5]. Sie ist von der Länge und Form von Akromion und Klavikula abhängig und muss durch geeignete Bildgebung präoperativ evaluiert werden. Nach korrekter Lage der Sondierungskanüle wird dann das anteriore Portal unter Sicht angelegt, in dem bei belassener Kanüle als Leitstruktur unter Sicht mit dem Skalpell die anteriore Kapsel des ACG eröffnet wird (s. Abb. 8.10).

Mit Shaver oder Radiofrequenzsonde erfolgt dann zunächst das Debridement der Weichteile, wobei inferiore Kapsel und Diskus interarticularis entfernt werden. Die bereits von lateral begonnene, knöcherne ACG-Resektion wird nun mit einer Fräse durch das E-Portal vervollständigt. Es empfiehlt sich, die Optik ggf. mehrfach zwischen A-, C- und E-Portal zu wechseln, um einen dreidimensionalen Eindruck der Resektion zu erhalten und somit das Risiko von fehlerhafter Knochenentfernung zu vermeiden. Die Knochenresektion der anterioren $\frac{2}{3}$ der lateralen Klavikula und des medialen Akromion kann mit der Optik im posterioren Portal durchgeführt werden, der Einblick ist umso besser, je medialer das posteriore Portal angelegt wurde. Mit der Optik nach kranial gerichtet kann aus dieser Perspektive gut in den Gelenkspalt gesehen und die superiores Kapselanteile kontrolliert werden. Die superiores Anteile der posterioren Klavikula sind vom A-Portal allerdings schlecht sichtbar, sodass das Arthroskop hier zur Kontrolle meist von ventral (E-Portal) eingeführt werden sollte (s.u.).

Initial wird eine Vertiefung definierter Tiefe (Shaverbreite) am anteroinferioren Aspekt des AC-Gelenks geschaffen, wobei gleichermaßen vom Akromion und von der Klavikula reseziert wird. Die Resektion wird dann leicht domförmig oder parallel nach superior und posterior ausgedehnt, wobei beim Handling der Fräse prinzipiell dieselben Prinzipien wie bei der Akromioplastik angewandt werden. Ziel ist es, zuerst durch die Resektion der Kortikalis eine Eröffnung des Gelenkspalts von ventral zu schaffen. Die härtesten Kortikalisabschnitte be-

finden sich nach unserer Erfahrung am anterolateralen Aspekt der Klavikula und am anteromedialen Rand des Akromions. Diese Areale sollten als erstes reseziert werden, da ansonsten die Fräse nicht ausreichend weit nach posterior und superior eingeführt werden kann. Parallel zur Gelenkfläche wird nun die Fräse ohne wesentliche Druckwirkung abwechselnd der klavikulären und der akromialen Seite zugewandt. Schrittweise kann so nach posterior weiter gearbeitet werden, in dem immer erst die inferiore Kortikalis der Klavikula und des Akromions entfernt und dann schrittweise nach kranial gewandt spongioser Knochen reseziert wird. Dabei sollte die posteriore und superiore Gelenkkapsel minutiös geschont werden. Eine gute Visualisierung sowie eine zu jeder Zeit kontrollierte Führung der Fräse sind dabei unabdingbar. Im kranialen Abschnitt sollte immer dabei streng zu den Resektionsflächen hin und niemals nach oben entgegen der Kapsel gerichtet werden. In dieser Technik kann die Fräse mit ihrem Schaftanteil dabei sanft gegen die obere Kapsel gedrückt werden, wodurch dann die Resektion der oberen Kortikalis ermöglicht wird, ohne die Kapsel dabei zu verletzen.

Für die Resektion des letzten, posterioren Drittels des ACG wechseln wir die Optik meist in das laterale C-Portal, um eine bessere Visualisierung der posterioren und posterosuperioren Anteile der Gelenkkapsel zu erhalten (s. Abb. 8.11–8.13). Die Übersicht über die posterosuperioren Anteile der Gelenkflächen gelingt allerdings auch in dieser Technik nicht immer ausreichend, sodass das Risiko besteht, hier eine Knochenbrücke kranial zu belassen. Aus diesem Grund sollte die Optik mehrfach nach anterior gewechselt werden, was eine direkte Visualisierung der posterosuperioren Anteile der Gelenkflächen ermöglicht. Ebenso können durch diese Einstellung der Optik von ventral durch das E-Portal die superiore Gelenkkapsel und die akromioklavikulären Bänder



Abb. 8.10: Anlage eines anterolateralen E-Portals. Blick von posterior in eine linke Schulter. Das mit einer Nadel markierte A-Portal wird durch eine geringfügig erweiterte Stichinzision angelegt.



11



12



13

Abb. 8.11–8.13: Schritte einer ACG-Resektion aus der Perspektive des lateralen C-Portals. Die Resektion erfolgt Bahn für Bahn. Eröffnung des ACG durch Resektion des anterioren Drittels (**Abb. 8.11**), des mittleren Drittels (**Abb. 8.12**) und Resektion des lateralen Drittels (**Abb. 8.13**).

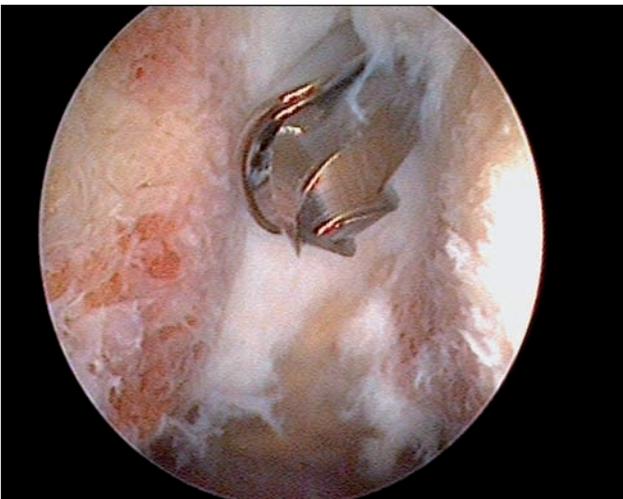


Abb. 8.14: Optionaler superiorer Zugang durch die posterosuperiore Gelenkkapsel aus der Perspektive des anterolateralen E-Portals.

betrachtet werden, um sicherzustellen, dass allseits glatte Resektionsflächen und ein intakter Kapselbandapparat vorhanden sind. Sind noch Knochenüberstände oder unsaubere Resektionsflächen in diesem Areal vorhanden, sollten dann entsprechende Nachbesserungen mit großer Sorgfalt durchgeführt werden.

Gelingt keine ausreichende Darstellung der posterosuperioren Anteile des AC-Gelenks von lateral oder posterior bei gleichzeitiger Instrumentierung mit der Fräse von ventral, empfehlen wir die Anlage eines weiteren anterolateralen Portals (D-Portal) zur Visualisierung: Dies gestattet bei nach posterosuperior gerichteter Optik einen meist guten Einblick in den posterosuperioren Gelenkspalt, wobei gleichzeitig von anterior (E-Portal) gefräst werden kann. Alternativ kann über ein zusätzliches Portal direkt posterior des AC-Gelenks durch die Fossa supraspinata eine Fräse eingebracht werden (s. Abb. 8.14). Ein Nachteil dieses Vorgehens liegt allerdings in der potenziellen Schwächung der essenziellen posterosuperioren Gelenkkapsel mit dem akromioklavikulären Bandapparat.

Fehler und Komplikationen bei der ACG-Resektion:

- ▲ **Unvollständige oder unsaubere Knochenresektionen:** Unsaubere und unvollständige Knochenresektionen, wie z.B. das Belassen von Knochengraten, insbesondere an den posterosuperio-

ren Gelenkflächen, führen regelhaft zu Schmerzhaftigkeit im postoperativen Verlauf, die mitunter sehr ausgeprägt sein kann. Die Analyse derartiger Verhältnisse gelingt meist durch eine ACG-Zielaufnahme bzw. CT. Ist die Diagnose von verbliebenen Knochenresten bestätigt, ist eine arthroskopische oder offene Revision indiziert.

- ▲ **Iatrogene Klavikulainstabilität:** Die CC-Ligamente (Lig. trapezoideum und Lig. conoideum) können bei übermäßig nach medial ausgedehnter Knochenresektion, beim Coplaning oder beim Weichteildebridement beschädigt werden, was eine Instabilität der lateralen Klavikula nach kranial und dorsal verursachen kann. Ebenso resultiert eine Verletzung der akromioklavikulären Bänder ggf. in einer dorsalen Klavikulainstabilität [3], die bei zusätzlich vorhandener unsauberer Knochenresektion dann umso mehr symptomatisch wird. Eine (meist offene) Rekonstruktion des Bandapparats mit ggf. Nachresektion an den Knochenflächen ist bei entsprechender Klinik als Revision dann entsprechend erforderlich.
- ▲ **Destabilisierung eines Os acromiale:** Durch die ACG-Resektion kann ein bislang asymptomatisches Os acromiale so destabilisiert werden, dass Schmerzen (Impingement gegen das Os acromiale mit ggf. anteriorer Deltamuskelinsuffizienz) auftreten können. Eine axiale Röntgenaufnahme bzw. Schnittbildgebung (MRT oder CT) zum Ausschluss eines Os acromiale vor einer geplanten ACG-Resektion ist daher obligat. Ist eine Destabilisierung einmal eingetreten, ist eine operative Stabilisierung (Schrauben, Zuggurtung) indiziert.

Zusammenfassung

Impingementsyndrom und AC-Gelenk sind häufige Ursachen für Schulterschmerzen und eingeschränkte Schulterfunktion. Die Zusammenhänge zwischen der Anatomie und pathologischen Veränderungen der Strukturen im Subakromialraum sind komplex, wobei primäre (zugrunde liegende anatomische Verhältnisse) und sekundäre Veränderungen am Akromion, CAL und Rotatorenmanschette sich gegenseitig beeinflussen und letztlich zur Pathologie führen.

Die Funktion der Rotatorenmanschette, den Humeruskopf zu zentrieren, spielt hierbei eine zentrale Rolle. In Fällen der primären und bestimmten Formen des sekundären Impingements sowie nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette ist in vielen Fällen die subakromiale Dekompression indiziert, um eine ungestörte Funktion der Rotatorenmanschette zu gewährleisten.

Die Resektion des AC-Gelenks ist bei Vorliegen der schmerzhaften und therapierefraktären ACG-Arthrose indiziert. Eine vorliegende Instabilität des AC-Gelenks muss jedoch unbedingt berücksichtigt und ggf. mitbehandelt werden.

Literatur zur Vertiefung

1. Beals TC, Harryman DT II, Lazarus MD, Useful boundaries of the subacromial bursa. *Arthroscopy* (1998), 14, 465–470
2. Bigliani LH, Morrison DS, April EW, The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears. *Orthop Trans* (1986), 10, 228
3. Blazar PE, Iannotti JP, Williams GR, Anteroposterior instability of the distal clavicle after distal clavicle resection. *Clin Orthop Relat Res* (1998), 348, 114–120
4. Branch TP et al., The role of the acromioclavicular ligaments and the effect of distal clavicle resection. *Am J Sports Med* (1996), 24, 293–297
5. Edelson JG, Taitz C, Anatomy of the coraco-acromial arch. Relation to degeneration of the acromion. *J Bone Joint Surg Br* (1992), 74, 589–594
6. Fukuda K et al., Biomechanical study of the ligamentous system of the acromioclavicular joint. *J Bone Joint Surg Am* (1986), 68, 434–440
7. Gerber C, Terrier F, Ganz R, The role of the coracoid process in the chronic impingement syndrome. *J Bone Joint Surg Br* (1985), 67, 703–708
8. Hawkins RJ, Kennedy JC, Impingement syndrome in athletes. *Am J Sports Med* (1980), 8, 151–158
9. Johnson LL (1986) *Arthroscopic surgery: principles and practice*, 3rd ed., 135–139. Mosby, St. Louis
10. MacGillivray JD et al., Multiplanar analysis of acromion morphology. *Am J Sports Med* (1998), 26, 836–840
11. Neer CS II, Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg* (1972), 54, 41–50
12. Neer CS, Poppo NK, Supraspinatus outlet. *Orthop Trans* (1987), 11, 234
13. Nicholson GP, Mazzocca AD, Romeo AA, Acromioclavicular Capsular Anatomy. Presented at the 19th Annual American Shoulder and Elbow Surgeons Meeting, Pebble Beach, CA, November 1, 2002
14. Ogata S, Uthoff HK, Acromial enthesopathy and rotator cuff tear. A radiologic and histologic postmortem investigation of the coracoacromial arch. *Clin Orthop Relat Res* (1990), 254, 39–48
15. Renfree KJ et al., Ligamentous anatomy of the distal clavicle. *J Shoulder Elbow Surg* (2003), 12, 355–359
16. Salter EG Jr, Nasca RJ, Shelley BS, Anatomical observations on the acromioclavicular joint and supporting ligaments. *Am J Sports Med* (1987), 15, 199–206
17. Torpey BM et al., The deltoid muscle origin. Histologic characteristics and effects of subacromial decompression. *Am J Sports Med* (1998), 26, 379–383
18. Urist MR, The treatment of dislocations of the acromioclavicular joint: a survey of the past decade. *Am J Surg* (1959), 98, 423–431
19. Hunt JL, Moore RJ, Krishnan J, The fate of the coracoacromial ligament in arthroscopic acromioplasty: an anatomical study. *J. Shoulder Elbow Surg.* (2000) 6, 491–494.

9 Kalzifizierende Tendinitis

M. Tröger, J. D. Agneskirchner

Einleitung

Die Tendinitis calcarea ist eine Erkrankung, deren Ätiologie bis heute ungeklärt ist. Zahlreiche Versuche, eine direkte Kausalität zu verschiedenen Stoffwechsel- oder Systemerkrankungen herzustellen oder aber eine genetische Veranlagung nachzuweisen, schlugen fehl.

Die Tendinitis calcarea ist charakterisiert durch einen aktiven zellvermittelten Prozess mit Calciumeinlagerung in vitales, einer fibroartilaginären Metaplasie unterworfenen, Sehngewebe der Rotatorenmanschette. Die Erkrankung hat einen selbstlimitierenden Charakter mit Durchlaufen verschiedener Stadien, letztendlich spontanen Abbau der Calciumeinlagerungen und vollständiger Heilung der Sehne. Dabei ist die Dauer der einzelnen Phasen nicht absehbar, Verläufe von wenigen Monaten bis zu vielen Jahren sind beschrieben.

Auch die klinische Symptomatik verläuft stadienhaft mit geringer oder fehlender Schmerzhaftigkeit während der Phase der Kalkeinlagerung und andererseits heftiger, akuter Symptomatik während der Phase der Kalkauflösung.

Definition

Duplay erkannte 1871 die Bursa subacromialis als ursächlich für Schulterschmerzen und prägte den lange Zeit verwendeten und weit verbreiteten Terminus Periarthritis humeroscapularis. Painter beschrieb erstmals Kalkeinlagerungen in der Bursa subacromialis 1907 und hielt diese für die klinische Symptomatik verantwortlich. Codman erkannte dann schließlich 1909 erstmalig Verkalkungen in den Sehnen der Rotatorenmanschette selbst und Wrede bestätigte dies in histologischen Untersuchungen im Jahre 1912. Diese intratendinösen Kalkeinlagerungen wurden im Laufe der Zeit durch viele Autoren bestätigt (Schaer 1936; Sandstrom 1938; McLaughlin 1946). Diese Kalkeinlagerungen wurden i.Allg. lange Zeit als degenerativer Prozess im Sehngewebe der kritisch durchbluteten Zone verstanden. Moseley beschrieb 1963 seinen intraoperativen Eindruck einer gut durchbluteten Sehne um die Calciumeinlagerungen und widersprach damit einer primär degenerativen Genese. De Seze und Welfing unterstützten diese Vermu-

tung 1970 und beschrieben erstmals einen Prozess von der Kalkeinlagerung bis zur spontanen Sehnenheilung und prägten den Begriff der kalzifizierenden Tendinitis.

Uthhoff stellte 1976 zahlreiche Untersuchungen an und konnte ebenfalls zeigen, dass es sich bei den Kalkeinlagerungen um einen aktiven, zellvermittelten Prozess in vitalem Sehngewebe handelt, der in verschiedenen Stadien abläuft. Uthhoff konnte den verschiedenen Phasen von der formativen bis zur resorptiven die histologischen Veränderungen zuordnen und so wesentlich zum besseren Verständnis der Tendinitis calcarea beitragen.

Pathogenese

Der zyklische Ablauf der Tendinosis calcarea mit seinen histologischen Veränderungen wurde in den 1970er Jahren ausführlich von Uthhoff beschrieben.

Einer Formationsphase als einem aktiven, zellvermittelten Prozess folgt demnach eine Resorptionsphase mit letztendlich folgender vollständiger Regeneration der Sehne.

Im Genaueren ist eine präkalzifische Phase mit chondroider Metaplasie der Sehne von der kalzifischen Phase mit der eigentlichen Kalkeinlagerung abzugrenzen. Diese wiederum lässt sich in eine Formations-, Ruhe- und Resorptionsphase gliedern. In der postkalzifischen Phase findet dann schließlich die vollständige Reintegration der Sehne statt:

- ▲ Formationsphase: **präkalzifisch** (Metaplasie)
- ▲ Ruhephase: **kalzifisch** (Kalkeinlagerung)
- ▲ Resorptionsphase: **postkalzifisch** (Reparation)

Diagnostik

Klinische Diagnostik

Das klinische Erscheinungsbild der Tendinitis calcarea ist äußerst variabel und abhängig von dem gerade durchlaufenen Stadium der Erkrankung. De Palma (1961) unterschied zwischen akuten, subakuten und chronischen Verläufen.

Während der formativen Phase ist die Mehrzahl der Patienten asymptomatisch oder berichtet allenfalls über

einen unterschweligen Schmerz. Meist handelt es sich in dieser Phase um Zufallsbefunde in der radiologischen Diagnostik.

Häufiger werden die Patienten mit einem hochakuten Schmerzbild vorgestellt, ohne erinnerliches traumatisches oder auslösendes Ereignis. Es imponiert fast ausnahmslos ein quälender Ruhe- und insbesondere Nachtschmerz. Das Liegen auf der betroffenen Schulter wird überwiegend als äußerst schmerzhaft beschrieben. Die Beweglichkeit ist meist in allen Ebenen schmerzhaft eingeschränkt, insbesondere die Rotation und die Abduktion über die Horizontale hinaus sind stark schmerzhaft.

Eine genauere klinische Untersuchung und Beurteilung gestalten sich meist schwierig, da alle üblichen Funktionsteste, wie die isometrischen Rotatorenmanschetten- oder Impingementeste, schmerzhaft sind. Ein subakromialer Injektionstest kann u.U. mit einem Lokalanästhetikum eine spontan verbesserte, meist zumindest passiv nahezu freie Beweglichkeit ermöglichen.

Das klinische Bild kann in sehr ausgeprägten Fällen dem einer Infektion mit Rötung, Schwellung, Überwärmung und äußerster Druckschmerzhaftigkeit durchaus ähnlich sein. Auch die Laborparameter, wie Leukozyten und CRP (C-reaktives Protein), können hierbei mäßig erhöht sein. Meist lassen die Anamnese mit fehlender vorbestehender invasiver Therapie und die radiologische Sicherung eines Kalkherds eine Infektion eher unwahrscheinlich erscheinen.

In der radiologischen Diagnostik zeigen sich bei solch akuten Verläufen meist Kalkherde, die der Phase der Resorption zuzuordnen sind.

Der klinische Verlauf ist variabel, hochakute Phasen dauern meist 2–3 Wo., subakute Phasen bis zu mehreren Monaten.

Bildgebende Diagnostik

Die Röntgendiagnostik ist der Goldstandard zur Diagnosefindung bei Tendinitis calcarea und somit obligat.

Als Standard gelten i.Allg. eine a.p. Aufnahme in Neutralstellung (Darstellung Supraspinatus) sowie eine zusätzliche Darstellung in Innen- (Infraspinatus) und Außenrotation (Subscapularis).

In unserem klinischen Alltag bewährt hat sich, weil standardmäßig bei den meisten Schulterpatienten durchgeführt, die Darstellung des betroffenen Schultergelenks in 3 Ebenen mit a.p., Axial- und *outlet-view*-Aufnahme. Auf diese Weise lässt sich nahezu jeder Kalkherd sicher darstellen und lokalisieren.

Einerseits lässt sich die Diagnose durch Auffinden eines Kalkherds und entsprechender Klinik sichern, andererseits kann das Kalkdepot lokalisiert werden, und die Konfiguration lässt Aussagen über das Stadium der Er-

krankung zu. Dies trägt wesentlich zur Entscheidungsfindung der einzuschlagenden Therapie bei.

Eine radiologische Einteilung in 4 Typen ist von Patte und Goutallier (1988) vorgeschlagen worden:

- ▲ Typ I: scharf begrenzt, homogen
- ▲ Typ II: unscharf begrenzt, homogen
- ▲ Typ III: scharf begrenzt, inhomogen
- ▲ Typ IV: unscharf begrenzt, inhomogen

Gärtner (1993) versuchte, dem radiologischen Erscheinungsbild eine bestimmte Phase des Tendinitis-calcarea-Zyklus zuzuordnen und unterschied 3 Typen:

- ▲ Typ I: scharf begrenzt, nicht fragmentiert, homogen dicht – **Formations-/Ruhephase**
- ▲ Typ II: beginnend unscharf begrenzt, noch homogen dicht, evtl. fragmentiert – **frühe Resorptionsphase**
- ▲ Typ III: unscharf begrenzt, wolzig, inhomogen dicht – **fortgeschrittene Resorptionsphase**

Eine im klinischen Alltag gut anwendbare Klassifikation wurde von der Französischen Arbeitsgemeinschaft für Arthroskopie 1993 vorgeschlagen:

- ▲ Typ A: scharf begrenzt, homogen
- ▲ Typ B: scharf begrenzt, heterogen
- ▲ Typ C: unscharf begrenzt, heterogen
- ▲ Typ D: dystrophe Kalzifikation am Sehnenansatz

Hier wird als Typ D die dystrophe Kalzifikation direkt am Sehnenansatz als degeneratives Geschehen von der Tendinitis calcarea als ansatznahe Kalzifikation in vitalem Sehngewebe als zellvermittelter Prozess bewusst abgegrenzt.

Andere bildgebende Verfahren, insbesondere die MRT, sind zur weiteren Abklärung von Differenzialdiagnosen u.U. sinnvoll, insbesondere dann, wenn ein **zufällig** diagnostizierter Kalkherd nicht mit dem klinischen Bild in Einklang zu bringen ist. Nicht jeder Kalkherd muss klinisch symptomatisch sein, sodass weitere Pathologien ggf. in der MRT gesichert werden können.

Aus unserer Erfahrung zeigt sich jedoch, dass bei röntgenologisch dargestelltem Kalkherd und dazu passender klinischer Symptomatik meist keine weiteren wesentlichen Pathologien zu erwarten sind.

Zur Darstellung des Kalkherds ist die MRT wenig geeignet, Kalkdepots können hier leicht übersehen werden, da sie schlecht zur Darstellung kommen.

Auch die Sonographie ist der Röntgendiagnostik im Fall der Tendinitis calcarea unterlegen. Zwar lässt sich u.U. ein Kalkherd im Sinne einer echoreichen Sichel mit entsprechendem Schallschatten darstellen, aber eine genauere Beurteilung des Depots wie im Röntgen ist nicht möglich.

Kalkherde sind i.d.R. bei der sonographischen Darstellung weniger eindrucksvoll als im Röntgenbild, da

der Summationseffekt fehlt und teilweise diffuse Streuungen des Echos eine genauere Darstellung des Kalkherds unmöglich machen.

Ähnlich wie bei der MRT ist somit aus unserer Sicht die Sonographie wenig geeignet, Kalkherde darzustellen, und allenfalls orientierend oder aber differenzialdiagnostisch zu nutzen.

Therapie

Auf mögliche konservative Therapiemöglichkeiten, wie das Needling oder die extrakorporelle Stoßwellentherapie, soll hier im Weiteren nicht eingegangen werden. In unserem Therapieregime der Tendinitis calcarea hat sich die arthroskopische Entfernung des Kalkherds als Standard bewährt und durchgesetzt.

Bei entsprechend heftiger klinischer Symptomatik, passend zu einer Tendinitis calcarea, wie oben beschrieben, sollte also zunächst in der radiologischen Diagnostik durch konventionelle Röntgenbildgebung ein evtl. Kalkherd gesichert werden. Differenzialdiagnostisch kann es u.U. sinnvoll sein, eine MRT durchzuführen, auch wenn aus unserer Erfahrung bei nachgewiesenem Kalkherd und entsprechender klinischer Symptomatik regelhaft keine weiteren Pathologien zu erwarten sind.

Zeigt sich im Röntgenbild ein Kalkherd im fortgeschrittenen Resorptionsstadium, flau, wolkig, durchscheinend und unscharf begrenzt, kann ggf. eine abwartende Haltung eingenommen werden und eine symptomatische Therapie mit lokaler Kühlung, oralen Antiphlogistika oder aber Injektion eines Lokalanästhetikums mit Kortikoidzusatz eingeleitet werden. In diesem Fall besteht berechnete Hoffnung auf spontane vollständige Resorption des Kalkherds, und der klinische Verlauf sollte über 2–3 Wo. abgewartet werden, häufig sistieren die heftigen Beschwerden relativ spontan über wenige Tage. Eine Röntgenverlaufskontrolle kann u.U. die weitere Resorption bis hin zur vollständigen Lyse des Kalkherds dokumentieren. Bleibt die klinische Symptomatik jedoch über einen Zeitraum von Wochen ohne Besserungstendenz bestehen oder aber es zeigt sich ein eher gut begrenzter, solider Kalkherd ohne Anzeichen einer spontanen Resorption, ist aus unserer Sicht die Indikation zur operativen Intervention gegeben.

In direktem zeitlichem Zusammenhang zur geplanten OP sollte dringend eine letzte Röntgenverlaufskontrolle der betroffenen Schulter durchgeführt werden, um das Kalkdepot nochmals zu sichern und präoperativ eine genaue Lokalisierung durchführen zu können. Die arthroskopische Suche nach einem evtl. bereits spontan resorbierten Kalkherd kann u.U. äußerst lästig und nervenaufreibend sein.



Abb. 9.1: Von intraartikulär gesehen sind Kalkdepots im Supraspinatus meist nicht direkt zu sehen, zeigen aber gelegentlich eine vermehrte Gefäßzeichnung.

Die Arthroskopie kann in *beach-chair*-Position oder Seitenlage durchgeführt werden. Routinemäßig erfolgt zunächst ein diagnostischer Rundgang durch das Gelenk zum Ausschluss evtl. vorliegender Pathologien und zur dazugehörigen Bilddokumentation.

Das Aufsuchen des Kalkdepots kann noch beim Blick von intraartikulär beginnen. Hauptlokalisation des Kalkherds ist in 80–90% die Supraspinatussehne. Bei der genaueren Inspektion des ansatznahen Bereichs kann u.U. ein inflammatorischer Bezirk mit deutlicher Rötung und vermehrter Gefäßzeichnung auffallen. Mit einer Kanüle kann die Sehne von lateral sondiert werden, beim Durchstechen des Kalkdepots zeigt sich im Anschliff der Kanüle Kalk.

Die Kanüle kann entweder im Kalkdepot belassen werden und das Arthroskop nach subakromial gewechselt werden, oder aber es kann über die Kanüle ein PDS-Faden durch die Sehne nach intraartikulär geleitet werden, um das Kalkdepot mit dem inliegenden Faden zu kennzeichnen.

In den Subakromialraum gewechselt wird zunächst über einen lateralen Zugang, und eine sorgfältige Bursektomie zur Schaffung übersichtlicher Sichtverhältnisse wird durchgeführt. Die Oberfläche der Rotatorenmanschette wird dargestellt. Bei noch nicht lokalisiertem Kalkherd von intraartikulär wird nun von subakromial die Rotatorenmanschette inspiziert. Auch hier deutet häufig eine erhebliche Inflammation eines Bezirks auf das Kalkdepot hin, teilweise kann bei großen Herden die Oberfläche leicht erhaben sein und der Kalk weißlich durchscheinen (s. Abb. 9.2).

Mit einer Kanüle kann hier wiederum die Sehne sondiert werden, trifft man das Depot, zeigt sich meist reichlich Kalk in der Nadelspitze. Bei arthroskopischer Erfahrung und präoperativ in der Röntgendiagnostik durchgeführter genauer Lokalisation des Kalkherdes ge-

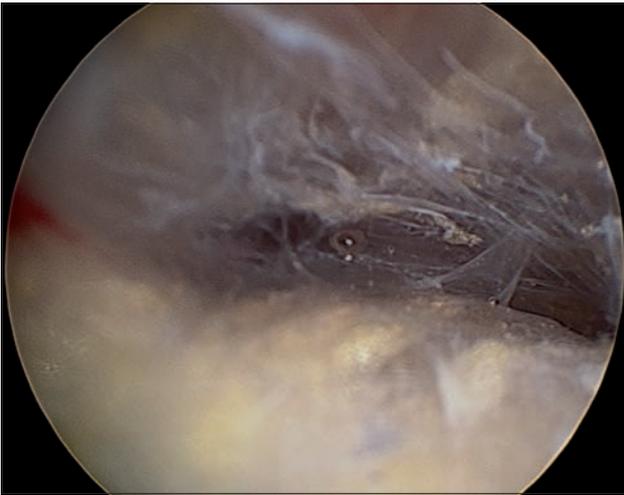


Abb. 9.2: Von bursaseitig zeigen sich Kalkdepots als weißlich schimmernde, gelegentlich erhabene Areale und sind gelegentlich von Bursavernarbungen eingemauert.

lingt i.d.R. das Auffinden rasch und problemlos. Schwierigkeiten bestehen meist nur dann, wenn keine zeitnahe radiologische Sicherung des Kalkherds erfolgt ist und evtl. eine spontane Lyse bereits stattgefunden hat, oder aber das Depot nicht sorgfältig und systematisch in den Röntgenbildern lokalisiert wurde und somit die Suche erschwert ist. Kalkherde, die sich in einem fortgeschrittenen Stadium der Lyse befinden, können teilweise ebenfalls erschwert aufgespürt werden, da sich bei der Suche nur geringe Mengen Kalk zeigen und so der intraoperative Befund nicht so beeindruckend erscheint.

Ist das Kalkdepot lokalisiert, wird im vermuteten Mittelpunkt die Sehne im Längsverlauf mit einem spitzen Skalpell auf einer Strecke von ca. 5–10 mm inzidiert (Abb. 9.3).

Meist kommt es hierbei schon spontan zu Kalkaufstöberungen. Entweder kann dann sofort mit einem Shaver freier Kalk vorsichtig abgesaugt werden, oder aber es wird zunächst mit einem kleinen scharfen Löffel

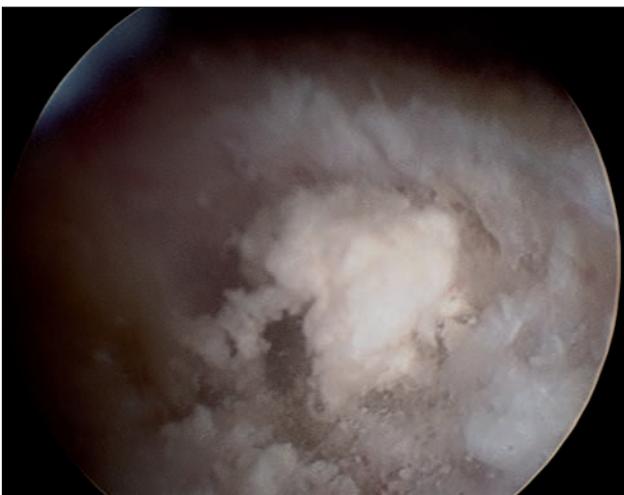


Abb. 9.3: Nach Eröffnung des Kalkdepots können die entweder rahmigen oder bröckeligen Kalkmassen entfernt werden.

weiter so viel Kalk wie möglich aus der Sehne gelöst. Die Sehne wird mit dem scharfen Löffel debridiert, bis sich keine Kalkaufwirbelungen mehr zeigen, dabei wird von der Inzision aus in alle Richtungen gearbeitet. Teilweise kann auch Kalk von der Oberfläche der Ränder zur Inzision hin ausgedrückt werden. Um möglichst wenig Kalk in den Subakromialraum und die Reste des Bursagewebes zu verteilen, empfiehlt es sich, gleichzeitig und kontinuierlich während des Debridements des Kalkherdes mit einem von dorsal oder ventral eingebrachten Shaver die zu Tage tretenden Kalkmassen abzusaugen.

Entsteht der Eindruck, dass der Großteil des Kalkherds entfernt wurde und sich keine wesentlichen Kalkpartikel mehr aufstößern lassen, wird die Sehne im Bereich der Inzision vorsichtig mit dem Shaver oder aber einer Elektrosonde geglättet (Abb. 9.4).

Eine Naht des Längsdefekts ist i.Allg. nicht erforderlich, aus unserer Erfahrung evtl. in manchen Fällen sogar kontraproduktiv, da die weitere Resorption von immer in der Sehne verbleibenden Restpartikeln Kalk u.U. behindert wird, wenn der Defekt wieder geschlossen wird. Eine locker adaptierende Naht sollte ggf. nur dann erfolgen, wenn der Längsdefekt sehr langstreckig erscheint und so die gesamte Kontinuität der Sehne nicht regelrecht erscheint.

Abschließend kann u.U. bei deutlichem ventralem Überhang des Akromions im Sinne eines Typ II–III nach Bigliani eine Akromioplastik durchgeführt werden. Verschiedene Studien zeigten keinen Vorteil einer zusätzlich durchgeführten subakromialen Dekompression, sodass dies aus unserer Sicht nicht routinemäßig durchgeführt werden sollte, sondern nur bei ausgeprägtem Überhang und dem V.a. eine erhebliche Impingementsymptomatik.

Eine Ruhigstellung im Gilchristverband sollte maximal bis zur Wundheilung für 7–10 Tage erfolgen, prinzipiell ist eine sofortige schmerzlimitierte physiotherapeutische Mobilisierung erlaubt und erwünscht.



Abb. 9.4: Nach Entfernung des Kalkdepots verbleibt meist eine Sehnenkaverne, welche keine Verbindung zum Glenohumeralraum aufweist, ein Verschluss durch Naht ist meist nicht erforderlich.

Eine begleitende antiphlogistische Therapie mit Diclofenac oder Ibuprofen sollte aus unserer Erfahrung für die ersten 10–14 Tage erfolgen.

Literatur zur Vertiefung

1. DePalma AF, Kruper JS, Long-term study of shoulder joints afflicted with and treated for calcific tendinitis. *Clin Orthop.* (1961), 20, 61–72.
2. Gärtner J, Heyer A, Calcific tendinitis of the shoulder. *Orthopade.* (1995), 3, 284–302
3. Gärtner J, Simons B, Analysis of calcific deposits in calcifying tendinitis. *Clin Orthop Relat Res.* (1990), 254, 111–120
4. McKendry RJ et al., Calcifying tendinitis of the shoulder: prognostic value of clinical, histologic, and radiologic features in 57 surgically treated cases. *J Rheumatol.* (1982), 9, 75–80
5. Ogon P, Prognostic factors in nonoperative therapy for chronic symptomatic calcific tendinitis of the shoulder. *Arthritis Rheum.* (2009), 60, 2978–2984.
6. Sarkar K, Uhthoff HK, Ultrastructural localization of calcium in calcifying tendinitis. *Arch Pathol Lab Med.* (1978), 102, 266–229
7. Uhthoff HK, Loehr JW, Calcific Tendinopathy of the Rotator Cuff: Pathogenesis, Diagnosis, and Management. *J Am Acad Orthop Surg.* (1997), 5, 183–191

11 Arthroskopische Rekonstruktion der Supraspinatussehnenruptur

J. D. Agneskirchner, S. Friedmann

Einleitung

Die in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnisse und die technischen Entwicklungen der arthroskopischen Schulterchirurgie haben die Therapie von Weichteilläsionen in der Schulter grundlegend verändert. Dieses zeigt sich insbesondere am Management der Rotatorenmanschettenläsionen, das durch die Arthroskopie revolutionär verändert wurde. Während es für die meisten Schulterchirurgen noch vor wenigen Jahren undenkbar war, eine solide und stabile Rekonstruktion eines Rotatorenmanschettenrisses arthroskopisch durchzuführen, herrscht heute weitgehend Einigkeit darüber, dass mit den arthroskopischen Techniken zumindest gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zu einer offenen Rekonstruktion erzielt werden können. Es ist anerkannt, dass wahrscheinlich im Wesentlichen aufgrund der Traumatisierung des Deltamuskels beim Zugang eine offene OP im Vergleich zum arthroskopischen Vorgehen zu einer höheren postoperativen Morbidität führt. Die geringere Invasivität der arthroskopischen Rekonstruktion äußert sich bspw. in weniger postoperativen Schmerzen, einem geringeren Blutverlust und einem geringen Ausmaß subakromialer Adhäsionen und Verklebungen. Wichtiger noch als diese Erkenntnisse allerdings ist das durch die Arthroskopie neu gewachsene Verständnis für die eigentliche Pathologie der Manschettenläsionen. Frühere Klassifikationen der Rupturen beschränkten sich meist auf Kriterien wie Rissgröße, beteiligte Sehnenstrukturen und Retraktionsgrad. Eine Typisierung der Form und der Pathogenese der Risse entstand erst in den letzten Jahren durch die Arthroskopie, da mit dem Arthroskop eine Beurteilung des **gesamten subakromialen** Raums bis weit nach medial möglich ist. Eine solche Übersicht erhält man beim offenen Operieren nur durch extensive chirurgische Freilegung und Ablösung der Deltamuskulatur; dieses Vorgehen ist allerdings völlig unnötig und kontraindiziert. Mit dem Arthroskop können im Gegensatz zum offenen Vorgehen nicht nur die intraartikulären glenohumeralen Strukturen (Bizepssehne, Labrum, Gelenkknorpel) geprüft werden, sondern es können auch übersichtlich und mühelos der Supraspinatus, posterior und inferior der Infraspinatus sowie der Teres minor, anterior der Subscapularis und das Rotatorenintervall eingesehen und behandelt werden.

Im folgenden Kapitel werden die technischen Voraussetzungen und die einzelnen operativen Schritte zur arthroskopischen Rekonstruktion von Rupturen der Supraspinatussehne dargestellt.

Visualisierung und Präparation

Die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche arthroskopische Rekonstruktion der Rotatorenmanschette sind gute Sichtverhältnisse während der gesamten OP. Jeder erfahrene Schulterarthroskopeur weiß, dass eine zügige, souveräne und erfolgreiche OP im Subakromialraum letztlich davon abhängt, inwieweit es gelingt, konstant mit wenig Blutungen und ohne ständig die Sicht beeinträchtigende Gewebsanteile (Bursa) die Sehnenläsion darzustellen und zu versorgen.

Folgende Faktoren müssen hierfür in Betracht gezogen bzw. kontrolliert werden.

Anästhesie

Die Qualität der Anästhesie ist entscheidend dafür verantwortlich, wie viele Blutungen auftreten bzw. während der OP persistieren. Es muss eine Allgemeinnarkose unter endotrachealer Intubation und mit absolut schmerzfreiem, tief schlafendem Patient durchgeführt werden. Darüber hinaus ist es zwingend erforderlich, dass der arterielle Blutdruck konstant niedrig gehalten wird, d.h., der systolische Druck sollte während der ganzen OP weniger als 100 mmHg betragen. Höherer Blutdruck führt spätestens bei der Resektion von gut durchbluteten und entzündeten Weichteilen wie der Bursa zu Blutungen, die die Übersicht entscheidend beeinträchtigen. Wenn möglich, sollte daher ein Anästhesist die Narkose durchführen, der entsprechende Kenntnisse und Erfahrung mit derartigen Eingriffen hat.

Pumpendruck

Die Verwendung einer Spülpumpe für die diagnostische und operative Arthroskopie mit anpassbaren Parametern für Spüldruck und Durchflussrate ist eine zweite wichtige Voraussetzung. Die Pumpe muss je nach Auf-



Abb. 11.1a, b: Arthroskopie-Spülpumpe mit Fußschalter (FMS, DePuy Mitek). Die Pumpe kontrolliert in einem geschlossenen Kreislauf Zustrom und Rücklauf (über Shaver oder Ablaufkanüle). Über den Fußschalter ist kurzfristig die Erhöhung von Spüldruck und Durchflussrate möglich.



stellungsort und Aufstellungshöhe entsprechend den Herstellerangaben geeicht sein. Bei niedrigem Blutdruck des Patienten kann i.Allg. der Großteil der OP bei einem Pumpendruck von 50–60 mmHg durchgeführt werden. Ideal sind Pumpen, die dem Operateur selbst je nach Be-

darf zügig eine Anpassung bzw. kurzfristige Erhöhung des Spüldrucks erlauben, z.B. über ein Fußpedal (z.B. FMS DUO, DePuy Mitek, s. Abb. 11.1). Es reicht i.Allg. eine kurzfristige (2 min) Erhöhung des Drucks um ca. 20 mmHg (auf 80–90 mmHg) aus, um beim Auftreten von Blutungen rasch wieder gute Sichtverhältnisse zu erlangen.

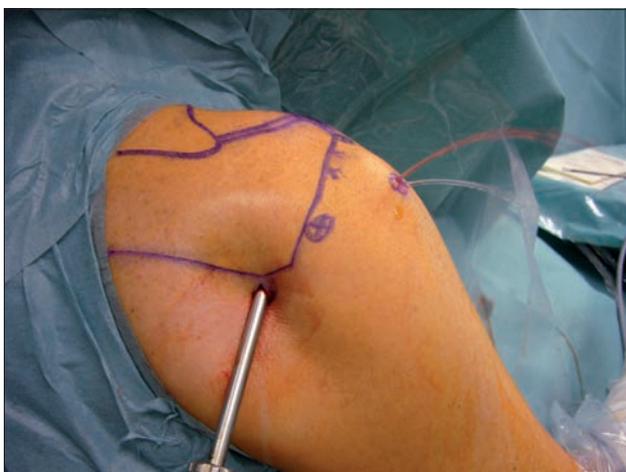


Abb. 11.2: Bernoulli-Effekt. Wenn das Spülwasser durch Arbeitsportale im Schwall austritt, entsteht im OP-Gebiet eine turbulente Strömung, die das Auftreten von Blutungen provoziert. Der Flüssigkeitsabstrom muss verhindert werden (z.B. mittels Verwendung einer Arbeitskanüle).

Bernoulli-Effekt/turbulent flow

Es muss vermieden werden, dass das eingepumpte Spülwasser durch Arbeitsportale ständig aus dem OP-Gebiet abfließt (s. Abb. 11.2). Das Abfließen des Wassers vermindert einen konstant hohen Wasserdruck, sodass die Pumpe ständig in großen Mengen neues Wasser einpumpt, das dann wieder abfließt. Es entsteht auf diese Weise im Subakromialraum eine turbulente Strömung, die trotz bzw. gerade wegen des hohen Drucks des einströmenden Wassers Blut aus kleinen Blutgefäßen des Subakromialraums ansaugt (Bernoulli-Effekt), wobei schon kleinste Blutmengen aufgrund der rapiden Durchmischung mit dem Spülwasser die Übersicht er-

heblich vermindern. Das Abströmen des Wassers muss daher verhindert werden, was durch Einbringen von Arbeitskanülen oder Verschlussstopfen in die betroffenen Portale oder durch simples Zuhalten der Löcher mit dem Finger durch den Assistenten leicht möglich ist.

Präparation der Weichgewebe im Subakromialraum

Gerade im Subakromialraum ist ein behutsamer Umgang mit dem Gewebe erforderlich, da hier viele kleine, leicht vulnerable Blutgefäße verlaufen. **Blinde** Präparationen ohne Sicht auf das gerade präparierte oder resezierte Gewebe und hastiges Vorgehen bei der Bursektomie und Darstellung des Rotatorenmanschettenrisses

müssen unbedingt vermieden werden. Es empfiehlt sich, auftretende Blutungen aus sichtbaren Quellen sofort mit einem Radiofrequenzinstrument (z.B. VAPR, DePuy Mitek, s. Abb. 11.3 und 11.4) zu stillen. Beim Umgang mit dem Shaver muss sehr feinfühlig mit der Saugung umgegangen werden, d.h., es sollte immer nur kurz und wenig mit dem Shaver gesaugt werden. Übermäßiges Saugen führt zum *turbulent flow* mit sofortigem Auftreten von Blutungen. Ideal sind auch hier Shaver-systeme, die in einem geschlossenen Kreislauf mit der Spülpumpe agieren, d.h. automatisch die Saugstärke am Shaver mit dem Spüldruck koppeln und gerade so viel saugen, dass Gewebe reseziert wird, aber kein *turbulent flow* subakromial entsteht (z.B. FMS DUO, DePuy Mitek).

Abb. 11.3: Radiofrequenzinstrumente (Atlas, ArthroCare/VAPR, DePuy Mitek) sind für die Blutstillung und Weichteilpräparation im Subakromialraum von extrem großem Nutzen.

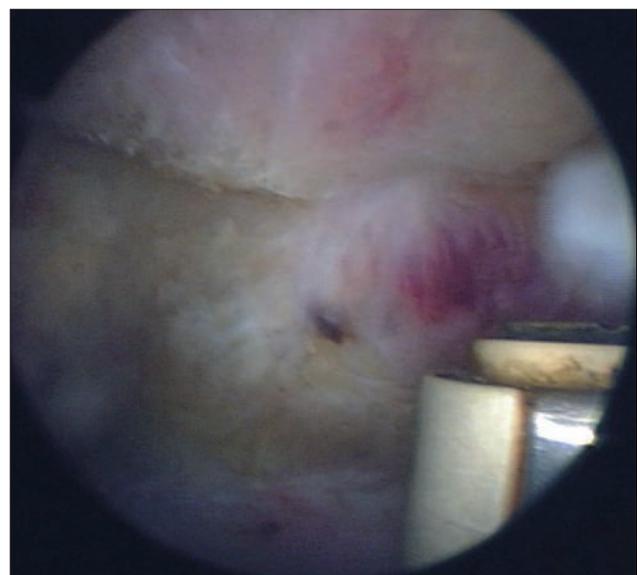
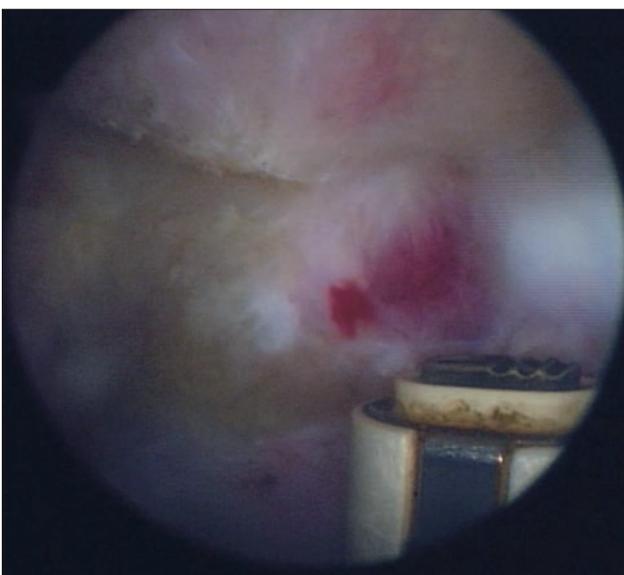


Abb. 11.4: Gezielte Blutstillung an einem Ast der A. thoracoacromialis im Bereich des Lig. coracoacromiale mit dem VAPR.

Bursektomie

Ein häufiger Fehler bei subakromialen Präparationen mit schlechter Übersicht ist die ungenügende Entfernung der Bursa. Gerade für den noch nicht so versierten Schulterarthroskopeur ist es absolut erforderlich, die Bursa zu Beginn einer Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion mit Geduld und in Ruhe ausgiebig zu reseziere, was durch alternierenden Einsatz von Weichteilresektor (Shaver) und Radiofrequenzsonde am raschesten und zuverlässigsten funktioniert. Dabei variiert es von Patient zu Patient, wie viel Bursagewebe tatsächlich entfernt werden muss. Bei massiven, vernarbenden Bursitiden ist der Subakromialraum gelegentlich fast komplett mit spinnennetzartigem Weichteilgewebe ausgefüllt, in anderen Fällen wiederum finden sich nur sehr wenige Bursa-Anteile, und es gelingt ohne aufwändige Bursektomie recht schnell, eine gute Übersicht zu erhalten. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass sich insbesondere im posterioren Bereich des Subakromialraums meist relativ stark ausgebildete, segelartige Bursastränge

befinden. Wird daher das Arthroskop beim Einführen in die Bursa von posterior nicht weit genug nach anterior eingeführt, **steckt** die Optik mitten in den narbig hypertroph veränderten posterioren Gewebesträngen, und die Übersicht ist ohne Bursektomie zunächst schlecht (s. Abb. 11.5). Zu Beginn jeder subakromialen Prozedur sollte das Arthroskop also zunächst in den anterioren Bereich des Subakromialraums platziert werden, am besten direkt hinter das korakoakromiale Band, da hier auch bei stark entzündlich veränderten Bursen in aller Regel sofort eine recht gute Übersicht erlangt wird.

Insbesondere die posterioren Bursa-Anteile werden von unerfahrenen Operateuren meist zu wenig reseziert, was daran liegt, dass das Arthroskop während der gesamten OP im posterioren Zugang belassen wird. Da die hinteren Bursa-Anteile mit einer rein posterioren Position des Arthroskops schlecht zu sehen sind, sollte das Arthroskop schon im Zuge der Bursektomie einmal nach lateral gewechselt werden, wodurch eine gute Übersicht über den dorsalen Subakromialraum erhalten wird und die hinteren Bursa-Anteile mit einem von pos-

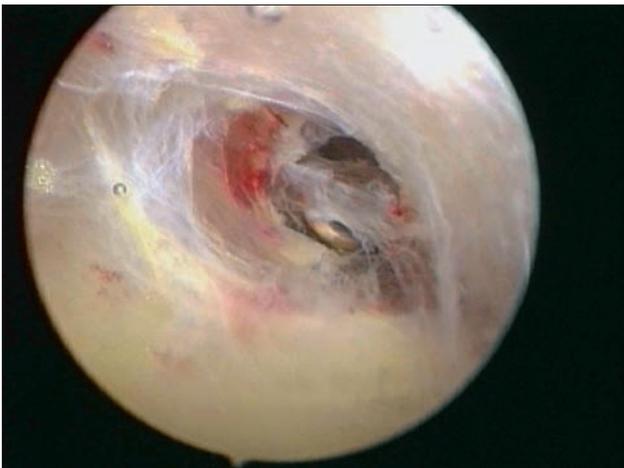


Abb. 11.5: Spinnennetzartige Verklebung der Bursa im posterioren Bereich des Subakromialraums. Zur Darstellung der Rotatorenmanschette muss die Bursa ausgiebig, geduldig und vorsichtig reseziert werden.

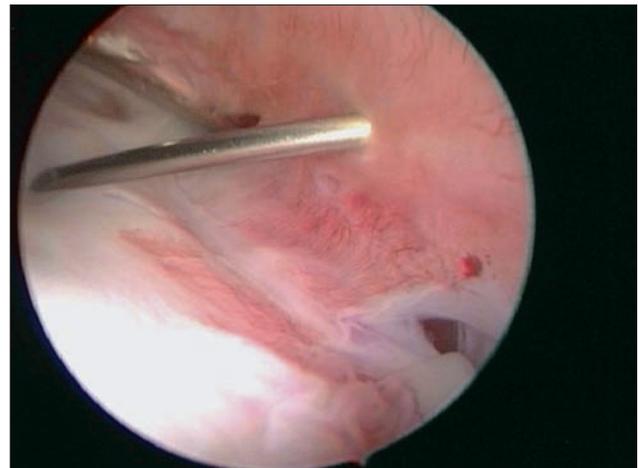


Abb. 11.6: Blick von lateral in den posterioren Bereich des Subakromialraums. Segelartige Stränge bzw. die posteriore Umschlagsfalte der Bursa beeinträchtigen häufig die Übersicht bei posteriorer Arthroskopposition (Metallkanüle im posterioren Zugang).



Abb. 11.7a, b: Mit dem Arthroskop im lateralen Portal lassen sich die posterioren Anteile der Bursa sehr gut darstellen und mit einem von posterior eingebrachten Shaver entfernen.

terior eingebrachten Shaver dann mühelos und rasch zu entfernen sind (s. Abb. 11.6 und 11.7).

Unterscheidung zwischen Bursa- und Sehngewebe

Gelegentlich kann die Unterscheidung zwischen Bursagewebe und Sehngewebe der Rotatorenmanschette Schwierigkeiten bereiten, wobei das parietale Bursablatt, das der Unterfläche des Akromions und der inneren Deltafaszie anliegt, meist unproblematisch visualisiert wird. Das viszerale, also das dem Sehngewebe der Rotatorenmanschette aufliegende Blatt, kann dagegen z.B. aufgrund narbiger Umbauten bzw. reparativer Abdeckelungsvorgänge bei Rotatorenmanschettenpathologien einen Sehnenriss so verdecken, dass der Riss von subakromial auf den ersten Blick schlecht erkennbar ist. Für die Unterscheidung zwischen Sehne und Bursa gilt, dass die Bursa im Gegensatz zur Sehne meist weich und fragil ist und bereits bei Berührungen mit einem Tasthaken zerfasert und zerreißt. Im Zweifelsfall kann die fragliche Schicht vorsichtig mit einem Shaver nach medial präpariert und verfolgt werden, was bei Bursagewebe den Umschlag bzw. Übergang ins parietale Blatt zeigt. Das Verfolgen einer Sehenschicht nach medial zeigt im Gegensatz dazu den Übergang der Sehne in den Muskel. Bursagewebe wird darüber hinaus vom Shaver mühelos angesaugt und reseziert, stabiles Sehngewebe dagegen wird vom Shaver bei geringer Saugstärke i.d.R. nicht relevant entfernt.

Portale

Eine stereotype Anlage der immer gleichen Arbeitsportale für alle arthroskopischen Schulterprozeduren ist nicht zu empfehlen. Es liegt auf der Hand, dass die relevanten anatomischen Verhältnisse für Rekonstruktionen an Kapsel, Labrum oder Rotatorenmanschette verschieden sind. Bei Schulterstabilisierungen gilt es, einen exakten Winkel für die Einbringung von Implantaten in das Glenoid und eine gute Position der Instrumente für das Fassen bzw. Durchstechen von Kapsel und Labrum zu erhalten. Bei der Rotatorenmanschette müssen im Gegensatz dazu Implantate in den Humeruskopf eingesetzt werden und Instrumente für den Fadentransport durch die Sehne in adäquater Weise in der Schulter bzw. dem Subakromialraum rangiert werden.

Grundsätzlich gilt, dass für arthroskopische Rotatorenmanschetten-Rekonstruktionen eine ausreichende Anzahl von Zugängen angelegt werden sollte. Es ist also nicht das Ziel, Portale einzusparen. Ein kleines, wenige Millimeter großes Portal, das nicht mit einer Arbeitskannüle belegt wird, ist bez. der Traumatisierung des Delta-

muskel mit einer intramuskulären Injektion zu vergleichen und stellt keinerlei Beeinträchtigung des Patienten mit relevanter postoperativer Morbidität dar. Im Gegenteil: Das OP-Ergebnis wird durch das verbesserte Instrumentenhandling und die exaktere Ankerpositionierung bei einer ausreichenden Portalanzahl verbessert.

Die in den Abbildung 11.8 und 11.9 dargestellten Zugänge sind für Rekonstruktionen der Supraspinatussehne hilfreich, wobei Anzahl und Position der Portale von der Risskonfiguration und -größe bzw. der verwendeten Nahttechnik abhängen.

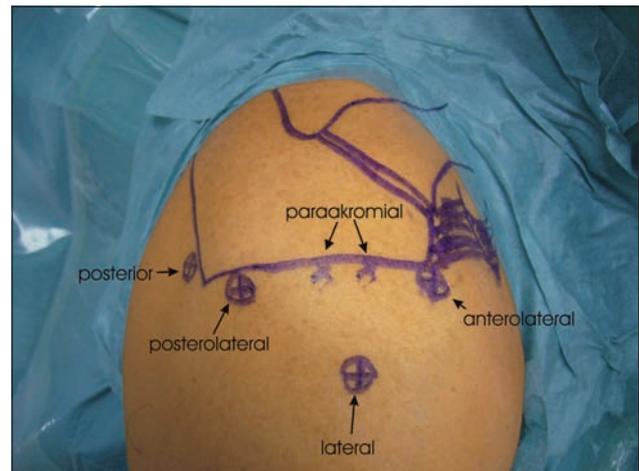


Abb. 11.8: Portale für Arthroskop und Instrumente bei der arthroskopischen RM-Rekonstruktion (rechte Schulter)

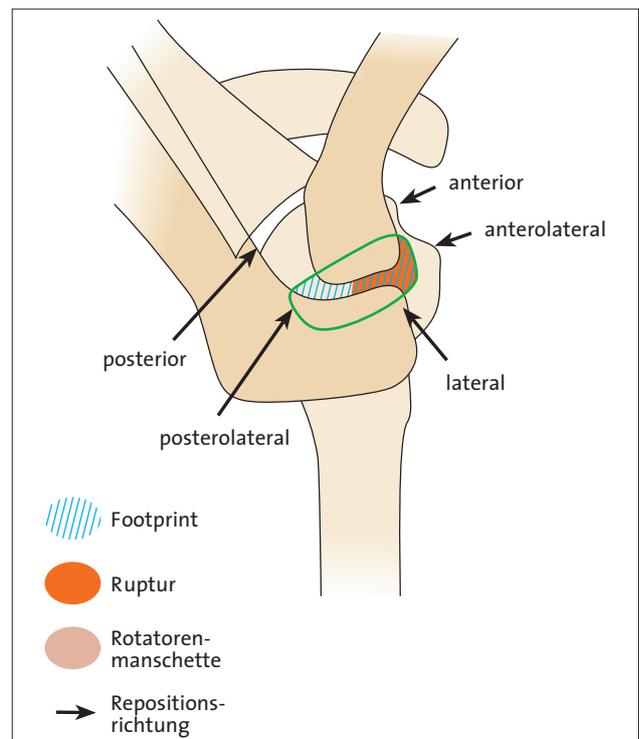


Abb. 11.9: Portalanlage zur arthroskopischen Rekonstruktion einer typischen Supraspinatussehnenruptur. Der OA-Kopf mit dem footprint der Supraspinatussehne steht im Verhältnis zum Akromion nach ventral versetzt. Häufig gelingt die Darstellung des Risses und der knöchernen Insertionszone daher besser mit dem Arthroskop im lateralen oder posterolateralen Zugang als im posterioren Standardzugang.

Posteriores Portal

Ein posteriores Portal, mit dem die OP intraartikulär begonnen werden kann, ist für die meisten arthroskopischen Prozeduren an der Rotatorenmanschette hilfreich. Allerdings ist es von Vorteil, dieses Portal für subakromiale Prozeduren nicht im klassischen *soft spot* anzulegen, sondern weiter kranial und lateral, also ca. 1 cm medial und 1 cm kaudal der posterolateralen Akromionecke. Eine tiefere und medialere Portalanlage gestattet zwar eine gute intraartikuläre Übersicht über das Glenoid, den Subscapularis und die vordere Kapsel, dafür ist die Sicht von subakromial auf die Rotatorenmanschette eher schlecht, da das Arthroskop zu nahe auf der Rotatorenmanschette liegt. Eine zu weit mediale Portalanlage ist ungünstig, da das Insertionsareal der Supraspinatussehne und damit die typischen Risse dann lateral und anterior des Portals liegen und somit keine gute Übersicht über die Sehne und den jeweils vorliegenden Riss erlangt werden kann.

Laterales Portal

Das laterale Portal sollte für Supraspinatussehnennähte in direkter lateraler Verlängerung des Apex der Sehnenruptur zu liegen kommen. Für eine typische *crescent-shaped*-Ruptur im Bereich des Rotatorenkabels der Supraspinatussehne (s.u.) liegt dieser Zugang dabei im vorderen Drittel und 3–4 cm lateral des lateralen Rands des Akromions. Über dieses Portal kann zum einen 1 Anker eingebracht werden (laterale Reihe bei Doppelreihenrekonstruktionen), zum anderen ist es das Hauptportal, um mit Shaver, Fräse usw. die Präparation des *footprint* und des Sehnenrisses vorzunehmen. Außerdem werden über das Portal die entsprechenden Instrumente zum Faden-transport und zum Knoten eingebracht. Bei Supraspinatussehnenrissen bis ca. 2 cm Ausdehnung in a.p. Richtung wird dieses Portal eleganterweise unter intraartikulärer Sicht mit dem Arthroskop posterior und intraartikulär angelegt. Der Vorteil dabei ist, dass das Portal zum Sehnen-*footprint* und zum Riss so exakt positioniert werden kann. Über das Portal und durch den Sehnenriss können damit ideal Instrumente nach intraartikulär eingebracht werden, wodurch Pathologien an der LBS, dem oberen Labrum, dem Rotatorenintervall, dem Oberrand des Subscapularis oder dem Glenoid ebenfalls gut bearbeitet werden können.

Posterolaterales Portal

Ein weiteres posterolaterales Portal ist nicht zwingend erforderlich, meist aber recht hilfreich. Es liegt auf einer direkten Verbindungslinie zwischen lateralem und posterio-rem Portal, i.d.R. ca. 1 cm lateral und 1 cm anterior der posterolateralen Akromionecke. Dieses Portal ist zum einen für die Positionierung der Optik ausgesprochen günstig, da durch die weiter laterale Lage im Gegensatz

zum posterioren Portal die Supraspinatussehne viel übersichtlicher überblickt werden kann (s. Abb. 11.9). Mit dem Arthroskop posterolateral kann zudem die posteriore Bursa mit dem Infraspinatus und der Spina scapulae gut eingesehen werden, und wenn notwendig, kann über das posteriore Portal ein Shaver oder sonstiges Instrument eingebracht werden. Darüber hinaus eignet sich das posterolaterale Portal für das Fadenmanagement. Durch temporäres Ausleiten und Parken von Ankerfäden wird die Übersicht verbessert und die Gefahr von Problemen beim Fadenmanagement minimiert. Außerdem können über das Portal Fadenanker in den posterioren Bereich des *footprint* der Supraspinatussehne und in das Insertionsareal der Infraspinatussehne eingebracht werden.

Anterolaterales Portal

Ein weiteres anterolaterales Portal ist für die meisten arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktionen notwendig. Es sollte direkt neben der anterolateralen Akromionecke bzw. leicht medial und ventral davon angelegt werden und entspricht in seiner Position auf der Haut in etwa dem suprabicipitalen Portal, das für glenohumerale Prozeduren, wie z.B. Schulterstabilisierungen, verwendet wird. Über dieses Portal können ideal Anker im gesamten Bereich des Supraspinatus-*footprint* bis hin zum Oberrand des Bizepssehnenulcus eingebracht werden. Außerdem eignet sich das Portal sehr gut zum Einbringen von Instrumenten für das Fadenmanagement.

Paraakromiale Portale

Für Doppelreihenrekonstruktionen müssen Fadenanker am medialen Rand des *footprint* der Supraspinatussehne an der Knorpel-Knochen-Grenze eingebracht werden. Aufgrund eines meist zu flachen Winkels beim Einbringen der Anker vom lateralen Zugang aus müssen für diese Anker normalerweise Stichinzisionen direkt am lateralen Rand des Akromions angelegt werden, wodurch die Anker dann im richtigen Winkel medial am *footprint* eingebracht werden können.

Verwendung von Arbeitskanülen

Grundsätzlich ist es nicht erforderlich, Arbeitskanülen für arthroskopische Rotatorenmanschettennähte zu verwenden. Falls Arbeitskanülen verwendet werden, sollte der Durchmesser mindestens 8 mm betragen, da bei geringerer Größe manche Instrumente nicht eingeführt werden können. Ein Nachteil der Kanülen ist, dass sie im Subakromialraum etwas vorstehen, was die engen Platzverhältnisse noch mehr einschränkt. Darüber hinaus führen sie zu einer etwas größeren Traumatisierung des Deltamuskels als Portale ohne Kanüle, die in

Form einer Stichinzision nur wenige Millimeter groß sein müssen. Mit Ausnahme der Verwendung von Nahtzangen, die extraartikulär mit Faden geladen werden, sind sämtliche Arbeitsschritte von der Präparation bis hin zum Fadenmanagement und zum Knoten auch gut ohne Arbeitskanülen durchführbar, wenn einige Grundsätze, z.B. das gleichzeitige Greifen und Ausleiten zusammengehöriger Fadenpaare in einem Schritt, beachtet werden. Beim Auftreten von *turbulent flow* (s.o.) ist das Einbringen einer Arbeitskanüle gelegentlich sinnvoll, um das Abströmen von Spülwasser zu stoppen.

Risskonfiguration

Neben der Präparation und Visualisierung ist der wichtigste Schritt für eine erfolgreiche Rekonstruktion das Verstehen der eigentlich vorliegenden Risskonfiguration. Erst durch die Arthroskopie sind neben den traditionellen Einteilungen der Manschettenruptur, die nur die betroffenen Sehnenanteile, die Rupturgröße und den Retraktionsgrad beschreiben, die genauen Riss- und Defektformen erkannt und klassifiziert worden. Die Beschreibung der Defektgröße (Bateman I–IV) dient zwar der Klassifikation, ist aber bez. des jeweiligen Vorgehens zur Rekonstruktion nur wenig hilfreich. Auch die Beschreibung des Retraktionsgrades (Patte I–III) legt zwar fest, wie weit der Sehnenrand vom *footprint* zurückgezogen ist, nicht aber mit welcher Vorgehensweise die beste und anatomischste Rekonstruktion gelingt.

Die neue Einteilung nach den Kriterien der Rissform ist daher keine bloße Deskription, sondern hat große praktische Relevanz, da sie letztlich die Pathogenese der Rupturbildung beschreibt und im Umkehrschluss die Strategie zur Reposition der abgerissenen Sehnenanteile festlegt.

Bevor eine Klassifizierung möglich ist, gilt es, nach Release und Adhäsioolyse verschiedene Repositionsversuche des Sehnenrands durch Greifen mit einer Faszange vorzunehmen. Ähnlich wie bei einer Frakturposition gilt es, je nach Möglichkeit der Annäherung der Sehnen an das Insertionsareal bzw. an andere Sehnenstrukturen die Ruptur zu klassifizieren und die Vorgehensweise zur Rekonstruktion festzulegen.

Noch vor der Naht, also dem Setzen von Ankern und Durchstechen der Sehne, müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- ▲ Liegt eine reine Dislokation der Sehne vom Knochen ohne Rissbildung in den Sehnenstrukturen selbst vor?
- ▲ Ist eine Längsrissbildung in der Sehne vorhanden?
- ▲ In welche Richtung (nur nach medial, nach medial-ventral, nach medialdorsal, nach ventral und dorsal) hat die Muskulatur den Sehnenrand disloziert?
- ▲ Gibt es einen relevanten Sehnensubstanzverlust?

Auf Basis der Antworten können dann folgende Risskonfigurationen unterschieden werden:

- ▲ *Crescent shaped* (s. Abb. 11.10 und 11.19–21): Es handelt sich um die einfachste und am leichtesten zu verstehende Rissform. Es liegt eine reine Dislokation der Supraspinatussehne vom Tuberculum majus vor und keine Längsrisskomponente. Die Ruptur sieht sowohl von intraartikulär als auch von subakromial gesehen wie ein C aus. Der freie Sehnenrand ist rein nach medial disloziert. Der am weitesten vom Knochen entfernte Anteil der Sehne (Apex) liegt in etwa der Mitte des C.

Rekonstruktion: Entsprechend der Pathogenese dieser Ruptur ist die Reposition des freien Sehnenrands in rein lateraler Richtung erforderlich. Liegt kein wesentlicher Sehnensubstanzverlust vor, kann der freie Sehnenrand inklusive Apex der Ruptur wieder auf das Tuberculum majus gezogen und befestigt werden.

- ▲ *U-shaped* (s. Abb. 11.11 und 11.14 sowie 11.22): Bei diesen Rissen liegt eine weite Dislokation des Apex der Ruptur vom *footprint* vor. Entgegen der *crescent-shaped*-Risse ist eine mediolaterale Längsrisskomponente innerhalb der Sehnenstruktur zusätzlich zum Abriss vom Knochen vorhanden. Die Unterscheidung dieses Risses zum *crescent shaped* gelingt häufig erst nach der Feststellung, dass der Apex der Ruptur beim Repositionsversuch nach lateral scheinbar kontrakt medial verbleibt. Allerdings ist hier ein Zusammenziehen des ventralen und dorsalen Rupturrands relativ leicht möglich, d.h., dass die Sehnenanteile in der a.p. Richtung gut mobilisiert werden können.

Rekonstruktion: Das Ziehen des Apex der Ruptur über den *footprint* bei dieser Rupturform wäre falsch und führt zur Überspannung der Sehne. Es gilt, sowohl eine Längsrissversorgung durch Seit-zu-Seit-Sehnennaht als auch eine Sehne-zu-Knochennaht vorzunehmen.

- ▲ *L-shaped* (s. Abb. 11.12 und 11.13 sowie 11.15–18): Bei L-Rissen liegen ähnlich wie beim U-Riss eine Längsriss- und eine Querrisskomponente vor, wobei der Querriss die Supraspinatusansatzzone des Tuberculum majus betrifft. Der Längsriss erstreckt sich entweder zwischen Supraspinatussehne und dem Gewebe des Rotatorenintervalls, also am Vorderrand der Supraspinatussehne (anterior L), oder zwischen Supra- und Infraspinatussehne, also am Hinterrand der Supraspinatussehne (posterior L). Das Tückische an diesen Rissen ist, dass die Muskulatur des Supra- und Infraspinatus den Defekt in der Sehne so verformt, dass der Riss zunächst ähnlich wie die anderen Risskonfigurationen (*crescent shaped*, *U-shaped*) aussieht. Auch hier gelingen die Klassifizierung und demzufolge richtige Versorgung erst nach Sehnenrelease und verschiedenen Repositionsversuchen.

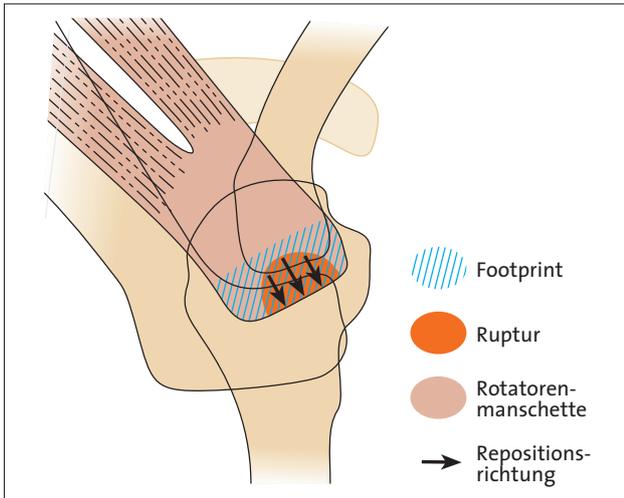


Abb. 11.10: *Crescent-shaped*-Riss der Supraspinatussehne. Der Riss sieht aus wie ein C. Die Rekonstruktion der Sehne erfolgt durch Reposition der abgerissenen Anteile nach lateral direkt an den Knochen.

Rekonstruktion: Analog zu den U-Rissen müssen hier auch Sehne-zu-Sehne- bzw. (Rotatorenintervall-) Nähte in Kombination mit Sehne-zu-Knochnähten angelegt werden. Der entscheidende Schritt dabei ist, jeweils die richtige **Sehnecke** an den Eckpunkt der 2 Schenkel des L zu refixieren. Bei anterioren L-Rissen muss diese Schlüsselstelle der Sehne zur korrekten Reposition schräg nach anterolateral gezogen werden, bei posterioren Rissen entsprechend nach posterolateral. Es gilt also, durch anatomisches Positionieren der jeweiligen Sehnenareale Überspannungen oder Aufwulstungen der Sehne zu vermeiden.

- Sehnenqualität und Sehnenpräparation: Neben der Retraktion der Sehne und verminderten Dehnbarkeit der angrenzenden Muskulatur kann eine minderwertige Reißfestigkeit des Sehnenmaterials die anatomische Rekonstruktion limitieren. Nicht selten weisen die freien Ränder der Sehne Degenerationszonen mit

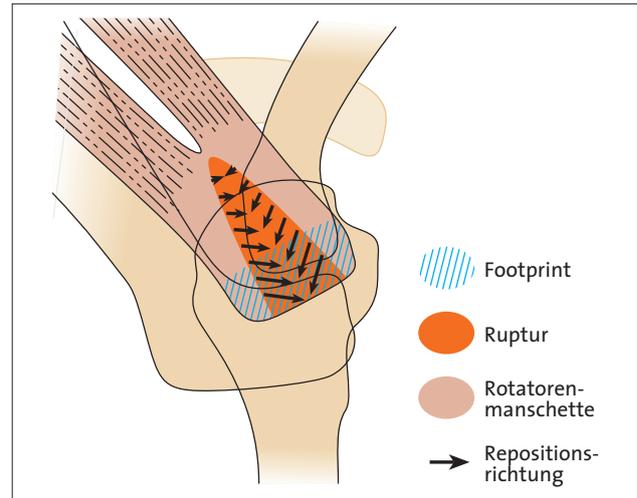


Abb. 11.11: *U-shaped*-Riss der Supraspinatussehne. Der Apex der Ruptur liegt im Gegensatz zum *crescent-shaped*-Riss weit entfernt vom Tuberculum majus. Ein Versuch der Annäherung sämtlicher Anteile des freien Sehnenrands an den Knochen ist falsch, da die Sehne in mediolateraler Richtung eine Längsrisskomponente aufweist. Die beiden Schenkel der Sehne sind jeweils nach ventral und dorsal disloziert und müssen bei der Rekonstruktion dementsprechend in entgegengesetzter Richtung reponiert und durch Seit-zu-Seit-Nähte rekonstruiert werden.

verminderter mechanischer Gewebsqualität auf. Es gilt hierbei, ein Debridement mit Entfernung dieser Anteile durchzuführen, was am besten mit Shaver oder Schneide-Punch gelingt. Allerdings muss vermieden werden, zu viel Sehnenmaterial dafür zu opfern, sodass nicht die Gefahr besteht, bei der Naht eine Überspannung der Rekonstruktion zu generieren. Das Feststellen der mechanischen Gewebsqualität gelingt durch Greifen und Ziehen der Sehne mit einer dünnen Fasszange (z.B. KingFisher, Arthrex) im Zuge der Sehnenreposition. Alternativ kann auch ein Haltefaden eingebracht werden, mit dem probeweise Zug auf die Sehne ausgeübt wird. Reißt die Sehne bei diesen Manövern ein, muss entweder noch mehr Ge-

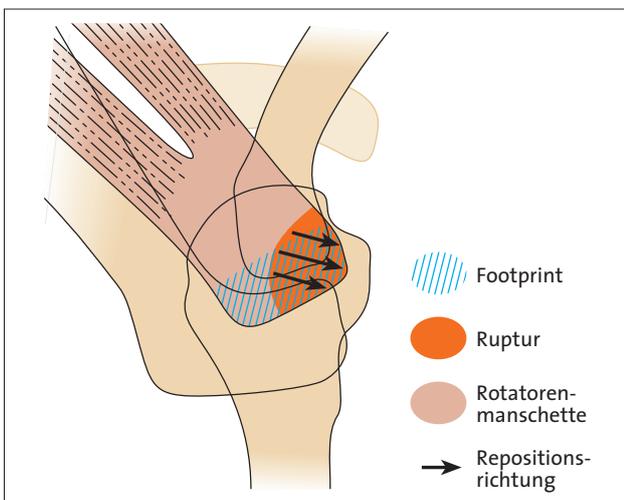


Abb. 11.12: *Anterior-L-shaped*-Riss der Supraspinatussehne. Der freie Sehnenrand ist nach medialposterior disloziert. Die Sehne muss für eine spannungsfreie Rekonstruktion nach lateral ventral gezogen und refixiert werden.

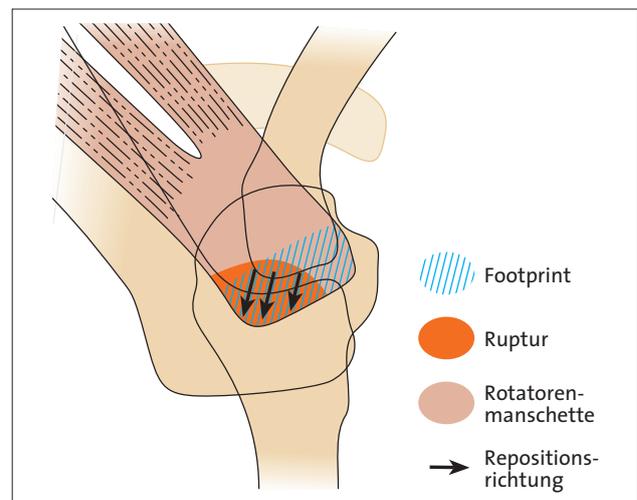


Abb. 11.13: *Posterior-L-shaped*-Riss der Supraspinatussehne. Der freie Sehnenrand ist nach medialanterior disloziert. Die Sehne muss für eine spannungsfreie Refixation nach lateral posterior gezogen und refixiert werden.

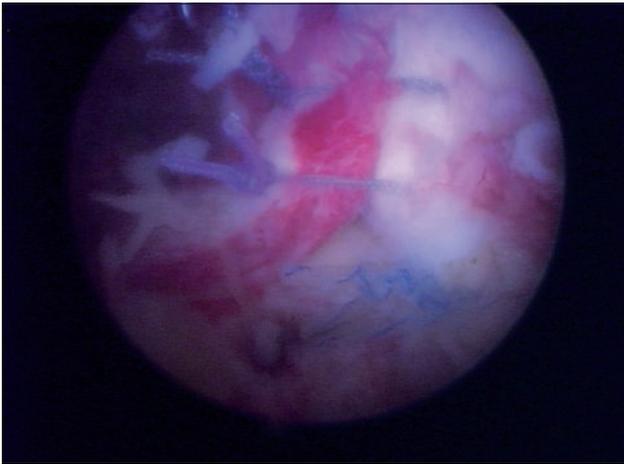


Abb. 11.14a, b: Arthroscopische Darstellung der Rekonstruktion eines *U-shaped*-Risses. Es wurden sowohl Seit-zu-Seit- als auch Sehne-zu-Knochen-Nähte durchgeführt. Visualisierung einer linken Schulter über ein posterolaterales Portal.

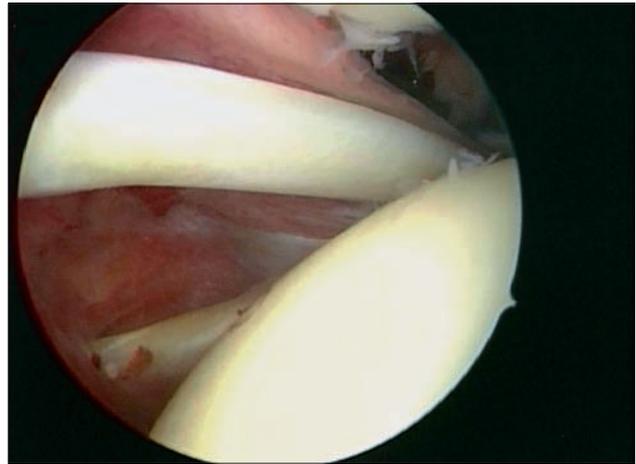


Abb. 11.15: *Anterior-L-shaped*-Riss der Supraspinatussehne, Blick von intraartikulär mit Arthroskop im posterioren Zugang (rechte Schulter). Die Supraspinatussehne ist von ihrem vorderen Ankerpunkt und vom Rotatorenintervall weggerissen und von der Muskulatur nach medial und posterior disloziert.

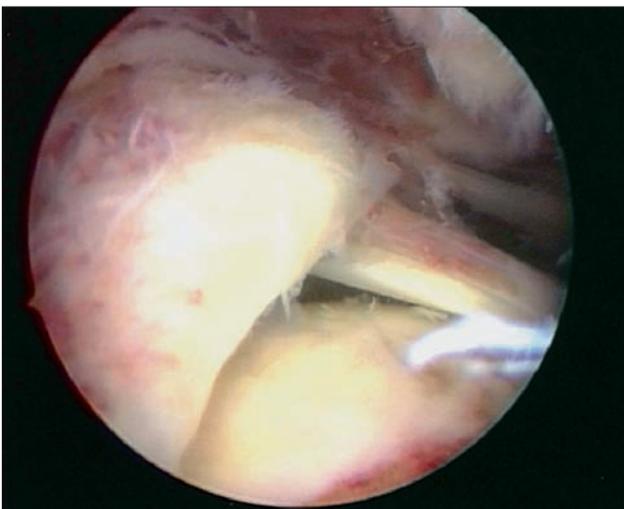


Abb. 11.16: *Anterior-L-shaped*-Riss, Blick von subakromial mit Arthroskop im posterioren Zugang (gleicher Patient wie in Abb. 11.15). Typisch für die Risskonfiguration ist die aufgrund der nach medial und posterior zurückgewichenen Supraspinatussehne völlig frei liegende Bizepssehne.

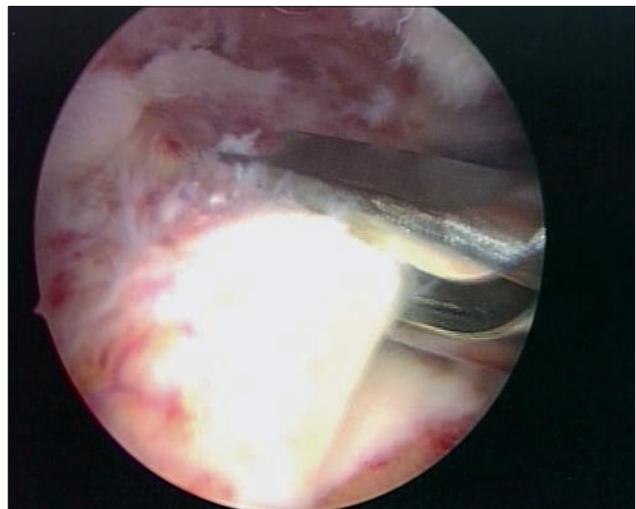


Abb. 11.17: Falsche Reposition eines *anterior-L-shaped*-Risses. Wird die Sehne am Apex des freien Sehnenrands der Ruptur gefasst und nach lateral gezogen, entsteht eine große und unnötige Spannung, die Reposition ist nicht anatomisch.

webe debridiert bzw. entfernt werden, oder die Fäden müssen weiter medial bzw. ventral oder dorsal durch stabileres Material gestochen werden. Tritt das Ausreißen in nahezu allen Sehnenregionen und auch weit medial, nahe der Übergangszone zum Muskel, auf, ist eine Sehnenrekonstruktion i.d.R. nicht möglich und sinnvoll, sodass entweder eine Partialrekonstruktion oder nur ein Debridement ohne Naht durchgeführt werden muss.

- ▶ **Sehnenmobilisation:** Der Operateur muss obligat durch Greifen und Ziehen des Sehnenrands eine Beurteilung der bei der Reposition auftretenden Spannungsverhältnisse vornehmen (s. Abb. 11.17–18). Je nach Retraktionsgrad und Elastizität der Muskulatur müssen vor der Rekonstruktion Schritte zur Mobilisierung der Sehne vorgenommen werden. Idealerweise ist ein Ziehen der Sehne je nach Risstyp nach lateral, anterior oder posterior, ohne wesentliche Spannung und nur wenig Kraftaufwand möglich. Bei kleineren Rissen (bis ca. 2 cm) und geringem Retraktionsgrad (Patte I) gelingt das Ziehen der Sehne komplett über den *footprint* meist relativ problemlos. Die bereits im Zuge der Präparation durchgeführte Burssektomie reicht i.Allg. als Mobilisierungsmaßnahme aus. Insbesondere bei stark vernarbten Verhältnissen müssen sämtliche Adhäsionen zwischen Bursa und Akromion bzw. Delta- und Trapeziusfaszie reseziert werden (s. Abb. 11.23). Die Präparation muss hierfür weit nach medial in die Fossa supra- bzw. infraspinata fortgesetzt werden, wobei als Grenze die Spina scapulae mit dem Arthroskop in einem lateralen Portal gut identifiziert werden kann. Ist die Sehnen-

weise ist ein Ziehen der Sehne je nach Risstyp nach lateral, anterior oder posterior, ohne wesentliche Spannung und nur wenig Kraftaufwand möglich. Bei kleineren Rissen (bis ca. 2 cm) und geringem Retraktionsgrad (Patte I) gelingt das Ziehen der Sehne komplett über den *footprint* meist relativ problemlos. Die bereits im Zuge der Präparation durchgeführte Burssektomie reicht i.Allg. als Mobilisierungsmaßnahme aus. Insbesondere bei stark vernarbten Verhältnissen müssen sämtliche Adhäsionen zwischen Bursa und Akromion bzw. Delta- und Trapeziusfaszie reseziert werden (s. Abb. 11.23). Die Präparation muss hierfür weit nach medial in die Fossa supra- bzw. infraspinata fortgesetzt werden, wobei als Grenze die Spina scapulae mit dem Arthroskop in einem lateralen Portal gut identifiziert werden kann. Ist die Sehnen-

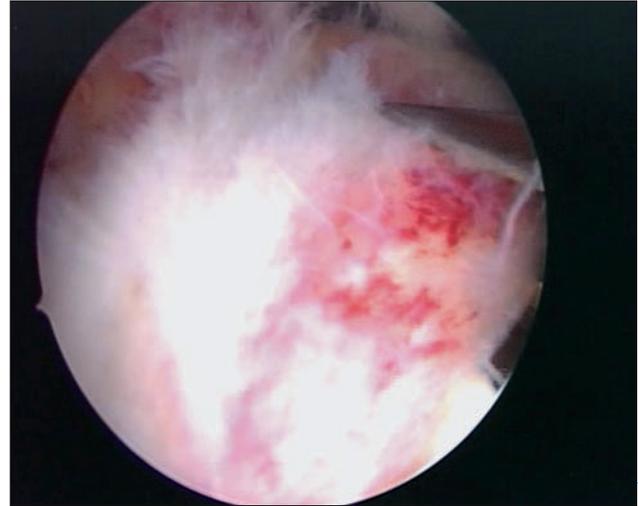
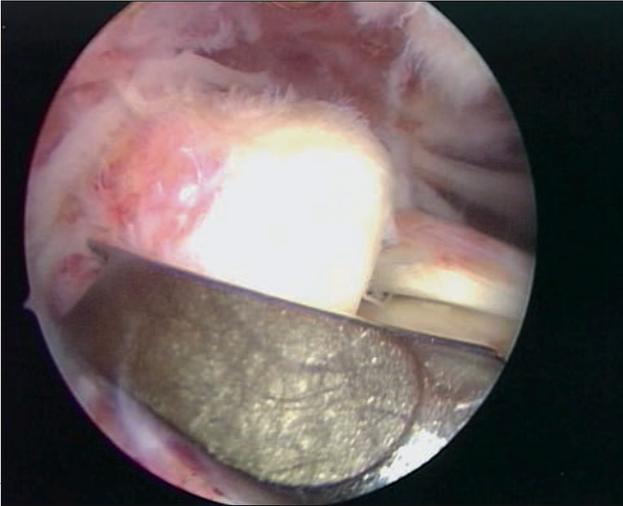


Abb. 11.18a, b: Bei *anterior-L-shaped*-Rissen muss die Sehne nicht nur nach lateral, sondern auch nach ventral gezogen werden und mit der Fassung entsprechend posterior gegriffen werden (a). Dann gelingt ohne wesentliche Spannung eine anatomische Reposition der Sehne über den *footprint* (b) (gleicher Patient wie Abb. 11.15–17).

spannung nach kompletter Bursektomie und subakromialer Adhäsiolyse noch zu groß, muss als weiterer Schritt zur Verbesserung der Sehnenmobilität eine superiore, periglenoidale Kapsulotomie durchgeführt werden. Es gilt also, zwischen Unterfläche der Supraspinatussehne (oben) und oberem Labrum und Bizepssehne (unten) den Umschlagspunkt der Kapsel zu resezieren. Dies kann sowohl mit dem Arthroskop posterior und von lateral mit einem Radiofrequenzinstrument (z.B. VAPR) oder mit dem Arthroskop lateral und dem VAPR antero- bzw. posterolateral durchgeführt werden. Insbesondere im posterosuperioren Bereich ist bei diesem Schritt Vorsicht geboten, da hier ca. 1,5–2 cm medial des Gelenks der N. suprascapularis verläuft.

- ▲ Präparation des *footprint*: Die nächsten und sehr wichtigen Schritte sind die Präparation und Anfri-

schung des knöchernen Insertionsareals am Tuberculum majus. Die anatomische Ansatzzone der Supraspinatussehne beginnt direkt lateral des Knorpels der Gelenkfläche des OA-Kopfs. Anatomische Studien haben gezeigt, dass der *footprint* ein flächiges Areal mit den Ausmaßen 12 mm (mediolateral) × 25 mm (anteroposterior) ist. Neben den mechanischen Aspekten der Sehnennaht, d.h. der möglichst stabilen und spannungsfreien Rekonstruktion, deren Ziel es ist, die Sehne breitflächig und lückenlos auf den *footprint* zu refixieren, sind die biologischen Faktoren entscheidend für das Wiedereinheilen der Sehne am Knochen verantwortlich. Aufgrund der schlechten Durchblutung der ansatznahen Sehnenregion müssen von der Knochenseite her möglichst ideale Bedingungen zum Anhaften und Wiederanwachsen der Sehne geschaffen werden. Für den Ope-

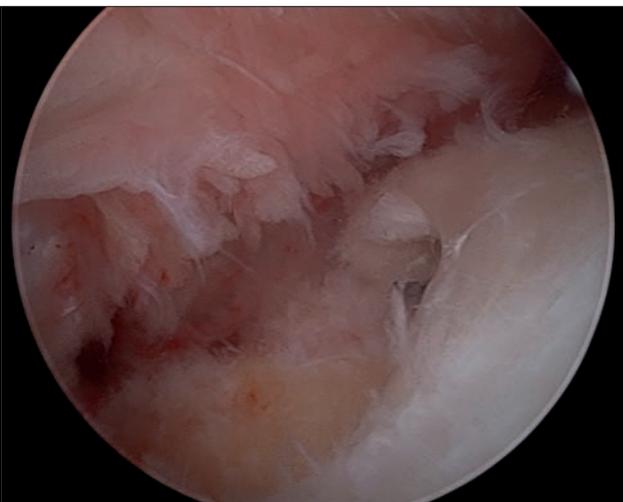


Abb. 11.19: *Crescent-shaped*-Riss der Supraspinatussehne, Arthroskop posterior (linke Schulter). Im Gegensatz zu den *anterior-L-shaped*-Rissen ist der vordere Ankerpunkt der Supraspinatussehne intakt, der Riss sieht wie ein C aus.



Abb. 11.20: *Crescent-shaped*-Riss der Supraspinatussehne (gleicher Patient wie in Abb. 11.19), Arthroskop im lateralen Portal. Form und Ausdehnung des Risses können von lateral besser beurteilt werden als von posterior, durch den Riss hindurch kann der Gelenkraum arthroskopiert werden.

rateur bedeutet dies, dass nach Darstellung und Verstehen der Anatomie der Ansatzzone zunächst sämtliches, anhaftendes Weichgewebe vom *footprint* entfernt werden muss. Bei kleinen Rissen kann dies noch mit dem Arthroskop intraartikulär von lateral durch den Riss hindurch mit dem Radiofrequenzinstrument und/oder dem Shaver durchgeführt werden, wobei medial an der Knorpelgrenze begonnen und die Präparation nach lateral bis an die seitliche Kante des Tuberculum majus fortgesetzt werden sollte. Im nächsten Schritt muss der *footprint* knöchern angefrischt werden, was i.d.R. mit einer motorisierten Fräse am besten gelingt (s. Abb. 11.24). Es gilt hierbei, den Knochen soweit zu debridieren und anzurauen, bis kleine Blutungen aus der Spongiosa sichtbar werden. Es sollte allerdings vermieden werden, größere Knochenmengen zu resezieren und bis in tiefe Schichten der weichen Spongiosa des Tuberculum majus zu fräsen, da die Haltekraft der Nahtanker in der oberflächlichen Knochenschicht am besten ist. Die teilweise propagierte Schaffung einer tiefen Nute im Knochen zur Aufnahme der Sehne ist bei Verwendung von Nahtankern und einer Rekonstruktionstechnik mit dem Ziel der breitflächigen Sehnenauflage (Doppelreihenrekonstruktion) nicht erforderlich.

Implantate

Fadenanker

Der erste Schritt zur Sehnenrekonstruktion ist die Einbringung von Fadenankern, wobei eine Vielzahl von Systemen von der Industrie angeboten wird. Es werden Schraubanker (Titan oder resorbierbar, s. Abb. 11.25) von Dübelssystemen, die in ein zuvor geschaffenes Kno-

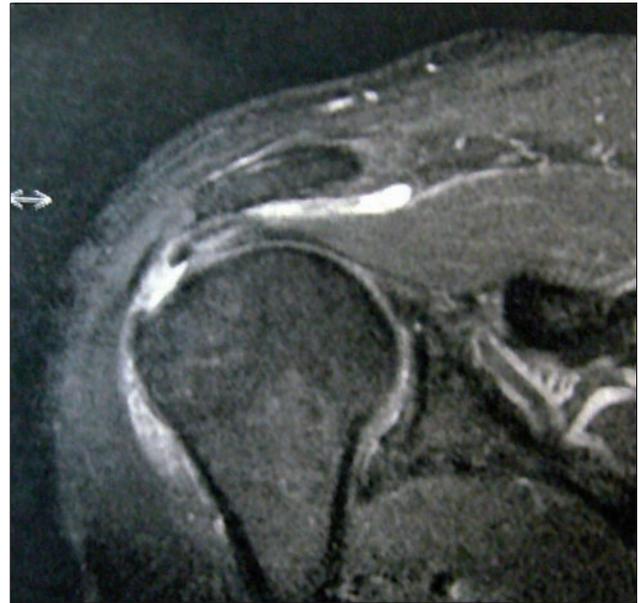


Abb. 11.21: MRT-Darstellung eines Supraspinatusrisses (*crescent type*, Patient aus Abb. 11.19 und 11.20).

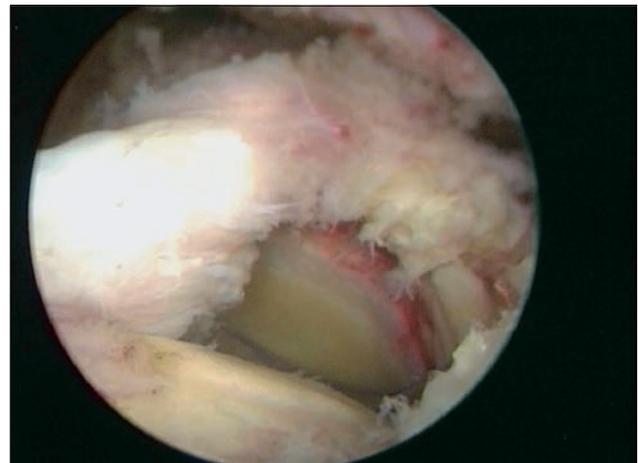


Abb. 11.22: *U-shaped*-Riss, Arthroskop lateral, rechte Schulter. Der Apex der Ruptur liegt weit medial auf Höhe des Glenoids. Für die Rekonstruktion ist vor der Sehne-zu-Knochen-Refixation eine Seit-zu-Seit-Naht der Sehne erforderlich.

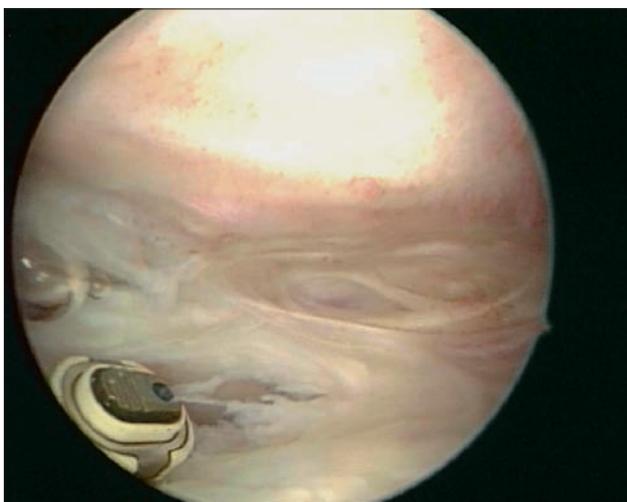


Abb. 11.23: Mobilisation der Supraspinatussehne durch Resektion (hier mit VAPR, DePuy Mitek) sämtlicher Adhäsionen zwischen Sehnenoberfläche und Akromion zwischen Delta- und Trapeziusfaszie (linke Schulter, Arthroskop posterior, VAPR lateral).

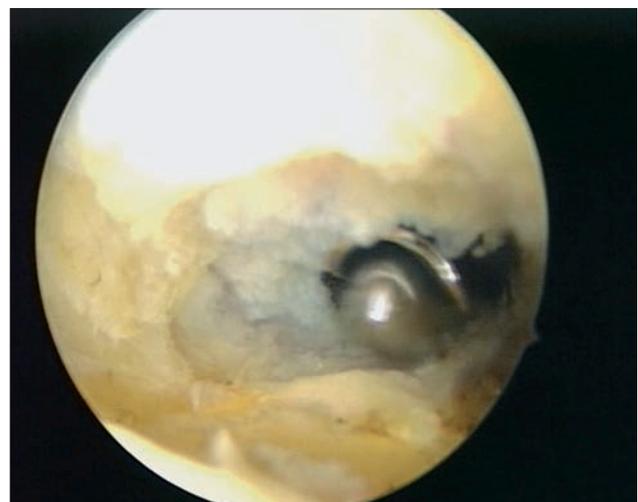


Abb. 11.24: Anfrischen des Insertionsareals mit einer motorisierten Fräse. Anhaftende Weichteile werden entfernt und der Knochen wird oberflächlich ohne Fräsen einer Nute angeraut (rechte Schulter, Arthroskop posterior und intraartikulär).

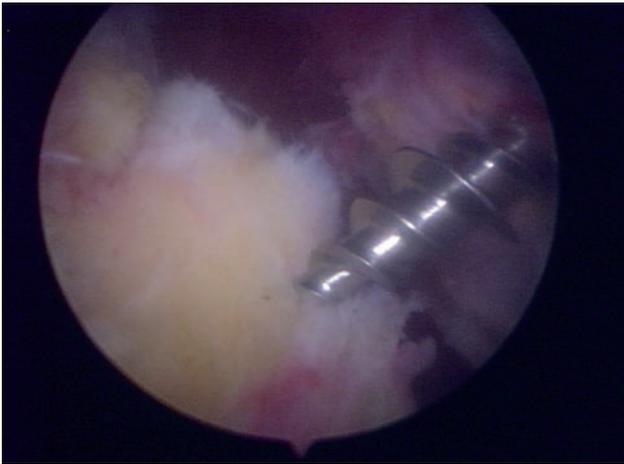


Abb. 11.25: Einbringen eines Fadenankers (TWINFIX Titan 5.0, Smith & Nephew) in den OA-Kopf (rechte Schulter, Arthroskop posterior).

chenloch eingeschlagen werden, unterschieden. Einzelheiten zu den Implantaten finden sich in Kapitel 3.

Bei weichen Knochenverhältnissen ist die Haltekraft der Anker im Knochen teilweise kritisch. Beim Eindrehen des Implantats muss der erforderliche Widerstand erfüllt und nach dem Einbringen durch kräftigen Zug an den Fäden die Ausreißkraft überprüft werden. Kommt es hier zur Ankerdislokation, muss der Anker entfernt werden und ein neuer, meist größer dimensionierter Anker verwendet werden. Es empfiehlt sich, für solche Fälle entsprechend große Revisionsimplantate zur Verfügung zu halten (z.B. TWINFIX Titan 6,5 mm, Smith & Nephew/Healix 6,5 mm resorbierbar, DePuy Mitek/Bio-Corkscrew FT, Arthrex), die auch bei schlechter Knochenqualität und großem Loch noch recht gute Haltekraft besitzen.

Neben dem Ankerdesign werden konventionelle Fadenanker, bei denen arthroskopische Knoten angefertigt werden müssen (z.B. TWINFIX, Smith & Nephew/Corkscrew oder Bio-Corkscrew FT, Arthrex/FASTIN oder Healix, DePuy Mitek), von knotenlosen Anker unterschieden, bei denen die Refixation durch einen bestimmten

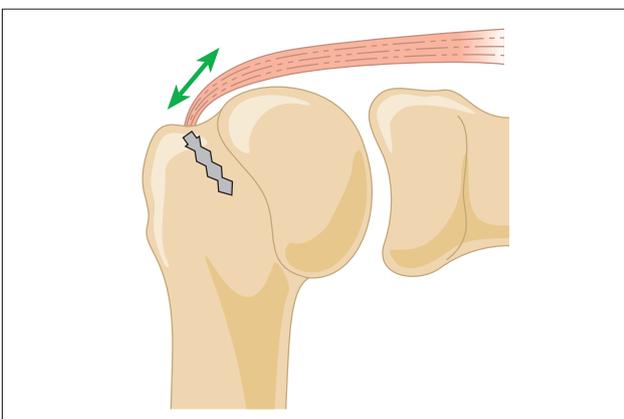


Abb. 11.26: Die Fadenanker sollten in einem Winkel von ca. 70° zur Horizontalen eingebracht werden (*deadman's angle*), sodass die Zugkraft der Sehne nicht parallel zum Anker läuft. Die Gefahr der Ankerdislokation wird so minimiert.

Mechanismus ohne arthroskopisches Knoten erfolgt (OPUS AutoCuff, ArthroCare/KINSA RC, Smith & Nephew/Bio-PushLock oder SwiveLock, Arthrex).

Metallanker können i.d.R. direkt ohne vorheriges Ankörnen oder Gewindeschneiden in den Knochen eingedreht werden. Bei resorbierbaren Implantaten ist meist zunächst die Schaffung eines Lochs durch Bohren oder Ankörnen und teilweise ein Gewindeschneiden erforderlich.

Letztlich bleibt es dem Operateur überlassen, für welches Implantat er sich entscheidet, da die meisten Systeme – abgesehen von Preisunterschieden – verschiedene Vor- und Nachteile haben, mit denen man im Laufe der Zeit Erfahrung sammeln muss. Die Haltekraft ist bei nahezu allen Implantaten ausreichend, vorausgesetzt, es liegt eine ausreichende Knochenqualität vor (s.o.) und sie werden korrekt eingebracht.

Entscheidend neben dem Implantatdesign ist, dass stabile Fäden der neuen Generation zur Anwendung kommen (FiberWire, Arthrex/ORTHOCORD, DePuy Mitek bzw. ETHICON/ULTRABRAID, Smith & Nephew/Herculine, Linvatec), deren Haltekraft und Widerstandskraft den früheren Fäden (z.B. Ethibond) weit überlegen sind; diese sollten für arthroskopische Rotatorenmanschetten-Rekonstruktionen keine Verwendung mehr finden. Alle diese Fäden haben sich in biomechanischen Untersuchungen als relativ gleichwertig in Bezug auf die ultimative Reiß- und Abrasionsfestigkeit erwiesen. Das chirurgische Handling der Fäden in Bezug auf die Fadenhärte und Knotfähigkeit ist aber sehr unterschiedlich, wobei sich ORTHOCORD und ULTRABRAID recht gut und weich knoten lassen, FiberWire schneidet im Vergleich bei leicht überlegenen Werten hinsichtlich der Reiß- und Abrasionsfähigkeit im Knotenhandling dafür schlechter ab, da die Fäden sehr hart und glatt sind.

Einbringwinkel der Anker

Im Tuberculum majus herrschen z.T. recht weiche Knochenverhältnisse vor, insbesondere bei Frauen und älteren Patienten (> 65 Jahre). Trotz der eigentlich guten Haltekraft der Fadenanker ist es daher entscheidend, die Anker nicht parallel zur Zugkraft der Rotatorenmanschette einzubringen, sondern in einem Winkel von ca. 70° zur Horizontalen (*deadman's angle*, s. Abb. 11.26). Durch diese Umlenkung der Kraft verringert sich das Risiko, die Fadenanker durch Zug an den Fäden wieder aus dem Knochen herauszureißen.

Eleganterweise wird diese Art der Ankerapplikation dem Operateur durch das Akromion meist **aufgezwungen**, da es nach lateral so weit auslädt, dass die Anker automatisch schräg in Richtung medialkaudal eingedreht werden.

Instrumente

Die Schwierigkeit, zuverlässig und mit vertretbarem Zeitaufwand einen Faden durch die Manschettensehne zu führen, war lange Zeit eines der wesentlichen Hindernisse bei der arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion. Durch die Entwicklung spezieller Instrumente für diesen OP-Schritt sind heute das Durchstechen der Sehne und das Durchführen eines Fadens an beliebiger Stelle eigentlich kein Problem mehr, wenngleich das Handling des jeweiligen Instruments meist einige Übung erfordert.

Nahtzangen

Für die Rekonstruktion der Supraspinatussehne eignen sich Nahtzangen hervorragend, wobei im Wesentlichen 3 Systeme verfügbar sind, die einander ziemlich ähneln: EXPRESSEW (DePuy Mitek), ELITE PASS (Smith & Nephew) und Scorpion (Arthrex). Das Prinzip dieser Instrumente ist, dass die Sehne wie mit einer Art Greifzange gefasst wird, in die zuvor (meist extraartikulär) ein Faden eingeladen wurde. Der Einsatz von Nahtzangen erfordert i.d.R. die Verwendung einer Arbeitskanüle. Mit einer flexiblen Nadel, die sich im Instrument befindet, wird dann der Faden von einer Seite der Sehne (meist von kaudal) auf die andere (meist nach kranial) hindurchgedrückt und kann dann als Schlaufe hier gegriffen werden. Der Abstand der Naht zum freien Sehnenrand ist variabel, maximal können ca. 16 mm medial vom freien Sehnenrand gestochen werden. Dies reicht für die mediale Nahtreihe bei Doppelreihenrekonstruktionen i.d.R. aus. Ein Nachteil der Zangen ist, dass die flexible Nadel im Instrument blockieren oder der Faden bei dickem Sehnenmaterial im Zuge des Durchstechens in der Sehne stecken bleiben kann. Bei unvorsichtigem Einsatz der Instrumente oder bei Verwendung weiteraufbereiteter und sterilisierter Einmalnadeln kann es

zum Abbrechen und zum Verlust der Nadelspitze kommen.

Direkte Nahtinstrumente

Alternativ zu den Nahtzangen können direkte Nahtinstrumente für den Fadentransport verwendet werden. Dies sind spitz zulaufende Greifzangen unterschiedlicher Form und Biegung. Das Prinzip ist, dass im Gegensatz zu den Nahtzangen kein Einladen eines Fadens in das Instrument vor dem Durchstechen die Sehne stattfindet. Die Sehne wird hier zunächst durchstochen, dann der Faden gegriffen und durch Zurückziehen des Instruments durch die Sehne geführt. Die modernste und ausgereifteste Form dieser Instrumente ist der CleverHook (DePuy Mitek), der als rechts und links gebogene Variante erhältlich ist. Das Elegante an diesem Instrument ist die besondere Form. Es ist wie eine normale chirurgische Nadel geformt und ermöglicht dem Chirurgen, quasi wie beim offenen Operieren mit einer Drehbewegung des Unterarms das Sehnenmaterial zu durchstoßen. Im Gegensatz zu geraden oder abgewinkelten Instrumenten dieser Art anderer Hersteller, bei denen teilweise gehebelt und gestoßen werden muss, um das Instrument insbesondere durch dickes Sehnenmaterial zu bringen, gelingt das Durchstechen mit dem CleverHook vergleichsweise problemlos.

Ein guter Trick ist es, bei Verwendung dieser Instrumente vor dem Durchstechen der Sehne den zu durchstechenden Faden von der Ankeröse in Richtung der erwarteten Austrittsstelle des Instruments an der Unterfläche der Rotatorenmanschettensehne **vorzulegen**, wo er dann direkt mit dem Instrument gegriffen werden kann (s. Abb. 11.27). Auch gelingt der Fadentransport am besten, wenn sich das Arthroskop lateral oder posterolateral befindet und die Nahtinstrumente durch anteriore oder posteriore Portale eingebracht werden, da zum sicheren und zügigen Greifen des Fadens ein Blick durch

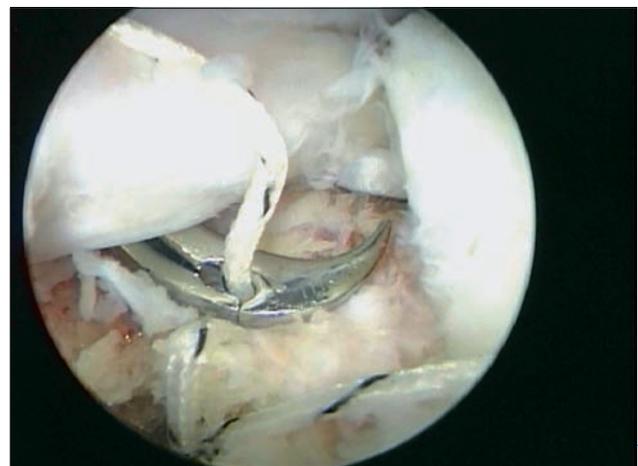


Abb. 11.27a, b: Retrograder Fadentransport durch die Supraspinatussehne mit dem CleverHook (DePuy Mitek), Blick von lateral auf den *crescent-shaped*-Riss. Zunächst wird der Faden vom Anker in Richtung freier Sehnenrand vorgelegt (a), dann erfolgen das Durchstechen und Greifen des Fadens an der Unterfläche der Sehne (b).

die Ruptur in Richtung Glenoid unter die Rotatorenmanschette erforderlich ist.

Indirekte Nahtinstrumente

Dies sind Instrumente, mit denen über den Umweg eines Shuttle Relay der Faden transportiert wird (Fadenlasso oder Bananenlasso, Arthrex/ACCU-PASS, Smith & Nephew/Spectrum Suture Passer, Linvatec). Sie werden v.a. bei der Schulterstabilisierung eingesetzt, eignen sich aber prinzipiell auch für die Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion, wenngleich das Shutteln der Fäden ein Umweg ist, der bei Nahtzangen oder beim CleverHook nicht erforderlich ist. Von einigen Operateuren werden diese Instrumente dennoch gern eingesetzt, da die relativ dünnen Nadeln sich gut durch die Sehne stechen lassen und diese durch das Passieren des Instruments kaum traumatisieren.

Einzelheiten und Abbildungen zu allen Instrumenten finden sich in Kapitel 3.

Fadenmanagement

Arthroskopische Prozeduren an der Rotatorenmanschette erfordern Ordnung und Übersicht im Umgang mit Fäden. Da es häufig erforderlich ist, vor dem Knoten und Abschneiden der Fäden unter Verwendung von mehr als einem Fadenanker zunächst mit mehreren unterschiedlichen Fadenpaaren Nähte durch die Manschette vorzulegen, entsteht ohne umsichtigen und sorgfältigen Umgang mit den Fäden schnell ein unübersichtlicher Fadenwirrwarr.

Folgende Prinzipien sollten daher für das Fadenmanagement beherzigt werden:

- ▶ **Parken von Fäden:** Ankerfäden, die gerade nicht zum Nähen oder Knoten verwendet werden, sollten solange in anderen Portalen (anterolateral, lateral, posterolateral) **geparkt** werden, bis sie selbst zum Fadentransport oder Knoten verwendet werden (s. Abb. 11.28). Es ist ungünstig, beim Arbeiten mit Fäden durch ein Arbeitsportal (Fadentransport oder Knoten) mehr als das gerade verwendete Fadenpaar durch das jeweilige Portal zu leiten, da Verwicklungen oder gar unbeabsichtigte Verknotungen zwischen Fäden sonst sehr leicht auftreten können.
- ▶ **Sichern zusammengehöriger Fadenpaare mit Klemmchen:** Das Anklemmen jeweils zusammengehöriger Fadenpaare erleichtert das Wiederauffinden der Fäden und verringert das Risiko, dass Verwirrung bez. der Zusammengehörigkeit von Fadenpaaren entsteht. Dies wirkt sich insbesondere dann aus, wenn mehrere Fäden und verschiedene Anker verwendet werden.
- ▶ **Verwendung von Fäden mit unterschiedlichen Farben:** Die Verwendung von gefärbten Fäden erleichtert deren Auffinden und Identifikation im Subakromialraum. Weiße Fäden sind eher ungeeignet, da sie sich von der weißen Rotatorenmanschettensehne und der Bursa nur wenig abgrenzen. Blaues, grünes, lila oder farbig gestreiftes Fadenmaterial erleichtert die Fadenauffindung (s. Abb. 11.29). Die meisten von der Industrie angebotenen Fäden weisen heute eine entsprechend geeignete Fadenfärbung auf.



Abb. 11.28: Fadenmanagement. Nicht zum Durchstechen oder Knoten verwendete Fäden sollten in kleinen Arbeitsportalen (hier anterolateral) geparkt werden.

Nahtkonfiguration

Prinzipiell sind folgende, verschiedene Konfigurationen der Naht- bzw. Fadenführung durch die Rotatorenmanschettensehne möglich.

U-Naht

Die einfachste Form der Nahtherstellung ist die U-Naht (s. Abb. 11.30). Das Prinzip ist, dass 1 Faden eines Fadenpaars durch den freien Sehnenrand geführt wird, der andere Faden wird nicht durch die Sehne geführt und geht direkt durch die Ankeröse. Beim Knoten der vorgelegten Naht entsteht eine einfache Fadenschlinge um das Gewebe.

Diese Fadenführung wird bspw. bei einfachen *single-row*-Rekonstruktionen oder in der lateralen Reihe bei Doppelreihenrekonstruktionen verwendet.

Matratzennaht

Bei der Matratzennaht (s. Abb. 11.31) werden 2 Fadenenden eines Fadenpaars durch die Sehne geführt. Beim Knoten der vorgelegten Naht entsteht dann ein kleiner Überstand der Sehne vom Anker nach lateral. Aufgrund der doppelten Fadenführung durch die Sehne ist die Ausreißkraft der Sehne in den Fäden gegenüber der U-Naht verbessert. Diese Naht eignet sich als mediale Reihe bei Doppelreihenrekonstruktionen und in Verbindung mit der *suture-bridge*-Technik (s.u.).

Mason-Allen-Naht

Die arthroskopische Mason-Allen-Naht (s. Abb. 11.32) ist eine Kombination aus U-Naht und Matratzennaht, bei der jeweils mit 1 Fadenpaar eines Ankers die U-Naht und mit einem anderen die Matratzennaht hergestellt wird. Die U-Naht wird dabei weiter medial als die Matratzennaht durch die Sehne gestochen, wodurch sie beim Knoten die Fadenschlaufe der Matratzennaht verklemt.

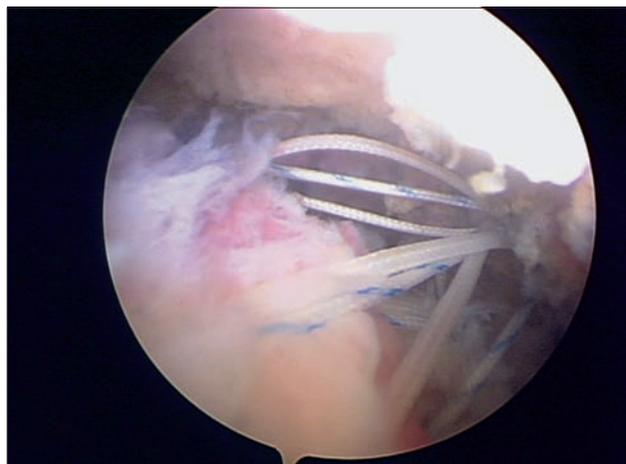


Abb. 11.29: Fadenmanagement. Sowohl vor als auch nach dem Durchstechen der Sehne sollten die Fäden geparkt und mit Klemmchen gesichert werden. Die Verwendung von unterschiedlich gefärbtem Fadenmaterial erleichtert die Identifikation.

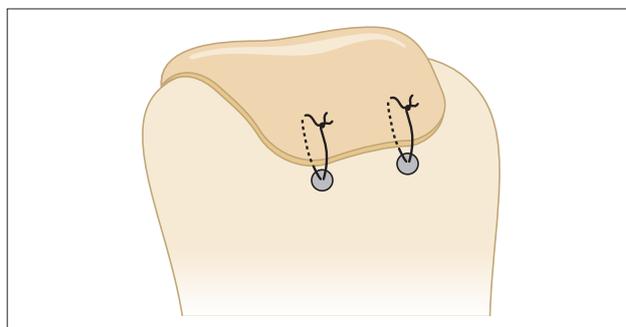


Abb. 11.30: Schema der U-Naht. Nur 1 Faden eines Fadenpaars wird durch die Sehne geführt, es entsteht eine einfache Schlinge um das Gewebe.

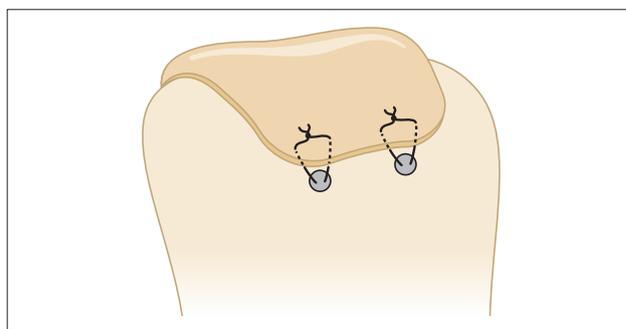


Abb. 11.31: Schema der Matratzennaht. 2 Fäden eines Fadenpaars werden durch die Sehne geführt. Die Sehne wird beim Anspannen und Knoten der Fäden direkt auf den Anker gezogen, es entsteht ein Überstand der Sehne nach lateral je nach Breite der gefassten Sehnenewebebrücke.

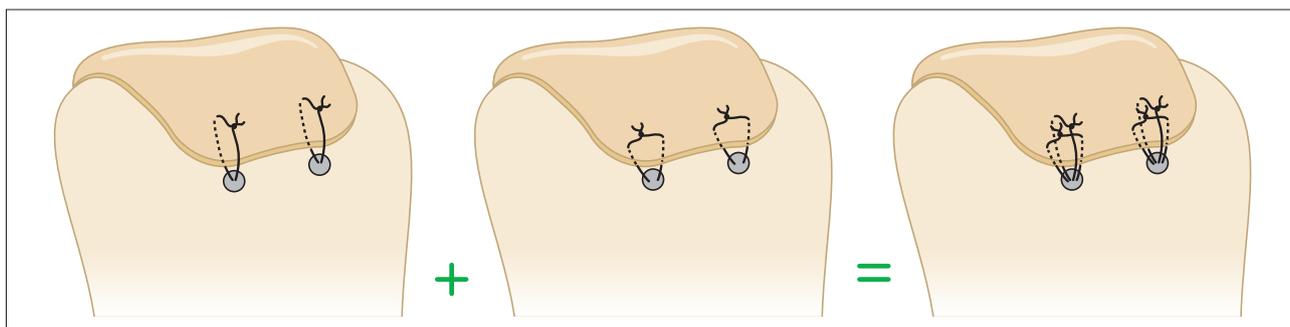


Abb. 11.32: Schema der arthroskopischen Mason-Allen-Naht als Kombination aus U-Naht und Matratzennaht bei doppelt geladenen Fadenankern. Die Sehne wird durch Ineinandergreifen der 2 Fäden breitflächig gefasst, die Fäden blockieren sich gegenseitig.

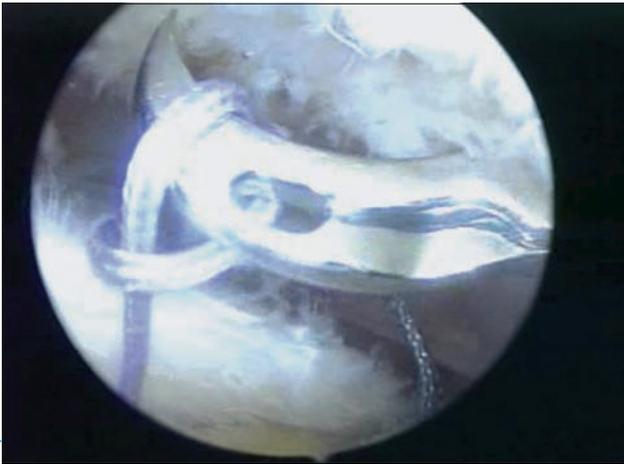


Abb. 11.33a, b: Technik des *lasso loop*. Mit dem CleverHook wird 1 Faden zunächst von unten nach oben durch die Sehne geführt, die entstehende Fadenschleife wird dann aber nicht wie sonst nach extraartikulär ausgefädelt, sondern belassen. Der CleverHook wird dann durch die Schleife hindurch geführt und der Faden, der die Schleife bildet, erneut gegriffen und durch die Schleife gezogen. Es entsteht so eine flaschenzugartige Fadenanordnung, die die Sehne einklemmt.

Lasso loop

Diese Form der Fadenführung (s. Abb. 11.33) ist an ein direktes Nahtgerät gebunden und wurde in Frankreich (L. Lafosse, Annecy) popularisiert. Das Prinzip ist, dass zunächst in retrograder Technik (s.o.) 1 Fadenende in Form einer Schleife von der artikulären Seite der Sehne auf die bursale Seite gezogen wird. Die Schleife wird dann nicht nach extraartikulär herausgezogen wie sonst üblich, sondern mit dem Nahtinstrument losgelassen. Das Instrument wird dann durch die Schleife hindurchgeführt und das Fadenende, das die Schleife bildet, gefasst und durch die Schleife gezogen. Beim Anspannen und Knoten dieser Naht entsteht eine Anpressung und **Quetschung** der Sehne auf den *footprint*.

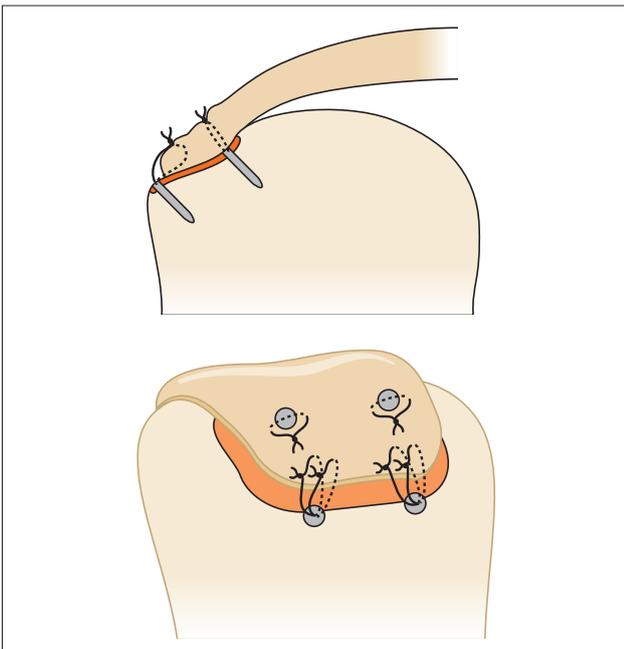


Abb. 11.34: Schema der Doppelreihenrekonstruktion (*double-row*). Die mediale Ankerreihe wird an der medialen Grenze des *footprint* am Übergang zum Knorpel, die laterale Reihe wird am lateralen Rand des *footprint* eingebracht. Dadurch wird die Sehne breitflächig auf das Insertionsareal angedrückt.

Diese Fadenführung kann bei *single-row*-Rekonstruktionen und als laterale Reihe bei Doppelreihenrekonstruktionen angewendet werden.

Einzel- und Doppelreihentechnik

Anatomische Studien haben gezeigt, dass die Supraspinatussehne physiologischerweise am Tuberculum majus flächig in einem Areal von etwa der Größe eines Daummennagels angewachsen ist. Die Vorstellung, dass die Sehne am OA-Kopf quasi wie ein hochkant auf einem Tisch stehendes Blatt Papier inseriert, ist daher falsch. Bei der Einzelreihentechnik (*single-row*), bei der 1 oder mehrere Fadenanker in einer Reihe in a.p. Richtung direkt in den Bereich des physiologischen Insertionsareals der Supraspinatussehne oder lateral davon eingebracht werden, ist die Sehnen-Knochen-Kontaktfläche vergleichsweise gering und nicht anatomisch. Die Sehne wird zwar über das Insertionsareal hinweg nach lateral gezogen, sie liegt aber nur indirekt und **locker** auf dem Knochen auf. Insbesondere die medialen Sehnenanteile haben durch die relativ weit entfernt liegende Refixationsstelle kaum Kontakt zur knöchernen Insertionsfläche. Bei zunehmender Abduktion des Arms wickelt sich die Sehne vom OA-Kopf regelrecht ab, d.h., es findet kein Kontakt mehr zwischen Sehne und Knochen im medialen Bereich des *footprint* statt, was nach durchgeführter *single-row*-Rekonstruktion arthroskopisch von intraartikulär gut nachvollzogen werden kann.

Die Idee der Doppelreihenrekonstruktion (*double-row*) ist es, diese Nachteile durch eine 2. Reihe von Nahtankern am medialen Rand des Insertionsareals auszugleichen (s. Abb. 11.34–11.36). Zwar sind die biomechanischen Studien noch nicht ganz einheitlich, inwieweit die Technik bez. der Primärstabilität der Sehne, d.h. des Ausreißen der Sehne aus den Fadenankern, wirkliche

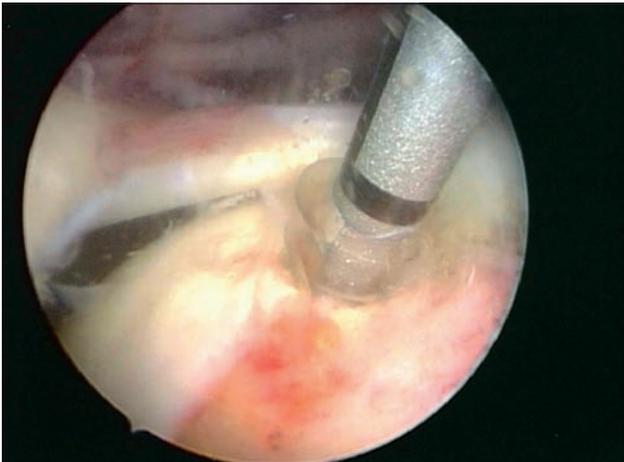


Abb. 11.35: Für die mediale Ankerreihe bei Doppelreihenrekonstruktionen müssen die Anker direkt an der Knorpelgrenze am medialen Rand des *footprint* eingebracht werden (hier: Bio-Corkscrew FT, Arthrex).



Abb. 11.36: *Double-row*-Rekonstruktion bei *crescent-shaped*-Supraspinatusruptur. Vor dem Knoten werden sämtliche Fäden der medialen und der lateralen Reihe durch die Sehne gestochen. Zuerst werden die Fäden der lateralen Reihe, dann die der medialen Reihe verknotet.

Vorteile gegenüber der Einzelreihenrekonstruktion bringt. Klar ist allerdings, dass *double-row*-Nahttechniken die Sehne flächiger und zuverlässiger auf den Knochen andrücken, was ebenfalls arthroskopisch intraartikulär mit Blick auf den *footprint* nachvollzogen werden kann (s. Abb. 11.37).

Aufgrund dieser Vorteile sollten arthroskopische Supraspinatusrekonstruktionen in Doppelreihentechnik

durchgeführt werden, wann immer dies technisch möglich ist, d.h., wenn sie vom Operateur beherrscht wird und der Sehndefekt dies zulässt. Es ist unrealistisch anzunehmen, dass Doppelreihentechniken unabhängig von der Rissform und -größe immer durchführbar sind. Insbesondere bei großen Rissen, bei denen trotz ausreichender Sehnenmobilisationsmaßnahmen keine spannungsarme Reposition der Sehne über den *footprint*

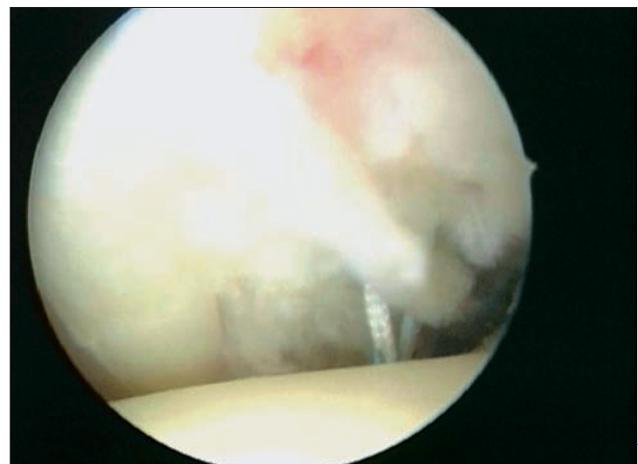
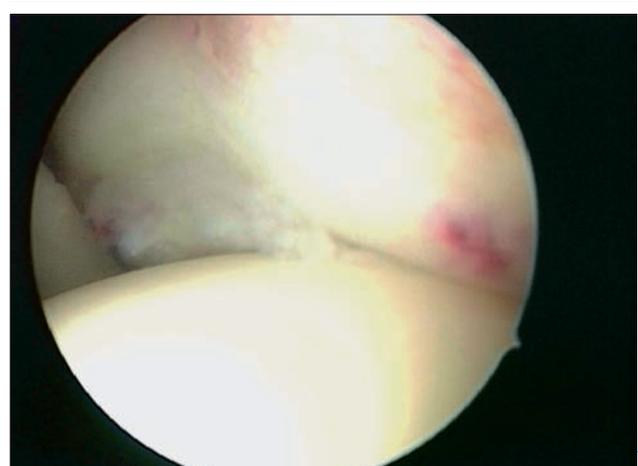


Abb. 11.37a–c: Blick von intraartikulär (rechte Schulter) auf *double-row*-Rekonstruktion einer Supraspinatussehnenruptur. *Crescent-shaped*-Riss beim Anfrischen der Sehne und des *footprint* (a). Nach Durchstechen mit Fäden der medialen und lateralen Reihe, Fäden noch nicht verknotet (b). Nach dem Verknoten liegt die Sehne stabil und dicht direkt lateral der Knorpel-Knochen-Grenze auf dem *footprint* auf (c).



durchführbar ist, sind Partialrekonstruktionen in Einzelreihentechnik vorzuziehen. Bei zu großer Spannung und zu viel Faden- bzw. Fremdmaterial in der schlecht durchbluteten Sehne besteht die Gefahr der Reruptur bzw. Sehnennekrose, wobei das Abwägen der Faktoren Sehnenanspannung, Fremdmaterial, Ankerposition und -anzahl vom Operateur große Erfahrung und Fingerspitzengefühl erfordert. Weitere Einzelheiten hierzu finden sich in Kapitel 12.

OP-Technik

Im Folgenden wird stichpunktartig ein möglicher standardisierter OP-Ablauf zur Rekonstruktion einer Supraspinatussehnenruptur beschrieben.

Doppelreihenrekonstruktion mit Fadenankern (Knotentechnik)

I. Operationsbeginn

1. Anlage posteriores Arbeitsportal
2. Einbringen Arthroskop nach intraartikulär
3. Diagnostischer Rundgang, Beurteilung insbesondere von:
 - a. Bizepssehne (Degeneration, Stabilität)
 - b. Subscapularis (Teilruptur)
 - c. Rotatorenintervall (Vernarbungen, Synovialitis)
 - d. Supra- und Infraspinatus:
 - i. Risslokalisierung
 - ii. Rissgröße
 - iii. Retraktionsgrad
 - iv. Erste Anhaltspunkte für **Rissform**:
 - Vorderer Ankerpunkt Supraspinatus intakt? (*crescent shaped*)
 - Sehne vom Rotatorenintervall her eingerissen? (*anterior-L-shaped*)

II. Präparation

4. Laterales Arbeitsportal:
 - a. In Verlängerung Ruptur nach lateral
 - b. Meist anteriores Drittel laterale Kante Akromion
5. Ggf. Behandlung Bizeps/Intervall/Subscapularis
6. Debridement des freien Sehnenrands (Shaver, Radiofrequenz):
 - a. Entfernung loser Sehnenfransen
 - b. Herstellung stabiler Sehnenrand
7. Debridement des *footprint* (Shaver, Radiofrequenz):
 - a. Entfernung sämtlicher Weichteile vom Knochen
 - b. Darstellung medialer Rand des *footprint* (Knorpel-Knochen-Grenze)
 - c. Vorsichtiges Anfräsen *footprint* (Acromionizer/ Kugelfräse/*bone cutter*)

- d. **Keine** Herstellung einer Knochennute, **kein** tiefes Fräsen bis in weiche Spongiosa
8. Probereposition Sehne mit Fasszange:
 - a. Spannungsfreies Ziehen komplett über *footprint*?
 - b. Falls erforderlich: periglenoidale superiore Kapsulotomie (Radiofrequenz) – Durchtrennung Kapsel zwischen oberem Labrum und Unterfläche Rotatorenmanschette

III. Mediale Reihe

9. Einbringen Fadenanker mediale Reihe (doppelt armiert, z.B. TWINFIX, Bio-Corkscrew oder andere):
 - a. Paraakromiale Stichinzision (anterolaterale Akromionecke), zuvor Austesten Position mit Metallkanüle
 - b. Einbringen Anker (ggf. zuvor Ankören oder Gewindeschneiden) an Knorpel-Knochen-Grenze:
 - i. 1 Anker medial bei Rissgröße < 2 cm in a.p. Richtung
 - ii. 2 Anker medial (Abstand 1,5 cm) bei Rissgröße > 2 cm
10. Anklebmen zusammengehöriger Fadenpaare
11. Wechsel Arthroskop nach subakromial, Arthroskop posterior
12. Bursektomie (Shaver/Radiofrequenz)
13. Entfernung gesamte Bursa anterior und lateral. **Cave:** Fäden bereits eingebrachter Anker!
14. Wechsel Arthroskop nach lateral:
 - a. Evaluation Rissform von lateral
 - b. Bursektomie posterior (Shaver posterior)
 - c. Probereposition Sehne mit endgültiger Festlegung Rissform: Fasszange anterolateral (ggf. bestehender paraakromialer Zugang) oder posterior (ggf. zusätzliches tieferes anterolaterales Portal anlegen)
 - d. Ggf. Wechsel der Armposition (Rotation)
15. Wechsel des Arthroskops in posterolaterales Portal: bessere Übersicht über *footprint* und Sehnenriss
16. Ggf. weitere Maßnahmen zur Sehnenmobilisation:
 - a. Lösung von Vernarbungen zum Rotatorenintervall (Lig. coracohumerale)
 - b. Lösung von Adhäsionen bis in Fossa supra- und infraspinata (Shaver/Radiofrequenz) posterior und anterolateral
17. Einbringen Arbeitskanüle (8,25 mm) lateral (Nahtzangentechnik)
18. Durchführen der 1. Naht:
 - a. Ausleiten 1. Fadenende nach lateral durch Kanüle (aus anteriorem Anker bei Verwendung von mehr als 1 Anker)
 - b. Einladen des Fadens in Nahtzange
 - c. Greifen der Sehne im anterioren Rupturbereich in voller Tiefe der Nahtzange (**Cave:** Bizepssehne nicht mitfassen!)

- d. Schieben des Fadens durch die Sehne
 - e. Abholen der Fadenschlinge an Sehnenoberfläche mit Fadenholzange (paraakromial oder anterolateral)
 - f. Herausziehen Faden und Entfernen Nahtzange
19. Durchführen der 2. Naht (2. Ende des Fadens der 1. Naht):
- a. Wiederholung der Arbeitsschritte 18a und 18b
 - b. Greifen der Sehne ca. 1 cm posterior der 1. Naht in gleicher Tiefe
 - c. Wiederholung der Arbeitsschritte 18d–f
 - d. Damit Herstellung einer Matratzennaht
20. Anklebmen der 2 zusammengehörigen Fadenpaare
21. Fortführung der Nähte der medialen Reihe in identischer Technik (Arbeitsschritte 18/19), schrittweises Arbeiten von anterior nach posterior
22. Sichern sämtlicher zusammengehöriger Fadenpaare der medialen Reihe:
- a. Parken und Anklebmen aller Fäden anterolateral oder posterior
 - b. Verknoten der Fäden erst **nach** Durchführung der lateralen Nahtreihe

IV. Laterale Reihe

23. Einbringen Fadenanker laterale Reihe:
- a. Über lateralen Zugang
 - b. Lateral des *footprint* (seitliche Fläche des Tuberculum majus)
 - c. Ggf. zuvor nochmals Entfernung von lateralen Bursa-Anteilen (Bursa subdeltoidea)
 - d. 2 laterale Anker bei Rissgröße > 2 cm
 - e. 1 lateraler Anker bei Rissgröße < 2 cm
24. Parken (Anklebmen) aller Fäden der lateralen Anker (nach posterior oder anterolateral)
25. Durchführung Naht laterale Reihe:
- a. Wiederholung der Arbeitsschritte 18
 - b. Fassen von 8–10 mm freiem Sehnenrand (ca. halbe Tiefe der Nahtzange)
 - c. Nur 1 Fadenende pro Fadenpaar wird durch die Sehne geführt (U-Naht)
 - d. Schrittweises Arbeiten von anterior nach posterior:
 - i. Ausleiten der Fäden nach anterolateral oder posterior (Fadenmanagement)
 - ii. Anklebmen zusammengehöriger Fadenpaare

V. Knoten

26. Verknoten der vorgelegten Nähte:
- a. Laterale Reihe vor medialer Reihe
 - b. Schrittweise von anterior nach posterior
 - c. Gemeinsames Ausleiten zusammengehöriger Fadenpaare
 - d. Knoten wie in Kapitel 4 beschrieben
27. Abschneiden der Fäden mit kurzem (ca. 5 mm) Überstand

VI. Subakromiale Dekompression und Abschluss

28. Einbringen Fräse/Radiofrequenz von lateral (s. Kap. 8):
- a. Wenn möglich nach Manschettenrekonstruktion (weniger Schwellung und Blutung während der Sehnennaht)
 - b. Darstellung/Abschieben Lig. coracoacromiale von Unterfläche Akromion
 - c. Abtragen anteriorer Akromionüberhang/Traktionssporn
29. Wechsel des Arthroskops nach intraartikulär: abschließende Beurteilung mediale Anhaftung der Sehne am *footprint*

Doppelreihenrekonstruktion mit knotenlosen Anker (*suture-bridge-Technik*)

Siehe Abbildungen 11.38–11.40

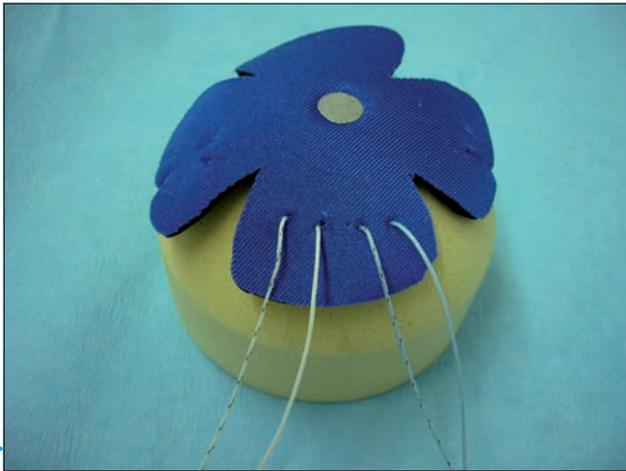
Die Idee dieser Technik ist es, eine breite und möglichst homogene Reinsertion der Supraspinatussehne auf dem *footprint* zu erhalten und gleichzeitig unter Vermeidung von im Subakromialraum aufragenden Knoten bzw. Fadenüberständen eine glatte Gleitschicht der Sehne unter dem Akromion zu gewährleisten (Vermeidung von Knotenimpingement). Ziel des Verfahrens ist es, durch flächige Anpressung des Sehnenmaterials an den Knochen möglichst optimale Heilungsvoraussetzungen zu schaffen. Sie gilt derzeit bei vielen Experten als die empfehlenswerteste technische Variante der arthroskopischen Doppelreihenrekonstruktion.

Das Prinzip ist es, zunächst identisch zur oben beschriebenen Technik der konventionellen Fadenankertechnik eine mediale Nahtreihe mit Schraubankern und Matratzennähten, die arthroskopisch geknotet werden, herzustellen. Der Überstand der Fäden der medialen Reihe wird nun aber nicht abgeschnitten, sondern in gekreuzter Richtung quer (*suture-bridge*) über den Überstand der Sehne nach lateral gezogen und mithilfe eines speziellen knotenlosen Ankersystems unter Anspannung der die Sehneninsertion überbrückenden Fadenstränge im Knochen versenkt. Die Sehne wird also nur noch medial mit Fäden durchstoßen, lateral wird kein Faden durch die Sehne geführt, sondern die Sehne wird zwischen medialer und lateraler Ankerreihe durch die Fadenbrücken auf den *footprint* angepresst.

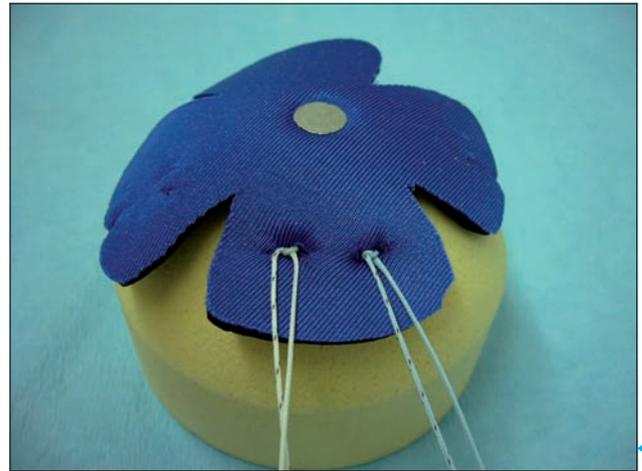
Folgende OP-Schritte sind für die Technik durchzuführen:

I.–III. Präparation und mediale Reihe

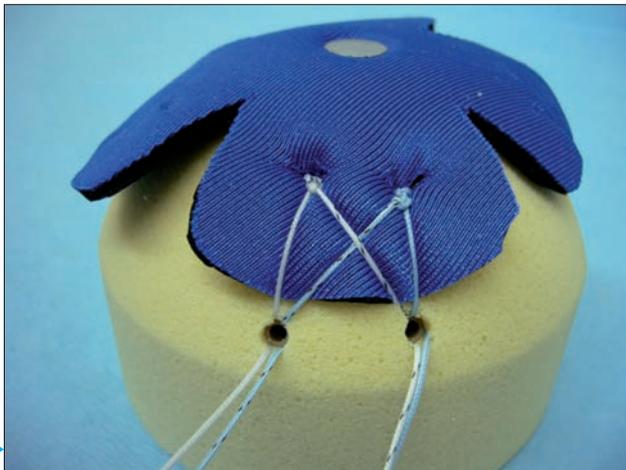
- 1.–21. OP-Schritte identisch zur konventionellen Doppelreihentechnik (s.o.)
22. Entfernung des 2. Fadenpaars aus 1 Anker (bei Verwendung von > 1 Anker)



a



b



c

Abb. 11.38a–c: Doppelreihenrekonstruktion in *suture-bridge*-Technik (Darstellung am Modell). 2 Anker mit je 1 Fadenpaar werden als mediale Reihe verwendet. Die Fäden werden als Matratzennaht durch die Sehne geführt (a). Nach dem Knoten wird der Überstand der Fäden nicht abgeschnitten (b). Die belassenen Fäden der medialen Reihe werden in gekreuzter Richtung über die Sehne und den *footprint* nach lateral geführt und mit 2 knotenlosen Ankern (PushLock, Arthrex) lateral des *footprint* im Knochen versenkt (c).



Abb. 11.39: Für die *suture-bridge*-Technik werden die Fäden der medialen Reihe extraartikulär in die Anker eingefädelt (hier SwiveLock-Anker).

23. Knoten der Nähte der medialen Reihe:
 - a. Gemeinsames Ausleiten zusammengehöriger Fäden anteriorer Anker
 - b. Arthroskopisches Knoten
 - c. **Kein Abschneiden nach dem Knoten**, erneutes Parken der verknотeten Fäden
 - d. Gemeinsames Ausleiten zusammengehöriger Fäden posteriorer Anker
 - e. Arthroskopisches Knoten
 - f. **Kein Abschneiden nach dem Knoten**, erneutes Parken der verknотeten Fäden
 - g. Insgesamt verbleiben 4 Fäden der medialen Reihe für die *suture-bridge*

IV. Laterale Reihe

24. Ankörnen von 2 Löchern lateral des *footprint* im OA-Kopf:
 - a. Laterales Portal
 - b. PushLock oder SwiveLock
 - c. Abstand zueinander ca. 2 cm
 - d. Ggf. Markieren der Löcher mit Radiofrequenz zur erleichterten Auffindung der Löcher
25. Gemeinsames Ausleiten 1 Fadenendes des anterioren Ankers zusammen mit 1 Fadenende des posterioren Ankers der medialen Reihe
26. Extraartikuläres Einfädeln der 2 Fäden in die Ankeröse
27. Einbringen des Ankers mit seiner Öse unmittelbar vor das anteriore vorgekörnte Loch
28. Anspannen der 2 Fäden und gleichzeitiges Eindrücken der Ankeröse in das Loch
29. Einschlagen des Ankers unter straff gehaltenen Fäden
30. Abschneiden der Fäden unmittelbar am Anker
31. Gemeinsames Ausleiten der 2 verbleibenden Fäden des anterioren Ankers und posterioren Ankers der medialen Reihe
32. Extraartikuläres Einfädeln der 2 Fäden in die Ankeröse
33. Einbringen des Ankers mit seiner Öse unmittelbar vor das posteriore vorgekörnte Loch
34. Anspannen der 2 Fäden und gleichzeitiges Eindrücken der Ankeröse in das Loch
35. Einschlagen des Ankers unter straff gehaltenen Fäden
36. Abschneiden der Fäden unmittelbar am Anker

V. und VI. Subakromiale Dekompression und Abschluss

Identische OP-Schritte, wie oben beschrieben



Abb. 11.40: Arthroskopische Darstellung nach Abschluss einer *suture-bridge*-Doppelreihenrekonstruktion einer Supraspinatussehnenruptur, Blick von lateralem Portal (rechte Schulter)

Ergebnisse der arthroskopischen Supraspinatussehnnennaht

Es besteht heute ein Konsens, dass die Ergebnisse der arthroskopischen Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion denen der offenen oder *mini-open*-Nahttechnik zumindest bei kleinen und mittelgroßen Rissen ebenbürtig sind. Lediglich bei sehr großen Rupturen (Zwei- und mehr Sehnenrupturen) mit höherem Retraktionsgrad sind die Ergebnisse z.T. noch unbefriedigend, wenngleich kaum Studien existieren, die kontrolliert/randomisiert die Ergebnisse der arthroskopischen mit der offenen Nahttechnik bei diesen speziellen Rissformen vergleichen. Für die kleineren und mittleren Rupturen existieren heute zahlreiche klinische Vergleichsstudien, in denen mittelfristig die arthroskopische Rekonstruktionstechnik in den Parametern Schmerz, Beweglichkeit und Kraft gleichwertig zur offenen Rekonstruktion abschneidet. Subjektiv hat die arthroskopische Technik hinsichtlich ihrer kurzfristigen postoperativen Morbidität (Schmerz, Beweglichkeit) deutliche Vorteile, da sie v.a. den Deltamuskel vergleichsweise wenig traumatisiert. In den USA und auch in einigen Zentren in Deutschland (u.a. im eigenen Vorgehen) werden arthroskopische Manschettennähte daher nicht selten ambulant durchgeführt, was bei den offenen Rekonstruktionstechniken kaum denkbar ist. Dennoch bleibt bei aller Euphorie festzuhalten, dass gemäß neuesten Studien arthroskopische und offene Technik eine vergleichbare postoperative Komplikationsrate (ca. 10%) und auch Reruptur- bzw. Nichtheilungsrate der Sehne (ca. 15–30%) aufweisen.

Für detaillierte Angaben zu den Ergebnissen siehe Literaturverzeichnis.

Zusammenfassung

Die arthroskopische OP-Technik zur Rekonstruktion der Rotatorenmanschette hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt und findet immer mehr Zuspruch unter Arthroskopen und Schulterchirurgen. Durch spezielle Implantate und Instrumente lassen sich die meisten OP-Schritte heute reproduzierbar und zügig bewerkstelligen.

Die OP verlangt dem Arthroskopen allerdings spezielle arthroskopische Fertigkeiten ab, wie das sichere Handling der Nahtinstrumente und zuverlässiges arthroskopisches Knoten. Darüber hinaus muss der Operateur ein spezielles Verständnis für die jeweils vorliegende Risspathologie und die daraus abzuleitende Rekonstruktionsstrategie besitzen, was Erfahrung und eine hohe Fallzahl an Rekonstruktionen voraussetzt. Gerade hier, im neu gewachsenen Verständnis der Risskonfiguration, liegt neben der geringen Invasivität allerdings auch der große Vorteil der arthroskopischen Technik mit großem Nutzen für die betroffenen Patienten.

Bei aller Euphorie um die verbesserten Techniken bleibt leider bis heute das Problem der sicheren knöchernen Einheilung der Sehne der Schwachpunkt der Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion, unabhängig davon, ob offen oder arthroskopisch operiert wird. Die schlechten biologischen Voraussetzungen, insbesondere bei älteren Patienten (> 65 Jahre) und die großen biomechanischen Anforderungen der Insertion der Rotatorenmanschette, sind hierfür verantwortlich. Eine gute OP muss daher heute darauf bedacht sein, optimale Heilungsvoraussetzungen in Form einer möglichst stabilen und breitflächigen Sehnenrefixation, die dennoch ohne zu viel Fremdmaterial auskommt, zu schaffen.

Literatur zur Vertiefung

1. Agneskirchner JD, Lobenhoffer P, Arthroscopic knot tying in rotator cuff repair. *Arthroscopie* (2007), 20, 22–32
2. Agneskirchner JD et al., Complications in reconstructive arthroscopic shoulder surgery. *Arthroscopie* (2006), 19, 157–171
3. Bauer GJ, Kniesel B, Arthroscopic reconstruction of the rotator cuff. *Unfallchirurg* (2006), 109, 619–627
4. Boileau P et al., Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? *J Bone Joint Surg Am* (2005), 87, 1229–12240
5. Burkhart SS, Lo IK, Arthroscopic rotator cuff repair. *J Am Acad Orthop Surg* (2006), 14, 333–346
6. Burkhart SS, Lo IKY, Brady PC (2006) Burkhart's view of the shoulder: A cowboy's guide to advanced shoulder arthroscopy. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
7. Charoussat C et al., Can a double-row anchorage technique improve tendon healing in arthroscopic rotator cuff repair? A prospective, nonrandomized, comparative study of double-row and single-row anchorage techniques with computed tomographic arthrography tendon healing assess. *Am J Sports Med* (2007), 35, 1247–1253
8. Flurin PH et al., Arthroscopic repair of full-thickness cuff tears: a multicentric retrospective study of 576 cases with anatomical assessment. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* (2005), 91, 31–42
9. Gartsman GM (2003) *Shoulder Arthroscopy*. Elsevier, Amsterdam
10. Gartsman GM, Hasan SS, What's new in shoulder and elbow surgery. *J Bone Joint Surg Am* (2005), 87, 226–240
11. Gartsman GM, O'Connor DP, Arthroscopic rotator cuff repair with and without arthroscopic subacromial decompression: a prospective, randomized study of one-year outcomes. *J Shoulder Elbow Surg* (2004), 13, 424–426
12. Guttman D et al., Arthroscopic rotator cuff repair: the learning curve. *Arthroscopy* (2005), 21, 394–400
13. Kim KC et al., A modified suture-bridge technique for a marginal dog-ear deformity caused during rotator cuff repair. *Arthroscopy* (2007), 23, 562.e1–4
14. Lafosse L, Van Raebroeckx A, Brzoska R, A new technique to improve tissue grip: „the lasso-loop stitch“. *Arthroscopy* (2006), 22, 1246.e1–3
15. Lee E et al., Outcomes after arthroscopic rotator cuff repairs. *J Shoulder Elbow Surg* (2007), 16, 1–5. Epub 2006 Sep 29
16. Lo IK, Burkhart SS, Current concepts in arthroscopic rotator cuff repair. *Am J Sports Med* (2003), 31, 308–324
17. Lo IK, Burkhart SS, Double-row arthroscopic rotator cuff repair: re-establishing the footprint of the rotator cuff. *Arthroscopy* (2003), 19, 1035–1042
18. Mazzocca AD et al., Arthroscopic single-row versus double-row suture anchor rotator cuff repair. *Am J Sports Med* (2005), 33, 1861–1868. Epub 2005 Oct 6
19. Milano G et al., Arthroscopic rotator cuff repair with and without subacromial decompression: a prospective randomized study. *Arthroscopy* (2007), 23, 81–88
20. Rebuzzi E et al., Arthroscopic rotator cuff repair in patients older than 60 years. *Arthroscopy* (2005), 21, 48–54
21. Thal R, Jennings WB, Heusch WL, Arthroscopic rotator cuff repair using the suture loop shuttle technique. *Arthroscopy* (2007), 23, 561.e1–4. Epub 2007 Feb 14
22. Wolf EM, Pennington WT, Agrawal V, Arthroscopic side-to-side rotator cuff repair. *Arthroscopy* (2005), 21, 881–887
23. Wolf EM, Pennington WT, Agrawal V, Arthroscopic rotator cuff repair: 4- to 10-year results. *Arthroscopy* (2004), 20, 5–12

Redaktion

A.B. Imhoff, München

J.D. Agneskirchner · P. Lobenhoffer
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Henriettenstiftung Hannover

Arthroskopische Knotentechnik bei der Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Die arthroskopische Technik der Rotatorenmanschettenrekonstruktion setzt sich im Vergleich zum offenen Vorgehen immer mehr durch, sodass versierte arthroskopische Chirurgen mittlerweile nicht mehr nur kleine, nichtretrahierte, sondern zunehmend auch größere, retrahierte Rupturen arthroskopisch rekonstruieren.

Bei aller Euphorie um die schnelle Verbreitung dieser speziellen arthroskopischen Operationstechnik darf nicht vergessen werden, dass es sich grundsätzlich um eine anspruchsvolle und komplexe Prozedur handelt, die dem Operateur neben einem grundlegenden Verständnis für die Indikationsstellung und unterschiedlichen Läsionstypen ein hohes technisches Können abverlangt. Hierzu gehören neben der Fähigkeit zur raschen Schaffung einer guten Übersicht im Subakromialraum und der Kontrolle von Blutungen insbesondere das Handling der speziellen Instrumente zum Fadentransport und die absolut sichere Beherrschung arthroskopisch geknüpfter Knoten. Trotz bzw. gerade weil knotenlose Refixationssysteme auch für die Rotatorenmanschettenrekonstruktion zunehmend entwickelt und verbreitet werden, muss jeder Chirurg, der rekonstruktive Prozeduren insbesondere an der Schulter durchführt, stabile arthroskopische Knoten sicher und zügig anlegen können, da die knotenlosen Systeme sich bei weitem nicht für alle Läsionstypen und Rekonstruktionstechniken

eignen bzw. vielfach auch noch zu fehleranfällig sind.

Diese Arbeit soll eine Übersicht über die heutige Technologie der Knotentechnik bei der arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion geben.

Instrumentarium

Fadenmaterial

Die Verwendung von stabilem und gut gleitendem Fadenmaterial ist eine wichtige Voraussetzung für sichere und feste arthroskopische Knoten. Noch vor wenigen Jahren, als die neue, reißfeste Faden- generation noch nicht verfügbar war und die Fadenanker noch mit Ethibond oder gar PDS von der Industrie geliefert wurden, waren Fadenrisse im Zuge des arthroskopischen Knotens auch bei richtiger Knotentechnik häufig nicht vermeidbar und führten zu erheblicher Frustration und wahrscheinlich auch zu schlechteren Operationsergebnissen. Mit der Entwicklung der neuen speziellen reißfesten Faden- generation, zunächst des FibreWire (Arthrex), später anderer Fäden (Ultrabraid, Smith & Nephew, Orthocord, Ethicon Mitek) hat sich das Problem des Fadenrisses heute drastisch reduziert. Die Fäden sind so stabil, dass der Operateur sogar eher dazu neigt, die Knoten zu fest zu ziehen. Im Hinblick darauf muss gerade an der Rotatorenmanschette heute darauf geachtet werden, die Knoten trotz der festen Fäden nur so weit zusammenzuzie-

hen, bis die Adaptation des gefassten Gewebes an den Knochen stattgefunden hat. Es muss vermieden werden, dass durch sehr starkes Ziehen an den Fadenenden beim Knoten das Sehngewebe stranguliert oder gar wieder zerrissen wird.

Im Allgemeinen sollte geflochtenes, nichtresorbierbares Fadenmaterial der Stärke 2, wie es standardmäßig in nahezu allen gängigen Refixationssystemen für die Rotatorenmanschette vorhanden ist, verwendet werden. Dünnere Fäden (z. B. 2-0) tragen zwar wahrscheinlich im Subakromialraum weniger auf, weisen aber eine deutlich schlechtere Reißfestigkeit und wahrscheinlich auch ein höheres Risiko zum Durchschneiden der Fäden aus der Rotatorenmanschette auf.

Subjektiv scheinen etwas weichere Fäden (Ultrabraid oder Orthocord) gegenüber dem harten FibreWire leichte Vorteile zu haben, da sie bei vergleichbaren Werten bzgl. Reißfestigkeit und Steifigkeit im Handling für den Operateur angenehmer sind, d. h. zu weniger Einschneiden in die Finger des Operateurs während des Festziehens der Knoten führen. Beim eigenen Vorgehen hat sich diese geringere Aggressivität der weicheren Fäden auch im Hinblick auf die Stabilität der Naht in etwas brüchigeren Gewebeanteilen der Rotatorenmanschette als vorteilhaft erwiesen.

Fadenholinstrument

Der Fadenholer ist neben dem jeweiligen Instrument zum Fadentransport-

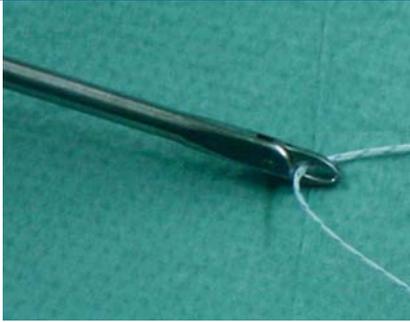


Abb. 1 ▲ Spitz zulaufender Fadentrückholer (Fa. Arthrex), wie er sich ideal für das Faden- und Knotenmanagement eignet



Abb. 2 ▲ **a** Einfacher, wieder verwendbarer Knotenschieber (Fa. Smith & Nephew) mit geschlossener Metallöse am Ende zur universalen Verwendung beim arthroskopischen Knoten. **b** „6th finger knotpusher“ (Einmalinstrument, Fa. Arthrex) als Hilfsmittel zum arthroskopischen Knoten

durch die Sehne und dem arthroskopischen Knotenschieber das bei der arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion wichtigste und am häufigsten benutzte Instrument. Im Hinblick auf das arthroskopische Knoten dient das Instrument zum Ausleiten der im nächsten Schritt zu verknötenden Fadenenden. Es kann entweder ein gebogener Haken („crochet hook“), ähnlich einer Häkelnadel, oder besser noch eine Fadentrückholzange („suture retriever“) verwendet werden. Die Instrumente der verschiedenen Anbieter unterscheiden sich hierbei nicht wesentlich, wobei beim eigenen Vorgehen der Fadentrückholer der Fa. Arthrex (▣ **Abb. 1**) auch in seiner Variante mit Sehnengreiffunktion („Kingfisher“) sich als besonders vorteilhaft erwiesen hat, da er durch ein spitz zulaufendes Ende sehr leicht auch durch kleinste Portale ohne Arbeitskanüle eingeführt werden kann und Fäden, die sich inmitten eines Gewirrs anderer Fadenenden befinden, leicht und zuverlässig herausgefischt und zum Knoten ausgeleitet werden können.

Knotenschieber

Die meisten arthroskopischen Knoten erfordern ein Instrument, mit dem extrartikulär vorgelegte Knoten oder Halbschläge ins Gelenk bzw. den Subakromialraum transportiert werden können. Die einfachste und mit Abstand meistverbreitete Variante ist hierbei eine einfache geschlossene Metallöse am Ende eines dünnen Metallschafts. Am anderen Ende befindet sich ein Metallring, durch den der Operateur z. B. den Daumen führen kann und damit dosiert Zug auf das im Instrument befindliche Fadenende ausüben kann (▣ **Abb. 2a, b**). Durch die Öse wird ein Fadenende gefädelt und der Knoten wird entweder durch direktes Schieben eines gesamten vorgelegten Knotens (Rutschknoten, „sliding knot“) oder durch Hineinfädeln einer einzeln vorgelegten Halbschlinge („half hitch“, „non sliding knot“) transportiert.

Dieser Knotenschieber, der in nahezu identischer Bauweise von den meisten Firmen erhältlich ist, existiert auch in einigen Varianten, z. B. mit einem kleinen Schlitz in der endständigen Öse, die ein seitliches Einfädeln des Fadens ermöglicht, oder sogar mit einem Mechanismus zum Abschneiden des Fadens nach dem Knoten.

Wegen ihrer Einfachheit sind diese Knotenschieber im Vergleich zu anderen arthroskopischen Instrumenten oder Implantaten relativ preisgünstig (ca. 100–200 Euro). Sie sind unbegrenzt wieder verwendbar und sterilisierbar und bei sorgsamem Umgang quasi unverwundlich.

Eine Alternative hierzu ist der „6th finger knotpusher“ (▣ **Abb. 2c**, Fa. Arthrex). Der Vorteil des Instruments liegt darin, dass ein einfach vorgelegter Knoten, z. B. 2 Halbschlingen, unter Spannung des refixierten Gewebes fest gehalten und gegen Lockerung gesichert werden kann, bis weitere Halbschlingen zur Stabilisierung und zum endgültigen Verblocken und Sichern des Knotens antransportiert sind. Da mit diesem Instrument die Halbschlingen mit Hilfe einer Plastikhülse entlang eines Metallschafts durch das Arbeitsportal bis direkt zur Refixationsstelle geschoben werden, ist die Gefahr eines Luftknotens, d. h. des Verblockens

Zusammenfassung · Abstract

Arthroskopie 2007 · 20:22–32
DOI 10.1007/s00142-006-0376-9
© Springer Medizin Verlag 2006

J.D. Agneskirchner · P. Lobenhoffer Arthroskopische Knotentechnik bei der Rotatorenmanschettenrekonstruktion

Zusammenfassung

Auf Grund der rapiden Entwicklung und zunehmenden Verbreitung der speziellen Technologie „arthroskopische Rotatorenmanschettenrekonstruktion“ führen immer mehr Operateure diese komplexe und technisch anspruchsvolle Operation durch. Die Operationstechnik erfordert spezielle Fertigkeiten, wie ein präzises Verständnis um den jeweils vorliegenden Rupturtyp, sowie die Beherrschung spezieller Instrumente und Refixationssysteme. Insbesondere ist es unverzichtbar, dass der Operateur arthroskopisches Knoten zügig und mit absoluter Sicherheit auch in schwierigeren Situationen beherrscht. Diese Arbeit soll eine Übersicht zum aktuellen Stand der arthroskopischen Knotentechnik an der Schulter geben.

Schlüsselwörter

Rotatorenmanschettenrekonstruktion · Refixationssysteme · Fadentransport · Knotentechnik

Arthroscopic knot tying in rotator cuff repair

Abstract

Due to the rapid evolution and wide availability of the special technology of arthroscopic rotator cuff repair more and more surgeons switch from the open to the arthroscopic approach in the management of even complex cuff tears. However the operative technique is still demanding and requires special skills, such as a precise analysis of the type of the lesion and the handling of specialized instruments and refixation systems. It is absolutely mandatory for every surgeon, to be able to tie arthroscopic knots even in difficult situations of the procedure. This paper gives an overview on the current state of the technology of arthroscopic knot tying in arthroscopic rotator cuff repair.

Keywords

Rotator cuff repair · Refixation systems · Thread transport · Knot tying

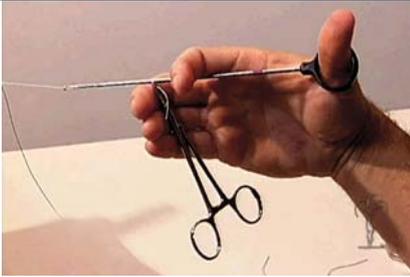


Abb. 3 ▲ Bei Verwendung eines einfachen Knotenschiebers wird der Daumen durch den dafür vorgesehenen Ring des Instruments geführt. Das im Knotenschieber befindliche Fadeneende wird mit einem Klemmchen gefasst, das in der gleichen Hand geführt wird



Abb. 4 ▲ Transparente Arbeitskanüle (Durchmesser 8,25 mm, Fa. Arthrex)

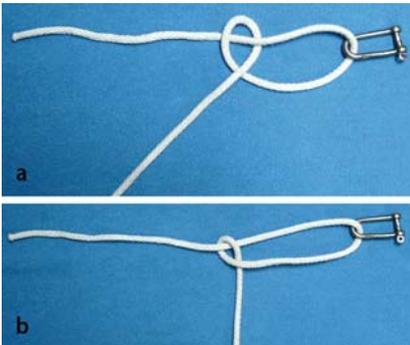


Abb. 5 ▲ Einfache Halbschläge („half hitches“). Die „loop“ ist entweder oberhalb (a) oder unterhalb (b) um den „post“ herumgeschlungen

des Knotens noch vor der Geweheadaptation, oder des Mitschleifens von Weichgewebe (z. B. Bursa) bei Knoten ohne Arbeitskanüle bei diesem Instrument relativ gering, was ein Vorteil ist. Bei gutem Training des Operateurs mit einem einfachen Ösenschieber ist dieses ausschließlich als Einmalmaterial verfügbare Instrument aber verzichtbar und wird auch angesichts des zunehmenden Kostendrucks allgemein nur noch wenig eingesetzt.

Klemmchen bzw. Nadelhalter

Bei vielen Knotentechniken, z. B. denen, die mit einem einfachen Ösenschieber arbeiten, sollte das Fadeneende, das durch den Knotenschieber geführt wird, mit einem einfachen Instrument angeklammert werden, da sich Handling und Spannung des Fadens mit der Hand, die gleichzeitig den Knotenschieber halten muss, so leichter kontrollieren lassen (■ **Abb. 3**). Es sollte hierbei ein Instrument verwendet werden, das den Faden ohne scharfe Zähne, aber trotzdem stabil festklemmt (z. B. einfacher Nadelhalter), da beim Packen des Fadens mit scharfen Metallkanten sonst selbst bei den neuen reißfesten Fäden Fadenrisse während des Knotens auftreten können.

Arbeitskanülen

Die Verwendung von Arbeitskanülen (■ **Abb. 4**) beim arthroskopischen Knoten an der Schulter minimiert die Gefahr der Interposition von Weichteilen, z. B. Bursa oder Kapsel, im Zuge des Einschlebens des Knotens. Vorteilhaft sind durchsichtige Arbeitskanülen (Einmalmaterial), da bei schlechteren Sichtverhältnissen das Finden und Manipulieren von Fadeneenden gelegentlich dann etwas leichter fällt. Vielfach wird aber gerade von geübteren Operateuren auf Arbeitskanülen verzichtet, da die Gefahr der Weichteilinterposition durch gleichzeitiges Greifen und Ausleiten beider zusammengehöriger Fadeneenden vor dem Knoten ausgeschaltet werden kann [1]. Zudem schränken die Arbeitskanülen den ohnehin gelegentlich knappen Arbeitsraum bei subakromialen Prozeduren wie der RM-Naht weiter ein und können sogar zu Fadenschäden führen, wenn die Fäden an den scharfen Kanülenenden wiederholt scheuern.

Allgemeines zu arthroskopischen Knoten

Grundsätzlich existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Knoten, die bei arthroskopischen Prozeduren an der Schulter beschrieben worden sind und prinzipiell eingesetzt werden können. Das auf den ersten Blick offensichtliche Problem des arthroskopischen Knotens ist es, in der

Tiefe und Enge der Schulter ausschließlich durch ein kleines Arbeitsportal und ohne die gewohnte manuelle Kontrolle einen festen Knoten zu produzieren.

Gleitende („sliding“) vs. nichtgleitende („non sliding“) Knoten

Die grundsätzliche Idee zur Lösung dieses Problems ist es daher, zunächst außerhalb des Gelenks und der eigentlichen Refixationsstelle einen speziell konfigurierten Knoten vorzulegen, der dann von außen nach innen in die Tiefe zur eigentlichen Nahtstelle gezogen werden kann. Diese Idee ist in den Rutschknoten („sliding knots“) umgesetzt. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Rutschknoten, die meist aus der Bergsteigerszene oder Schifffahrt stammen und sich mehr oder weniger unterscheiden. Das gemeinsame Prinzip aller dieser Knoten ist, dass durch Ziehen an einem Fadeneende („post“) mit oder ohne Zuhilfenahme eines einfachen Knotenschiebers ein vorgelegter Knoten durch das Arbeitsportal zur Refixationsstelle, z. B. dem Fadenanker, gezogen wird. Einer der ersten verwendeten Knoten dieser Art, teilweise bis heute im Gebrauch, ist der klassische Henkerknoten („hangmans knot“), dessen Schlinge sich von selbst bei Zug an einem Ende des Seils bzw. Fadens zuzieht.

Voraussetzung für die Verwendung aller dieser sliding knots ist es, dass der Faden nach dem Durchstechen des Gewebes frei in Ankeröse und Gewebe gleiten kann. Ist durch irgendeinen Umstand, z. B. ein Verblocken eines Fadens durch sich selbst oder einen anderen Faden, das Gleiten nicht mehr möglich, kann kein Rutschknoten mehr verwendet werden, was der Hauptnachteil dieser Technik ist.

In diesem Fall muss ein nichtgleitender Knoten („non sliding knot“) verwendet werden, der das feste Zuziehen der Knotenschlinge und damit stabile Adaptieren des Gewebes erlaubt, ohne dass der Faden im Anker bzw. der Nahtstelle im Gewebe gleiten muss. Diese „non sliding knots“ funktionieren daher so, dass einzelne Halbschlingen („half hitches“, ■ **Abb. 5**) in einer bestimmten Konfiguration sukzessive wie beim offenen Knoten einzeln gelegt werden und dann in der Summe

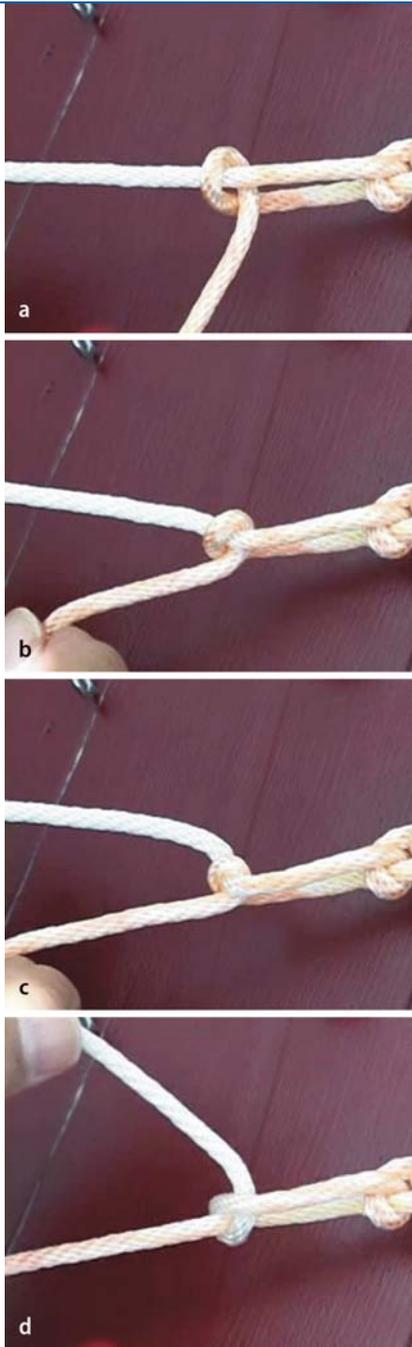


Abb. 6 ▲ Prinzip des einfachen Wechsels zwischen „post“ und „loop“ durch simplen Wechsel der Spannung zwischen 2 Fadenenden. Wird ein straffes Postende (a) gelockert und gleichzeitig am anderen Ende („loop“) gezogen (b, c) schnappt die Halbschlinge so um, dass aus dem „post“ die „loop“ und umgekehrt (d) wird

den gesamten Knoten ergeben. Der Vorteil dieser Knoten ist, dass sie, unabhängig von der Gleitfähigkeit der vorgelegten Naht, immer funktionieren, z. B. auch bei komplizierteren vorgelegten Nähten (z. B. „lasso loop stitch“ [6]), die sich bei Zug an einem Fadenende in sich selbst verblo-

cken und bei denen sliding knots kontraindiziert sind.

„Post“ und „loop“

Die Begriffe „post“ und „loop“ tauchen bei allen Beschreibungen und Anleitungen zu arthroskopischen Knoten auf. Deren Kenntnis ist für ein grundlegendes Verständnis arthroskopischer Knoten unentbehrlich. „Post“ (Steg) und „loop“ (Schleufe) bezeichnen jeweils die beiden Fadenenden, mit denen der Knoten angefertigt wird, wobei „post“ das gestreckte Fadenende und „loop“ das um den „post“ herumgeführte Fadenende ist (■ **Abb. 5 und 6**). Im einfachsten Fall ist die „loop“ eine einfache Halbschlinge, die um den „post“ einmal herumgeschlungen ist. Bei komplizierteren Fadenanordnungen, z. B. Rutschknoten, heißt das Fadenende, entlang dessen die vorgelegte Fadenkonfiguration beim Zuziehen des Knotens gleitet, ebenfalls „post“.

Es liegt in der Natur der Rutschknoten, dass auf Grund ihrer Eigenschaft, durch einfachen Zug an einem Fadenende („post“) eine sich selbst zuziehende Schlinge zu bilden, sich bei Zug am anderen Fadenende bzw. beim Lockerlassen des „post“, wieder zu lockern. Dies ist neben dem normalerweise größeren Volumen des Knotens im Vergleich zum non sliding knot ein wesentlicher Nachteil der meisten Rutschknoten. Wegen dieser Tendenz zur Lockerung müssen die Rutschknoten nach dem Festziehen des primär vorgelegten Knotens durch nachträglich einzeln vorgeschobene Halbschläge gegen Auslockern gesichert werden (z. B. „hangmans knot“, „Duncan loop“, „fisherman’s knot“).

Es ist wichtig zu verstehen, dass „post“ und „loop“ bei einzelnen vorgeschobenen Halbschlingen durch wechselseitigen Zug an den Fadenenden jeweils beliebig getauscht werden können (■ **Abb. 6a–d**). Wird zunächst beispielsweise an einem straffen Ende („post“) eine lockere Halbschlinge („loop“) entlang geschoben, kann durch Ziehen an der „loop“ und gleichzeitiges Lockerlassen am „post“ („switch post“) die Halbschlinge so umschnappen, dass der ehemalige „post“ zur „loop“ und die „loop“ zum „post“ wird. Das Verblocken eines Knotens folgt letztlich immer dem Prinzip

des wechselseitigen Austauschs von „post“ und „loop“ und ist daher die Basis der Stabilität für die meisten Knoten.

Es ist empfehlenswert für jeden, der arthroskopische Knoten übt und anwenden möchte, dieses basale Prinzip jedes Knotens, d. h. des Verblockens durch Wechseln von „post“ und „loop“, zu verstehen und an einem einfachen Modell, z. B. mit einer dünnen Kordel an einer Metallöse, ohne arthroskopische Instrumente, nachzuvollziehen.

Richtung des Knotens („Overhand“- bzw. „Underhand“-knoten)

Ein weiteres grundsätzliches Merkmal jedes Knotens ist die Anordnung der beiden Fadenenden zueinander in Bezug auf ihre Richtung. Dieses Prinzip ist jedem vom offenen chirurgischen Knoten her bekannt und basiert darauf, dass das Fadenende der Halbschlinge („loop“) entweder oberhalb oder unterhalb des anderen Fadenendes („post“) herumgeführt werden kann. Beim einhändigen chirurgischen Knoten wird dies im sog. Underhand- (■ **Abb. 7a**) oder Overhandknoten (■ **Abb. 7b**) sichtbar, wo ein Fadenende oberhalb oder unterhalb des anderen Fadenendes geführt wird. Für die Stabilität des gesamten Knotens ist diese Richtung der Fadenführung deutlich weniger wichtig als das Prinzip der Kippung der beiden Fäden zueinander (Wechsel von „post“ and „loop“), da selbst eine große Anzahl von Halbschlingen in jeweils wechselnder Richtung („underhand“ oder „overhand“) um einen einzigen „post“ keinen stabilen Knoten ergeben (■ **Abb. 8a, b**). Der Knoten kann solange entlang eines einzigen „post“ rutschen, bis zumindest einmal eine Verblockung durch einen Wechsel von „post“ und „loop“ stattgefunden hat (■ **Abb. 8c**), was z. B. beim „easy knot“ am besten zu sehen und zu verstehen ist.

„Knot security“ und „loop security“

Auf Grund der zunehmenden Zahl arthroskopischer Rekonstruktionsoperationen an der Schulter haben sich bereits einige biomechanische Studien mit der Stabilität verschiedener Knotenkonfigurationen beschäftigt [2, 3, 4, 5, 7]. Es gilt, grundsätzlich zwischen der „knot secu-

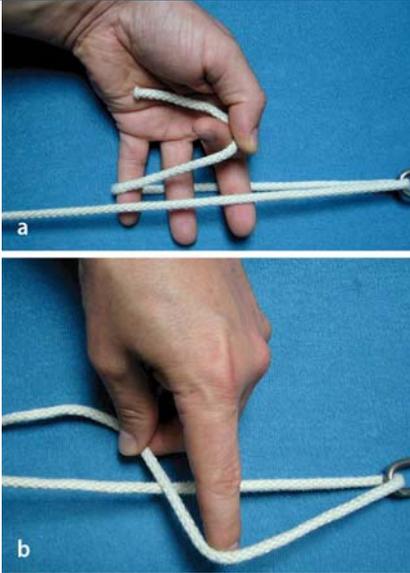


Abb. 7 ▲ Prinzip des einhändigen Anlegens einer Halbschlinge um einen „post“. Beim unterhand (a) wird die „loop“ unterhalb des „post“ geführt, beim „overhand“ (b) oberhalb des „post“

rity“, d. h. der Festigkeit des Knotens im Ganzen im Hinblick auf die Auflösung des Knotenkonstrukts, und der „loop security“, d. h. der Auslockerung und Erweiterung der das Gewebe umfassenden Knotenschlinge, insbesondere unter zyklischer Belastung, zu unterscheiden. Gerade im Hinblick auf die loop security haben die Rutschknoten definitionsgemäß erhebliche Nachteile, sodass hier eine zusätzliche Absicherung mit gegenläufigen und gekippten Halbschlägen immer zwingend erforderlich ist. Letztlich lassen sich aber mit den meisten verwendeten Knoten ausreichend stabile Konfigurationen erzielen, wenngleich der sog. „square knot“, ein non sliding knot (■ **Abb. 13**), der aus lediglich 4 Halbschlägen besteht, die in wechselnder Richtung und mit jeweils getauschtem „post“ und „loop“ angelegt sind, in einer aktuellen Studie sich als stabilster Knoten unter zyklischer Belastung erwiesen hat [2].

Arthroskopische Knoten

Die detaillierte Beschreibung aller benutzten arthroskopischen Knoten, wie sie bei Schulterstabilisierung und Rotatorenmanschettennaht Verwendung finden, würde den Umfang einer Übersichtsarbeit sprengen. Es darf nicht vergessen werden, dass bei aller notwendigen Dis-

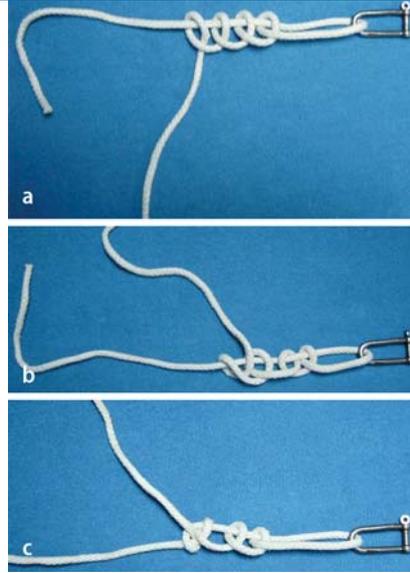


Abb. 8 ▲ a Vier Halbschläge sind in gleicher Richtung um einen identischen „post“ herum geschlungen, der Knoten ist nicht verblockt und kann sich wieder lockern. b Vier Halbschläge sind in jeweils gegenläufiger Richtung um einen identischen „post“ herum geschlungen, der Knoten ist nicht verblockt und kann sich wieder lockern. c Der „post“ wechselt im letzten Halbschlag bei 4 in gleicher Richtung angelegten Halbschlingen, der Knoten ist hierdurch verblockt und kann sich nicht wieder lockern

kussion um arthroskopische Knoten und deren Übung mit dem Knoten ja letztlich nur das simple Prinzip der Geweberefixation durch Fadenmaterial stattfinden soll, wie es seit Jahrhunderten in der offenen Chirurgie durchgeführt wird und bestens funktioniert. Es besteht angesichts der Faszination um einen Knoten, der ausschließlich mit kleinen Instrumenten unter Kamerakontrolle ohne die direkte, gewohnte manuelle Kontrolle angefertigt wird, gelegentlich etwas die Gefahr, dass sich das Thema des Knotens verselbständigt und zu einer Art Selbstzweck wird. Es kann daher für den Arthroskopie in sportlichem Ehrgeiz primär nicht darum gehen, möglichst viele der unterschiedlichen Knoten zu kennen und selbst knüpfen zu können. Vielmehr ist wichtig, wenigstens einen Knoten, der unter allen denkbaren Bedingungen anwendbar ist, sicher zu beherrschen, ein Prinzip, wie es eben auch in der offenen Chirurgie gilt.

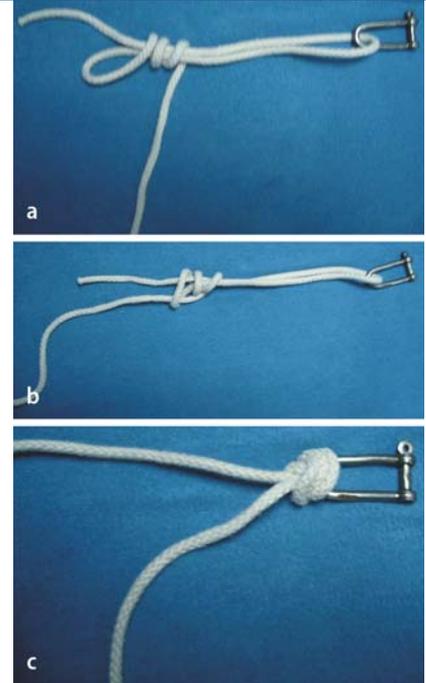


Abb. 9 ▲ „Fisherman’s knot“ („sliding knot“). Das Loopende wird 3-mal um „post“ und „loop“ herumgewickelt und dann durch eine Fadenschleife geführt. Der Knoten zieht sich durch Zug am „post“ und entsprechendes Gleiten im Knoten und der Refixationsstelle fest, muss dann noch durch gekippte Halbschläge gesichert werden

Rutschknoten („sliding knots“)

Die Rutschknoten (■ **Abb. 9, 10, 11, 12**) folgen dem Prinzip des Wickelns eines Fadenendes – in einer bestimmten Konfiguration und Anzahl – um das andere Fadenende, wobei nach dem Wickeln meist das Fadenende, das gewickelt wurde, in einer bestimmten Richtung durch eine vorgeformte Fadenschleife geführt wird. Ein so hergestellter Knoten kann dann durch Zug am „post“ und Gleiten des Fadens bis zum Zuziehen der Schlaufe um das gefasste Gewebe (ähnlich dem Hals eines Gehängten) festgezogen werden, wodurch die Geweheadaptation eintritt. Bei den älteren Rutschknoten („hangmans knot“, „Duncan loop“) wird das Loopende einfach mehrfach (ca. 4- bis 5-mal) um den „post“ und sich selbst gewunden und schließlich entweder von unten oder oben durch eine vorgeformte Fadenschleife des Loopendes geführt. Der Nachteil dieser Knoten ist naturgemäß, dass ein relativ großes Faden- bzw. Knotenvolumen entsteht, das gerade im engen Subakromialraum auf der Rotatorenmanschette

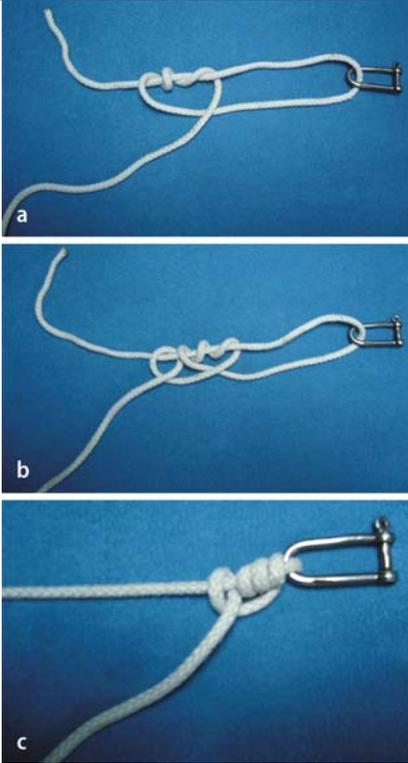


Abb. 10 ▲ „Nicky's knot“ („sliding knot“). Das Loopende wird lediglich um den „post“ gewickelt, wodurch das Knotenvolumen reduziert ist, der endständige Halbschlag dient nach Einziehen des Knotens zum sofortigen Verblocken

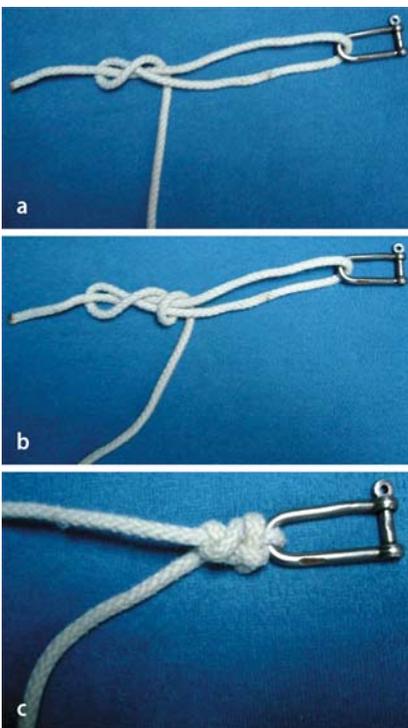


Abb. 11 ▲ „Roeder's knot“ („sliding knot“). Rutschknoten mit relativ geringem Volumen, der aber nach dem Festziehen durch Halbschläge ebenfalls noch gesichert werden muss

auftragen und zum Knotenimpingement führen kann. Von diesen einfachen ersten Rutschknoten ist daher heute eher abzuraten, zumal sie durch obligatorische Halbschläge nach dem Festziehen des Primärknotens zusätzlich gesichert werden müssen, was das Fadenvolumen noch weiter erhöht.

Eine Fortentwicklung dieser ersten Rutschknoten sind solche, bei denen die Zahl der Wicklungen auf meist 2 reduziert ist und außerdem nicht um beide Fadenenden, sondern meist nur um den „post“ erfolgt („easy knot“, „Tennessee slider knot“, „Roeder's knot“, „Nicky's knot“). Der easy knot entspricht lediglich einer Anzahl (4–5) von Halbschlingen, die in gleicher Richtung um einen einzigen „post“ geschlungen sind. Dadurch kann der Knoten über eine weite Strecke gleiten und wird erst nach dem Zuziehen der Schlinge mit einem weiteren Halbschlag, der dann durch Wechsel von „post“ und „loop“ gekippt wird, gegen Lockerung gesichert. Ein easy knot, der gut gleiten kann, entsteht aber auch dann, wenn die Halbschlingen in jeweils alternierender Richtung um einen gleich bleibenden „post“ geschlungen werden. „Nicky's knot“ ist der derzeit wahrscheinlich meist verbreitete Rutschknoten und einer der Knoten, die mit dem geringsten Volumen auskommen und schon nach dem Einziehen bzw. Schieben des Primärknotens durch Zug am Loopende und Lockerlassen des „post“ gekippt werden können.

Wie erwähnt ist der Hauptnachteil der Rutschknoten der, dass sie zwingend die Gleitfähigkeit des Fadens in der Ankeröse und im Gewebe voraussetzen, die nicht immer gegeben ist. Gerade wenn Anker mit 2 Fäden in einer Öse verwendet werden, von denen einer bereits festgezogen und verknotet wurde, oder Matratzen-, Mason-Allen-Nähte oder gar die Lasso-naht verwendet werden, sind Rutschknoten meist unbrauchbar, und der Chirurg, die sich auf sie alleine verlässt, setzt sich möglicherweise zu Lasten seiner Patienten einem unkalkulierbaren Risiko aus.

Ein weiterer Nachteil der Rutschknoten ist, dass durch das Gleiten der Fäden ein erheblicher Sägeeﬀekt in der Öse des Ankers und im durchstochenen Gewebe eintritt. Die Gefahr des Fadenrisses in der Öse oder über eine Knochen- oder Ar-

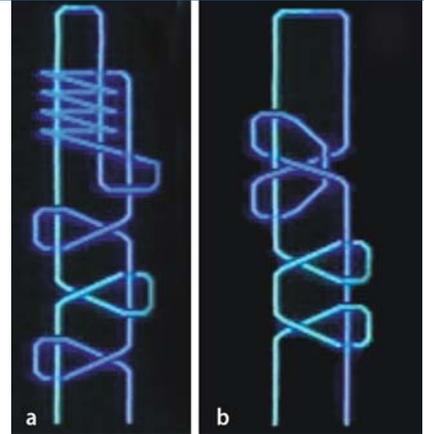


Abb. 12 ▲ Weitere Beispiele für Rutschknoten. a, „Duncan loop“, b, „Tennessee slider“

beitskanülenkante ist zwar deutlich reduziert, seit die reißfesten Fäden verfügbar sind. Die Gefahr der Gewebeschädigung bis hin zum Fadenausritt aus dem Gewebe, insbesondere an der Rotatormanschette, wo ja labiles, degenerativ verändertes Gewebe mit dem Faden durchstochen wird, ist aber gerade bei den neuen stabilen Fäden in erheblichem Ausmaß vorhanden, da der Faden dann wie eine Gigli-Säge im Gewebe wirken kann.

Nichtgleitende Knoten („non sliding knots“)

Die non sliding knots (■ **Abb. 13**) funktionieren definitionsgemäß ohne einen vorgelegten Knoten, dessen Schlinge dann zur Geweberefixation zugezogen werden muss. Das Schließen der Fadenschlinge um das Gewebe entsteht also, ohne dass eine bestimmte Fadenstrecke im Gewebe bzw. Anker gleiten muss. Letztlich handelt es sich bei diesen Knoten um eine Aufeinanderfolge von einfachen Halbschlägen, die mit mindestens einmal wechselndem „post“ und z. T. mit wechselnder Richtung angelegt werden. Entscheidend ist, dass jede Halbschlinge einzeln mit dem Knotenschieber bis zur Refixationsstelle transportiert wird und der Knotenschieber nicht mechanisch den Knoten vor sich herschiebt wie bei den Rutschknoten, sondern die Halbschlinge so transportiert, dass sie dem Knotenschieber, der als eine Art Hypomochlion fungiert, nachfolgt. Der Transport der Halbschlinge funktioniert demnach nur, wenn gleichzeitig sowohl das Postende straff gehalten und



Abb. 13 ▲ „Square knot“ („non sliding knot“). Aus 4 gegenläufigen und jeweils zueinander gekippten Halbschlägen bestehender Knoten, der arthroskopisch ohne die Voraussetzung der Gleitfähigkeit des Fadens mit großer Festigkeit und relativ geringem Fadenvolumen angefertigt werden kann



Abb. 14 ▲ Das Spannen der um das Gewebe angelegten Nahtschleife erfolgt durch Zuziehen zweier gegenläufig gelegter Halbschläge um einen „post“ mit Hilfe des einfachen Knotenschiebers. Nach dem Spannen wird der Knoten verkippt

langsam im Verlauf des Transports der Halbschlinge das Loopende durch langsamen Zug nachgeführt wird. Dieses basal unterschiedliche Prinzip der Knotenentstehung zwischen dem nichtgleitenden und dem Rutschknoten sollte ebenfalls jeder Arthroskopie an einem Knotenbock mit einer dünnen Leine nachvollziehen und verstehen.

Dezidiert beschrieben als „non sliding knots“ sind z. B. der „revo knot“ und der „square knot“. Beide sind grundsätzlich sehr einfache und einander sehr ähnliche Knoten. Sie entsprechen 4–5 einzeln aufeinander folgenden „half hitches“ in z. T. gleicher und z. T. wechselnder Richtung mit ein oder mehrfachem Wechsel des „post“ (■ **Abb. 13**). Selbstverständlich kann auch mit einem „non sliding knot“ ein geringes Gleiten der Fadenschleife zur Feinadaptation der Gewebespannung erfolgen, sofern ein Fadenglei-

ten möglich ist (■ **Abb. 14**). Werden zum Beispiel 2 Halbschlingen nacheinander in gleicher oder alternierender Richtung um einen „post“ geschlungen (entsprechend einem halben „easy knot“), kann unter direkter arthroskopischer Sicht und manueller Kontrolle der Gewebespannung ein Zuziehen der Gewebeschlinge um das Gewebe erfolgen (■ **Abb. 14**). Entscheidend nach dem Zuziehen der Schlinge ist dann das Verblocken des Knotens („lock the knot“), was zum einen durch ein Austauschen von „post“ und „loop“ („switch post“, ■ **Abb. 6**) durchgeführt wird. Der Wechsel des „post“ mit der Verblockung wird erleichtert, wenn im Zuge des Spannungswechsels zwischen den beiden Fadenenden gleichzeitig die Richtung des Zugs der beiden Fadenenden direkt am Knoten ausgetauscht wird, was dann passiert, wenn das Ende des Knotenschiebers am Knoten vorbei geschoben wird („passpointing“, ■ **Abb. 15a–c**). Hierdurch lässt sich das Fadenende, das durch die Öse des Knotenschiebers geführt ist und während des Einschlebens der Halbschlinge der „loop“ entspricht, in den „post“ überführen. Das andere Fadenende, das nicht durch die Öse des Knotenschiebers geführt ist und während des Einführens der Halbschlinge der „post“ ist, wird durch diesen Spannungs- und Richtungswechsel zur neuen „loop“.

Dieses auf den ersten Blick kompliziert wirkende Prinzip der Anordnung der Halbschlingen in Bezug auf den exakten Lauf der Fadenenden zueinander ist bei einiger Übung – entsprechend auch zunächst an einem Knotenbock oder Schultermodell – eigentlich recht simpel. Mit dem Prinzip der wechselseitigen Spannungsänderung zwischen den beiden Fadenenden und gleichzeitigem Passpointing des Endes des Knotenschiebers ist ein alternierender Wechsel zwischen „post“ und „loop“, der zur Sicherung jedes Knotens obligatorisch ist, leicht möglich, ohne dass beide Fadenenden abwechselnd in den Knotenschieber eingefädelt werden müssen. Bei entsprechender Übung gelingt es auch unter nicht optimalen Sichtbedingungen und sogar ohne Sicht auf den Knoten, einen derartigen Knoten sicher anzulegen. Das Zuziehen der Schlinge und insbesondere das Umschnappen und Verblocken („Flippen“) der vorge-

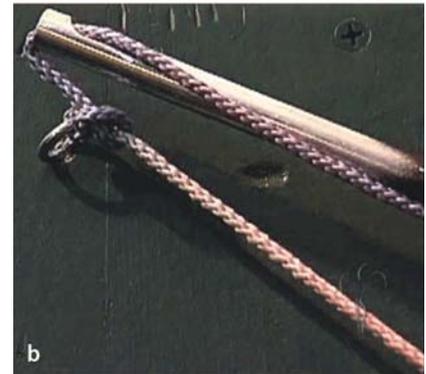


Abb. 15 ▲ Das Verkippen der Halbschläge zueinander („switch post“) wird durch einen Wechsel der Spannung zwischen den beiden Fadenenden und ein Vorbeiführen („passpointing“) des Knotenschieberendes am Knoten bewerkstelligt (**a**, **b**). Beim Knoten einer U-Naht an der Rotatorenmanschette wird nach dem Festziehen der ersten beiden Halbschläge der Knoten durch ein Gleiten des Knotenschiebers an der Oberfläche der Sehne festgezogen

schobenen Halbschlingen jeweils zueinander können tatsächlich sehr gut erfüllt werden.

Arthroskopisches Knoten eines überkreuzten Knotens aus Halbschlägen („square knot“)

Mit der nachfolgend beschriebenen Knotentechnik lässt sich prinzipiell jede Art von Knotenrefixation, insbesondere auch bei Schulterstabilisierungen und Rotatorenmanschettenrekonstruktionen, sicher und absolut stabil durchführen. Es handelt sich um den im eigenen Vorgehen prak-

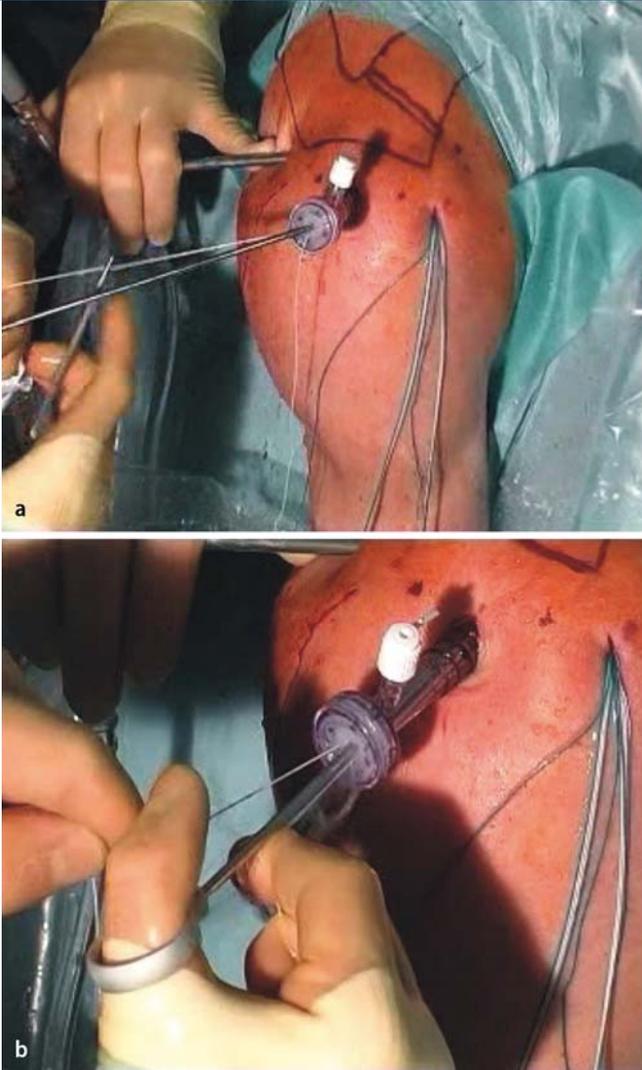


Abb. 16 ▲ Anordnung der Fäden, der Arbeitskanüle und des Knotenschiebers beim Knoten eines („non sliding“), „square knots“ bei einer arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion

tisch ausschließlich verwendeten Knoten, der als „non sliding knot“ die oben genannten Nachteile der Rutschknoten vermeidet und daher immer anwendbar ist. Zudem haben biomechanische Studien ihn im Vergleich zu anderen Knoten als stabilsten bzgl. „knot“ und „loop security“ unter zyklischer Belastung erwiesen.

Vor der Knotenanlage müssen die beiden Fadenpaare, die verknötet werden sollen, ausgeleitet werden. Ein wichtiger Grundsatz hierbei ist es, dass sämtliche anderen vorhandenen Fäden in anderen Portalen geparkt sind und sich somit keine weiteren Fäden im Portal, durch das geknotet werden soll, befinden, da sonst die Gefahr einer Verwicklung zwischen den Fäden gegeben ist (■ **Abb. 16**). Wird eine Arbeitskanüle verwendet, können die Fa-

denenden einzeln und nacheinander ausgeleitet werden. Wird keine Arbeitskanüle verwendet, müssen beide Fadenenden in einem Schritt gegriffen und herausgezogen werden, da sonst meist eine Weichteilbrücke zwischen den Fäden entsteht, die das Knoten unmöglich machen kann. Weiter ist es wichtig, dass jede etwaige Verwicklung zwischen den beiden Fadenenden beseitigt ist, bevor geknotet wird, da sonst ein präzises Legen, das Zuziehen und v. a. Flippen der Halbschlingen erschwert sind. Am besten gelingt dies unter Verwendung einer Arbeitskanüle und dem gezielten Ausleiten der beiden Fadenenden einzeln nacheinander.

Für den einfachen Fall einer vorgelegten U-Naht durch die Rotatorenmanschettensehne kann beispielsweise zu-

nächst das Fadenende, das durch die Sehne gezogen ist, ausgeleitet und dann in einer bestimmten erkennbaren Weise geparkt werden. Im 2. Schritt wird dann das Fadenende, das direkt in die Ankeröse läuft, ausgeleitet, in die Öse des Knotenschiebers eingefädelt und dann mit einem Klemmchen oder Nadelhalter angeklemt. Der Nadelhalter wird am besten locker in der Hand, die gleichzeitig auch den Knotenschieber führt, zwischen den Fingern 2–5 in der Handfläche geführt (■ **Abb. 3 und 16**). Die richtige Position des Anklemmens des Fadens ergibt sich, wenn nach dem Einfädeln des Fadens in den Knotenschieber zwischen äußerem Eingang in die Arbeitskanüle und Klemmchenposition ca. 10 cm liegen. Sofern der Faden gleiten kann, ist es von Vorteil, vorher eine in etwa identische Länge der beiden Fadenenden herzustellen, dies ist aber nicht zwingend erforderlich. Wie erwähnt, ist es bei dieser Technik nicht notwendig, im Verlaufe des Knotens den Knotenschieber zwischen den beiden Fadenenden umzufädeln, was Zeit kostet. Es empfiehlt sich, mit der Hand, mit der dies normalerweise auch beim offenen (einhändigen) chirurgischen Knoten erfolgt, auch beim arthroskopischen Knoten die Halbschlingen um den anderen Faden herumzuführen. Die jeweils andere Hand führt dann während des gesamten Knotens sowohl den Knotenschieber als auch das angeklemmte Fadenende, wobei der Daumen in den dafür vorgesehenen endständigen Ring des Knotenschiebers eingeführt wird (■ **Abb. 16b**).

Der Knotenschieber kann so nun ähnlich einer Injektionsspritze bedient (■ **Abb. 3**) und es kann sehr kontrolliert Zug auf das Fadenende im Knotenschieber ausgeübt werden. Eine 1. Halbschlinge wird nun extraartikulär mit dem freien Fadenende (Ende, das sich nicht im Knotenschieber befindet) um das Ende im Knotenschieber gelegt, dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob hier „overhand“ oder „underhand“ gearbeitet wird. Durch anschließendes Straffziehen des freien Fadenendes und gleichzeitiges Lockern des Fadenendes im Knotenschieber schnappt diese Halbschlinge nun so um, dass das freie Ende zum „post“ und das Knotenschieberende zur „loop“ wird. Unter straff gehaltenem „post“ wird nun die

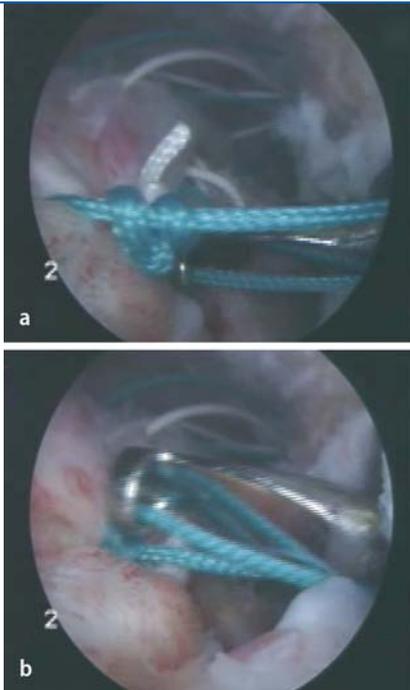


Abb. 17 ▲ Verblocken des 2. Halbschlags bei einer arthroskopischen Rotatorenmanschettenrekonstruktion durch „passpointing“ und Wechsel der Spannung zwischen den beiden Fadenenden

Halbschlinge durch Vorschieben des Knotenschiebers und gleichzeitiges Nachführen des Loopfadeneendes durch vorsichtiges „lockeres“ Ziehen mit dem Klemmchen durch die Arbeitskanüle ins Gelenk transportiert. Wenn doch eine Verwicklung der beiden Fadenenden vorgelegen hat, wird dies beim Einschleiben der ersten Halbschlinge sichtbar. Unter Sicht kann nun durch „Ausdrehen“ der Fadenenden die Verwicklung beseitigt werden. Durch „passpointing“ mit dem Ende des Knotenschiebers an der Refixationsstelle vorbei und gleichzeitiges Anspannen beider Fadenenden wird die Knotenschlinge zugezogen, die Naht angespannt und das Gewebe somit adaptiert.

Beim Lockerlassen der Fadenenden lockert sich diese 1. Halbschlinge im nächsten Schritt in der Regel wieder, was allerdings völlig unproblematisch ist, da nun in identischer Weise eine 2. Halbschlinge vorgelegt und ins Gelenk geschoben wird. Für einen „flat square knot“ wird diese nun in gegenläufiger Richtung zur 1. gelegt, d. h. „overhand“, wenn die 1. „underhand“ war, und umgekehrt. Als „post“ dient für den Transport der 2. Halbschlinge ins Gelenk erneut das freie Fade-

nende, sodass im Gelenk nun 2 jeweils gegenläufige Halbschlingen um einen identischen „post“, nämlich das freie Fadenende, liegen (■ **Abb. 14 und 17**).

Das definitive Anspannen des Knotens und der Gewebenaht erfolgt nun durch Straffhalten des „post“ und Festziehen der Gewebeschleife durch Gleiten der beiden Halbschlingen um den „post“, ein Prinzip, wie es jeder Chirurg, möglicherweise unbewusst, beim offenen Knoten täglich anwendet. Das Zuziehen der Schleife erfolgt dabei einerseits durch dosierten Zug am Loopende (Zug am Klemmchen). Gelegentlich kann auch etwas durch mechanisches Schieben mit der Öse des Knotenschiebers „nachgeholfen“ werden. Wie erwähnt ist es wichtig, sich durch die Festigkeit der Fäden nicht dazu verleiten zu lassen, den Knoten zu fest zusammen zu ziehen, sondern nur mit Gefühl das Gewebe an den Knochen zu adaptieren. Der nächste – entscheidende – Schritt ist es nun, diesen einfachen 1. Teil des Knotens, bestehend aus 2 Halbschlingen, zu verblocken, was durch einfachen Wechsel zwischen „post“ und „loop“ geschieht, unter gleichzeitigem Passpointing, wie oben beschrieben, d. h. Vorbeiführen des Knotenschiebers am Knoten, sodass die beiden Fadenenden in entgegengesetzter Richtung zueinander angespannt werden können (■ **Abb. 15 und 17**).

Dieses Flippen ist sowohl gut zu sehen, aber auch in beiden Fadenenden zu spüren. Ist der Knoten entsprechend umgeschnappt, ist ein Auslockern prinzipiell nicht mehr möglich, da „post“ und „loop“ innerhalb des Knotens wechseln. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Verblockung des Knotens erst dann vollzogen wird, wenn der Knoten tatsächlich fest sitzt und die gewünschte Gewebespannung erreicht ist. Bei einer zu frühen Verblockung noch vor der Gewebeadaptation (Luftknoten) gelingt manchmal (insbesondere bei glattem Fadenmaterial wie FibreWire) die Entblockung, in dem durch nochmaligen Wechsel der Spannung zwischen den Fadenenden erneut „post“ und „loop“ getauscht werden, wodurch eine Nachspannung des Knotens möglich wird. Zur weiteren Sicherung und Vollendung des Knotens werden nun in identischer Weise noch mindestens 2 weitere Halbschlingen einge-

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

führt, die jeweils sowohl gegenläufig (un-
derhand bzw. overhand) als auch vor dem
Festziehen wiederum mit wechselndem
„post“ angelegt werden. In der Summe
ergibt sich dann eine absolut stabile Kno-
tenkonstruktion. Der entscheidende Fak-
tor der Festigkeit jedes Knotens, nämlich
die Verblockung der Fadenenden zuein-
ander durch Wechsel zwischen „post“ und
„loop“, ist bei diesem Knoten zwischen al-
len 4 Halbschlägen, also insgesamt 3-mal,
gegeben. Zusätzlich ist das Knotenvolu-
men gerade im Vergleich zu einigen „slid-
ing knots“ vergleichsweise gering, was
sich im engen Subakromialraum in vielen
Fällen wahrscheinlich positiv bemerkbar
macht.

Fazit für die Praxis

Arthroskopisches Knoten ist eine spezi-
elle Fertigkeit, die für jede Art rekons-
truktiver arthroskopischer Schulterchir-
urgie essenziell ist. Grundsätzlich exis-
tiert eine Vielzahl verschiedener Möglich-
keiten, um in einem Gelenk in arthrosko-
pischer Technik sichere und feste Knoten
zu legen und Gewebe dabei zu refixieren.
Extraartikulär vorgelegte Rutschknoten
(„sliding knots“) werden von solchen un-
terschieden, die mit einem Knotenschie-
ber erst im Gelenk durch sequenzielles
Einschieben einzelner Halbschläge ge-
knotet werden („non sliding knots“).
Zwar haben sliding knots den vermeint-
lichen Vorteil, dass das Knoten extraar-
tikulär, d. h. wie für den offenen Chir-
urgen gewohnt, erfolgen kann. Ein ent-
scheidender Nachteil allerdings ist, dass
bei Nähten, die nicht gleiten, ein Rutsch-
knoten grundsätzlich nicht anwendbar
ist. Das Erlernen der z. T. kompliziert an-
mutenden Knotenkonfigurationen bei
einigen „sliding knots“ ist darüber hin-
aus zeitraubend und führt den Arthros-
kopeur angesichts der Tatsache etwas in
die Irre, dass mit wenig Aufwand und ei-
niger Übung „normale“, in der offenen
Chirurgie hundertfach bewährte Knoten,
mit großer Zuverlässigkeit und Festigkeit
auch voll arthroskopisch angelegt wer-
den können, ohne dass zudem die Gleit-
fähigkeit der Naht absolute Vorausset-
zung ist.
Grundsätzlich erscheint es obligato-
risch, dass jeder Arthroskopeur ein ent-

sprechendes „Trockentraining“ des Kno-
tens an Knotenböcken und Modellen mit
einem erfahrenen Instruktor durchführt,
bevor er eine anspruchsvolle Operati-
on wie eine arthroskopische Rotatoren-
manschettenrekonstruktion in Angriff
nimmt. Es muss verstanden werden, dass
der entscheidende Faktor der Festigkeit
letztlich jedes Knotens das Verblocken
der Fäden zueinander ist, was jeweils
im Prinzip des „post“ und „loop“ sicht-
bar wird. Noch besser als in einer Text-
beschreibung wie dieser oder in Knoten-
booklets mit vielen Einzelbildern lassen
sich die dynamischen Prinzipien des Kno-
tens in Animationen und Videos verdeut-
lichen, auf die ein Zugriff im Lehrmaterial
spezialisierte Arthroskopiekurse und in
Form von CD-Beilagen bei Lehrbüchern
möglich ist.

Korrespondierender Autor

Dr. J.D. Agneskirchner



Klinik für Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Henriettenstiftung
Marienstraße 72-90
30171 Hannover
jens@agneskirchner.com

Interessenkonflikt. Es besteht kein Interessenkon-
flikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass kei-
ne Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in
dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Kon-
kurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation
des Themas ist unabhängig und die Darstellung der In-
halte produktneutral.

Literatur

- 1 Agneskirchner JD, Hosseini H, Tröger M, Lobenhof-
fer P (2006) Complications in reconstructive ar-
throscopic shoulder surgery. *Arthroscopy* 19(2):
157–171
- 2 Elkousy H, Hammerman SM, Edwards TB et al.
(2006) The arthroscopic square knot: a biome-
chanical comparison with open and arthroscopic
knots. *Arthroscopy* 22(7): 736–741
- 3 Elkousy HA, Sekiya JK, Stabile KJ, McMahon PJ
(2005) A biomechanical comparison of arthrosco-
pic sliding and sliding-locking knots. *Arthroscopy*
21(2): 204–210
- 4 Hassinger SM, Wongworawat MD, Hechanova JW
(2006) Biomechanical characteristics of 10 arthros-
copic knots. *Arthroscopy* 22(8): 827–832
- 5 Ilahi OA, Younas SA, Alexander J, Noble PC (2004)
Cyclic testing of arthroscopic knot security. *Ar-
throscopy* 20(1): 62–68
- 6 Lafosse L (2006) The lasso loop, a novel method
to pass the suture through the rotator cuff and
biceps tendon – technical note. *Arthroscopy*, in
press

- 7 Lo IK, Burkhart SS, Chan KC, Athanasiou K (2004)
Arthroscopic knots: determining the optimal ba-
lance of loop security and knot security. *Arthroscop-
y* 20(5): 489–502