

Liebe Mitglieder der GOTS,
liebe Kolleginnen und Kollegen, liebe Freunde der Sportorthopädie,

die Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie im Sport ist mit aktuell mehr als 1000 Mitgliedern die zweitgrößte sportorthopädische Gesellschaft der Welt. Ein ganz wesentliches Ziel der Gesellschaft ist es, nicht nur die Mitglieder der Gesellschaft sondern auch sportorthopädisch und sporttraumatologisch Interessierte über aktuelle Behandlungsmöglichkeiten zu informieren und hier insbesondere die Behandlung des Sportlers in den Mittelpunkt des Interesses zu stellen. Der Vorstand der Gesellschaft hat daher beschlossen, zentrale Themen der Sportorthopädie aufzugreifen und durch ein international besetztes Expertengremium umfassend abzuhandeln. Hierbei wurde auch die Kooperation mit anderen Fachgesellschaften berücksichtigt und an einem Wochenende im Mai 2010 fand ein erstes Expertenmeeting zum Thema „vorderes Kreuzband“ statt. Gerade zu diesem Thema finden sich in den vergangenen Jahren neu aufgetretene Trends in der Behandlung, die vor dem Hintergrund aktueller wissenschaftlicher Studien diskutiert wurden. Neben Aspekten konservativer und operativer Behandlungsmöglichkeiten wurden aber vor allem auch Richtlinien zur Betreuung von Sportlern vom Zeitpunkt der Verletzung bis zur Rückkehr zur sportartspezifischen Belastung in verschiedenen Kapiteln behandelt. Wie habe ich bei einer akuten Kniegelenksverletzung vorzugehen? Wann kann ein Sportler nach einer Kreuzbandverletzung wieder auf das Spielfeld geschickt werden? Derartige Fragen werden selten abgehandelt, hier nun intensiv beleuchtet und Kriterien zur Beantwortung der Fragen aufgezeigt. Das vorliegende Werk soll somit allen Interessierten als Handlungshilfe dienen, die Behandlung und Betreuung des am vorderen Kreuzband verletzten Sportlers zu optimieren. Es freut mich als Präsident der Gesellschaft ganz besonders, Ihnen eine Publikation präsentieren zu dürfen, die umfassend alle Aspekte der Betreuung eines Sportlers berücksichtigt, kritisch diskutiert und darstellt.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Thore Zantop, der die Idee eines solchen Meetings aufgebracht hat und die Sitzungen in vielen Stunden gemeinsam mit Martin Engelhardt vor- und nachbereitet hat, daneben bei Oliver Miltner und Michael Krüger-Franke, die für die Organisation vor Ort verantwortlich waren und allen Teilnehmern des Meetings, die durch ihre Kenntnisse und Erfahrungen und ihr Engagement die Fertigstellung einer solchen Veröffentlichung erst möglich gemacht haben.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre und hoffe, dass Sie möglichst viele Informationen in die Behandlung Ihrer Sportler/innen aufnehmen können.

Prof. Dr. Holger Schmitt
Präsident der GOTS

Heidelberg im März 2011



INHALTSVERZEICHNIS

Epidemiologie	3
<i>Alli Gokeler, Thore Zantop, Thomas Jöllenbeck</i>	
Prävention von Kreuzbandverletzungen	15
<i>Thomas Jöllenbeck, Jürgen Freiwald, Klaus Dann, Alli Gokeler, Thore Zantop, Romain Seil, Oliver Miltner</i>	
Spielfeldbetreuung	27
<i>Holger Schmitt, Jürgen Freiwald, Martin Engelhardt, Klaus Dann, Michael Krüger-Franke, Hermann Mayr, Alli Gokeler, Oliver Miltner</i>	
Diagnostik von VKB-Läsionen	33
<i>Thore Zantop, Georg Bauer, Matthias Buchner, Andree Ellermann, Romain Seil, Karl-Peter Benedetto</i>	
OP-Indikation	53
<i>Gerhard Bauer, Matthias Buchner, Holger Schmitt, Martin Engelhardt, Michael Krüger-Franke, Karl-Peter Benedetto, Hermann Mayr, Andree Ellermann, Oliver Miltner</i>	
Transplantatwahl	59
<i>Matthias Buchner, Gerhard Bauer, Karl-Peter Benedetto, Klaus Dann, Andree Ellermann, Hermann Mayr, Holger Schmitt</i>	
Tunnelposition bei VKB-Rekonstruktion	67
<i>Hermann Mayr, Matthias Buchner, Oliver Miltner, Michael Krüger-Franke, Andree Ellermann, Thore Zantop</i>	
Rupturen des vorderen Kreuzbandes beim Kind	81
<i>Romain Seil, Jürgen Freiwald, Thomas Jöllenbeck, Gerhard Bauer, Holger Schmitt, Alli Gokeler, Martin Engelhardt, Klaus Dann, Karl-Peter Benedetto</i>	
Assoziierte Verletzungen	95
<i>Thore Zantop, Oliver Miltner, Martin Engelhardt, Romain Seil, Gerhard Bauer</i>	
Rehabilitation und Rückkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion	113
<i>Thore Zantop, Gerhard Bauer, Karl-Peter Benedetto, Matthias Buchner, Klaus Dann, Andree Ellermann, Martin Engelhardt, Jürgen Freiwald, Alli Gokeler, Thomas Jöllenbeck, Michael Krüger-Franke, Hermann Mayr, Oliver Miltner, Romain Seil, Holger Schmitt</i>	

VORDERES KREUZBAND EPIDEMIOLOGIE

Alli Gokeler, Thore Zantop, Thomas Jöllenbeck

Sport ist ein wichtiges Element der heutigen Gesellschaft. Als Freizeit- und Gesundheitssport dient er gleichermaßen als Ausgleich zu den Anforderungen der modernen Arbeitswelt wie als Element und Ausdruck eines gesunden Lebensstils. Der Leistungs- und Hochleistungssport hingegen ist geprägt vom Wettkampfgedanken. Häufig getragen von starkem medialem Interesse und verbunden mit teils hohen finanziellen Anreizen dient er als Vorbildfunktion für viele leistungsgeprägte Breitensportliche Aktivitäten. In allen Bereichen, insbesondere aber im wettkampforientierten Sport besteht die permanente Gefahr von Verletzungen des passiven und aktiven Bewegungsapparates.

Vor allem Verletzungen des Kniegelenkes sind von besonderer Bedeutung und häufig mit langen Beeinträchtigungen der Sport- und Wettkampffähigkeit verbunden. Eine Knieverletzung kann oftmals eine Operation mit anschließender, teils monatelanger Rehabilitation erforderlich machen und bleibende Beeinträchtigungen in Sport und Arbeit zur Folge haben. Vor allem die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) steht hier an erster Stelle. Hochrisikosportarten für VKB-Verletzungen sind insbesondere Fußball, Handball, Basketball und alpiner Skilauf, hier betreffen rund 30% der Verletzungen das Kniegelenk. Allein aus den USA werden mindestens zwischen 100.000 und 250.000 VKB-Verletzungen pro Jahr berichtet [Gordon & Steiner 2004]. Dies wirft die Frage auf, wie solche Knieverletzungen zum einen grundsätzlich verhindert oder zumindest in ihrer Anzahl reduziert werden können bzw. zum anderen bewertet und behandelt werden sollten, um die Folgeschäden möglichst gering zu halten (siehe Kapitel Prävention). Jede Knieverletzung, die mit einem Erguss oder Hämarthros verbunden ist, sollte durch einen entsprechend ausgebildeten Arzt so schnell wie möglich beurteilt werden (siehe Kapitel Diagnostik).

Die meisten Patienten mit VKB-Ruptur erleiden ihre Verletzung beim Sport. In den USA liegen die geschätzten jährlichen Kosten für die Behandlung bei rund 2 Milliarden US\$ [Spindler & Wright 2008]. Unterschiedlichen Studien zufolge haben Frauen gegenüber Männern ein um das 2,3- bis 9,7fach erhöhtes Risiko für VKB-Verletzungen [Hewett, Myer & Ford 2005].

Aufgrund einer zumeist vorliegenden chronischen Instabilität nach VKB-Ruptur kommt es bei den Athleten in der Folge auch zu Meniskus- und Knorpelschäden sowie sekundär zu degenerativen Veränderungen des Kniegelenkes (siehe Kapitel Assoziierte Verletzungen). Die Prävalenz der Arthrose beträgt 13% für isolierte VKB-Rupturen bzw. 21–48% für kombinierte Verletzungen [Oiestad

GOTS-Expertenmeeting 2010

et al. 2009]. Für die Entwicklung einer Kniearthrose (11 Jahre nach VKB-Rekonstruktion) wurden als signifikante Risikofaktoren ein Alter von mehr als 25 Jahren zum Zeitpunkt der Operation, eine mehr als 6-monatige Dauer zwischen Verletzung und Operation, Fettleibigkeit sowie zusätzliche Meniskusverletzungen festgestellt (siehe Kapitel Indikation) [Oiestad et al. 2009]. Die typische Ausfalldauer von Sportlern nach VKB-Rekonstruktion liegt bei 6–9 Monaten. Nur 60–70% der Sportler schaffen die Rückkehr zum vorherigen Spielniveau und nicht selten bedeutet die VKB-Verletzung auch das Ende der Wettkampfkariere [Biau et al. 2007]. Besorgniserregend ist auch die hohe berichtete Re-Rupturrate, die bei Frauen unter 18 Jahren für das operierte wie auch für das gesunde Knie immerhin bis zu 17% beträgt [Shelbourne, Gray & Haro 2009].

Inzidenz

Die Inzidenz von VKB-Verletzungen in der sportlichen Bevölkerung ist in einer Vielzahl von Quellen einschließlich der Daten über chirurgische Rekonstruktionen geschätzt worden [Renstrom et al. 2008]. In Skandinavien sind drei nationale VKB OP-Registrierungsstellen eingerichtet worden (Norwegen 2004, Dänemark 2005 und Schweden 2006), um Informationen über die Einzelheiten der VKB-Chirurgie zu sammeln und die Ergebnisse zu überwachen. Mit Hilfe dieser Register kann die Inzidenz für VKB-Verletzungen ungefähr abgeschätzt werden, auch wenn die Zahl etwas zu niedrig ausfallen wird, da konservativ behandelte VKB-Rupturen ebenso wenig erfasst sind wie mangels Arztbesuch auch unentdeckte VKB-Verletzungen. Trotzdem liefern die vorliegenden Daten wichtige Hin-

weise für die Inzidenz von VKB-Rupturen unter verschiedenen Aspekten, die in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet werden sollen.

Alter

Obwohl VKB-Verletzungen im präpubertären Kindesalter selten sind, konnte anhand von Daten zu Versicherungsansprüchen aus den USA prinzipiell kein Unterschied zwischen Mädchen und Jungen bis zum 12. Lebensjahr gefunden werden. 31% aller versicherungsbedingte Kostenforderungen für Knieverletzungen bei Mädchen betrafen das VKB gegenüber 24% bei den Jungen. Nach dem 12. Lebensjahr nahm die Anzahl der durch VKB Verletzungen bedingten Ansprüche bei Mädchen zu. Im High-School-Alter war die Verletzungsrate bei den Mädchen im Basketball und Fußball bis zu 4-mal höher als bei den Jungen [Shea et al. 2004]. Alle diese Studien haben durchgängig gezeigt, dass weibliche Spieler zum Verletzungszeitpunkt jünger sind als männliche Spieler. Dies stimmt mit europäischen Fallzahlen überein. Norwegische Daten von insgesamt 57 Krankenhäusern zeigen innerhalb von 18 Monaten ungefähr 2.800 registrierte primäre ACL-Operationen entsprechend einer Inzidenz von 34 Operationen pro 100.000 Bürger bzw. 85 pro 100.000 Bürger in der Risiko-Altersgruppe von 16–39 Jahren. Die Anzahl der VKB-Operationen unterscheidet sich zwischen den Geschlechtern in der zweiten Lebensdekade, wobei Frauen die meisten VKB-Operationen im Alter von 15–19 Jahren aufweisen [Renstrom et al. 2008].

Geschlecht

Die Inzidenz von sogenannten Non-Contact VKB-Verletzungen, also Verletzungen, die ohne direkten

Gegnerkontakt zustande kommen, ist bei weiblichen Sportlern in Sportarten wie Fußball, Basketball oder Handball gemäß Literatur 4–6fach höher als bei männlichen Sportlern [Hewett, Myer & Ford 2005]. Dies stellt ein großes Problem für die orthopädische Sportmedizin dar, allein schon vor dem Hintergrund, dass immer mehr junge Frauen VKB gefährdende Level I Sportarten wie Fußball betreiben. Laut skandinavischem VKB-Register liegt der Anteil der männlichen Patienten an der Gesamtzahl der primären VKB-Rekonstruktionen bei 57% in Norwegen, 58% in Schweden und 60% in Dänemark [Renstrom et al. 2008]. Leider sind derzeit Patienten, die keine chirurgische Behandlung ihrer VKB-Verletzungen erfahren haben, sondern konservativ oder gar nicht behandelt wurden, nicht in den skandinavischen Registern enthalten. Dies ist bei der Interpretation dieser Daten zu berücksichtigen.

Sportart

Das Injury Surveillance System (ISS) der National Collegiate Athletics Association (NCAA) in den USA ist eine Sammlung von Daten aus repräsentativen Colleges und Universitäten und liefert eine einzigartige Stichprobe über einen Zeitraum von 16 Jahren von 15 Sportarten einer Altersgruppe (typischerweise 18–23 Jahre). Insgesamt wurden ca. 5.000 VKB Verletzungen, entsprechend einem Durchschnitt von 313 Verletzungen pro Jahr berichtet. Da die Stichprobe ca. 15% der gesamten Vergleichspopulation repräsentiert, entspricht dies einem Durchschnitt von mehr als 2.000 VKB-Verletzungen in diesen 15 Sportarten pro Jahr. Bezogen auf die Gesamtzahl der gemeldeten Verletzungen tritt im American Football die größte Anzahl an VKB-Verletzungen auf [Renstrom et al. 2008].

Hinsichtlich der prozentualen Anteile von VKB Verletzungen an der Gesamtzahl aller Verletzungen dominieren weibliche Sportlerinnen die Auflistung in den Sportarten Fußball, Lacrosse, Turnen und Basketball. Bezogen auf die VKB-Verletzungsrate pro 1.000 Stunden Sport gilt Gymnastik für Frauen als gefährlichste Sportart, dicht gefolgt von American Football, weiblichem Fußball und Basketball.

Skifahren

Die besten Längsschnittdaten im alpinen Skilauf liefert eine 34-jährige Fall-Kontroll-Studie in einem einzigen Skigebiet im nördlichen Vermont [Renstrom et al. 2008]. Während dieser Zeit gab es bei ca. 7.500.000 Skifahrern insgesamt 18.692 Verletzungen, von denen 2.539 (14%) VKB-Verletzungen waren. Frauen stellten zwar nur einen Anteil von 40% der Skifahrer, erlitten aber 63% aller VKB-Verletzungen. Das Risiko-Verhältnis für Frauen, VKB Verletzungen zu erleiden, liegt damit durchschnittlich 2,5-mal höher als bei Männern.

Fußball

Die Daten zeigen, dass weibliche Spielerinnen ein 6fach höheres VKB-Verletzungsrisiko im Vergleich zu ihren männlichen Spielern besitzen. Die berichtete Inzidenz für VKB-Verletzungen reicht von 0,06–3,7 pro 1.000 Std. aktiver Spielzeit in Training und Wettkampf. Nach einer Umfrage in Norwegen auf Grundlage chirurgischer Aufzeichnungen wird eine jährliche Häufigkeit von VKB Verletzung von 0,5%–6,0% bei weiblichen Spielerinnen und von 0,6%–8,5% bei männlichen Spielern berichtet [Renstrom et al. 2008]. Die verletzten Spielerinnen waren signifikant jünger (19 vs. 27 Jahre) als ihre männlichen Kollegen.

In einer neuen Studie, basierend auf gemeldeten Versicherungsfällen in Schweden, waren weibliche Spielerinnen bei ihrer Verletzung 4 Jahre jünger (19 vs 23 Jahre) als die männlichen Spieler [Walden et al. 2010].

Handball

Die höchste Inzidenz von VKB-Verletzungen findet sich bei weiblichen Elite-Handballerinnen in Norwegen mit 2,29 Verletzungen pro 1.000 Wettkampfspielstunden [Renstrom et al. 2008]. Die Inzidenz von VKB-Verletzungen scheint im Handball im Vergleich zu anderen Mannschaftssportarten wie Fußball, Basketball und Volleyball höher. Allerdings ist ein direkter Vergleich zwischen den Studien schwierig, da verschiedene Methoden zur Erfassung und Analyse der Daten verwendet wurden. So berichten einige Studien die Zahl der VKB-Verletzungen pro 1.000 Wettkampfspielstunden, während andere die Zahl pro 1.000 Stunden Trainings- und Spielzeit angeben. Dennoch zeigen alle Studien, dass Frauen eine höhere Inzidenz von VKB-Verletzungen haben als Männer.

Inzidenz während Wettkampf oder Training

Sehr wenig ist über den Unterschied zwischen Training und Wettkampf für das VKB-Verletzungsrisiko eines Sportlers bekannt. Im Frauenhandball scheint der Wettkampf mit einem höheren Risiko verbunden als das Training. Im Fußball scheint es aufgrund von Kohortenstudien ebenfalls eine Tendenz zu einer höheren VKB-Verletzungsinzidenz von Frauen während des Spiels zu geben [Walden et al. 2010]. Dieser Befund lässt vermuten, dass die Intensität oder der Grad des Wettbewerbs oder eine Kombination aus beiden zumindest bei Frauen das Risiko einer VKB-Ver-

letzung erhöht. Beim Training wiederum konnten Kohortenstudien im Fußball keine relevanten geschlechtsspezifischen Unterschiede aufweisen [Walden et al. 2010].

Verletzungsmechanismen und Risikofaktoren

Die Eingrenzung der Risikofaktoren ebenso wie die Aufdeckung der Verletzungsmechanismen von VKB-Rupturen stellen schwierige Aufgaben dar und die Ergebnisse werden entsprechend teilweise kontrovers diskutiert. Als methodische Zugangswege dienen im wesentlichen Interviews mit verletzten Spielern über den Unfallhergang sowie Videoanalysen von Spielsituationen mit Verletzungsfolgen. Erweitert werden diese Erkenntnisse durch klinische Studien und In-vitro-Studien sowie Simulationen zur genaueren Eingrenzung und Abschätzung der vermeintlichen Einflussgrößen in „close to injury“ Situationen. Im Ergebnis finden sich in der Literatur unterschiedliche Klassifikationen für Verletzungsmechanismen und Risikofaktoren. So kann und muss zwischen modifizierbaren und nicht-modifizierbaren Risikofaktoren ebenso unterschieden werden wie zwischen extrinsischen, also außerhalb des Körpers befindlichen, und intrinsischen, also den Körper direkt betreffenden Faktoren. Bahr und Krosshaug [Bahr & Krosshaug 2005] haben ein umfassendes Modell für Verletzungsursachen erstellt, die es bei der Prävention zu berücksichtigen gilt (Abb. 1). Demnach beschreiben die Risikofaktoren zunächst weitgehend unabhängig von der möglichen Verletzungssituation die individuelle Prädisposition eines Athleten für Verletzungen durch interne Faktoren wie z. B. Alter, Geschlecht, Gesundheit, Fitness oder Leistungsstärke. Die Anfälligkeit eines Athleten für Verletzungen wird

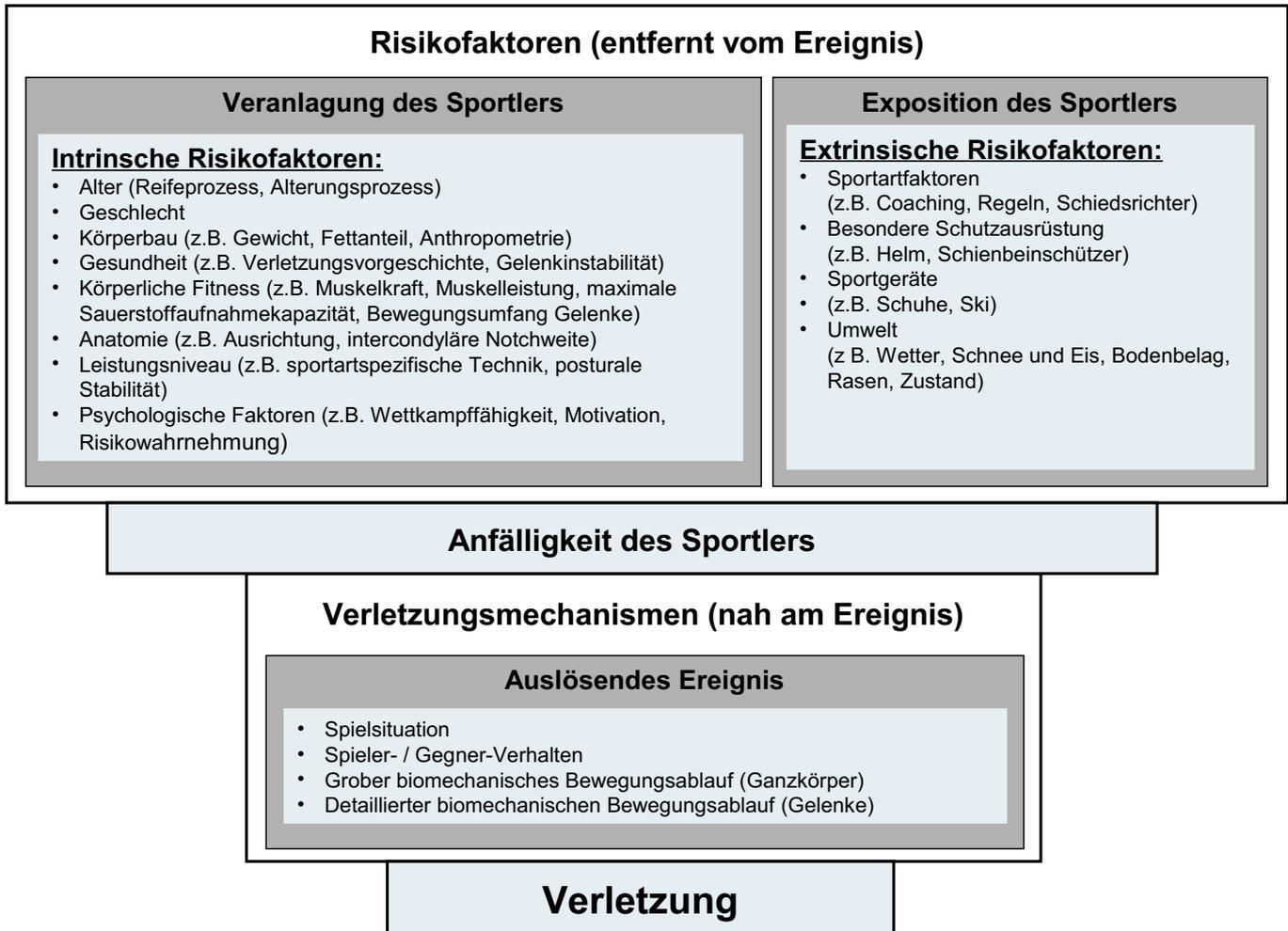


Abbildung 1
Umfassendes Modell von Verletzungsursachen im Sport [modifiziert nach Bahr & Krosshaug 2005].

in der Trainings- oder Spielsituation durch die Exposition zu äußeren Risikofaktoren wie den in der Sportart begründeten Faktoren, der Schutzausrüstung, der Sportausrüstung oder den Umgebungsbedingungen stark beeinflusst und steht damit bereits in einem engen Zusammenhang mit einer möglichen Verletzungssituation. Die Verletzungsmechanismen schließlich beschreiben die möglichen Abläufe einer Verletzung und werden stark von den auslösenden Momenten wie der aktuellen Spiel- oder Trainingssituation, dem Verhalten Spieler zu Gegenspieler, der Ganzkörperbiomechanik wie auch

der Gelenk- und Gewebebiomechanik beeinflusst.

Sportartspezifische Verletzungsmechanismen

Als Verletzungsmechanismen in diesen bestimmten Verletzungssituationen lassen sich einige typische Bewegungsmuster ausmachen, die selten alleine, meist jedoch in Kombination mit anderen Bewegungsmustern VKB-Verletzungen begünstigen können. Allein aufgrund einer der in der Folge aufgeführten problematischen Bewegungsausführungen auf ein erhöhtes Risiko zu schließen

ist schwierig, da sich viele Bewegungsausführungen gleichen Musters bei Frauen wie Männern finden lassen, ohne dass zwangsläufig eine VKB-Verletzung auftritt. Erst die Vielzahl an Wiederholungen problematischer Bewegungen, also eine hohe wiederholte Belastung kann zu übermäßiger Beanspruchung führen und in der Folge das Auftreten einer VKB-Ruptur begünstigen. Insofern scheint gerade die individuelle Identifizierung problematischer Bewegungsmuster in bestimmten Bewegungssituationen die einzige Möglichkeit einer realistischen Risikoabschätzung vor dem Auftreten einer

Verletzung zu bieten (siehe Kapitel Prävention).

Eine initiale, d. h. zu Beginn der Verletzungssituation geringe Kniebeugung wird als eine große Belastung für das VKB angesehen [Yu & Garrett 2007]. So soll Beugewinkel von 20 bis 30° zu einem deutlichen Tibiavorschub führen können, vor allem weil in dieser Gelenkwinkelstellung den Hamstrings noch keine ausreichende Zügelwirkung zugeschrieben wird (siehe Kapitel Diagnostik). Allerdings kann eine Belastung, die nur isoliert in der Sagittalebene stattfindet, nicht für eine VKB-Verletzung verantwortlich sein kann [McLean et al. 2004]. Unabhängig von der bestehenden Diskussion könnte die Problematik bei Frauen durch das vorhandene Quadrizeps-Hamstrings-Ungleichgewicht und die langsamer ansprechenden Hamstrings noch verstärkt werden. Andererseits ist mittlerweile bekannt, dass die Hamstrings z. B. beim Sprintlauf oder im Radsport gerade in kleinen Beugstellungen bis hin zur Streckung aufgrund ihrer paradoxen Muskelfunktion und somit entgegen ihrer ursprünglichen im Kniegelenk beugenden Funktion streckend wirken können. Über die vorhandenen Effekte in den genannten Verletzungssituationen ist jedoch noch nichts bekannt. Grundsätzlich begünstigen aber weniger Einzelkräfte das Auftreten von VKB-Rupturen, als insbesondere mehr oder minder komplex ausgeprägte Kombinationen oder ungünstige belastende Abfolgen von Kräften sowie Innen- und Außenrotationsmomenten [Yu & Garrett 2007]. Eine solche Kombination liegt z. B. schon vor, wenn ein deutlicher initialer Knievalgus oder, eher seltener, Knievarus vorliegt. Besonders ungünstige Bewegungen scheinen vorzuliegen, wenn die Ausgangssituation um einen dynamischen, d. h. im weiteren Verlauf der Bewegung stark zunehmenden Knie-

valgus [Hewett et al. 2005] bezeichnet, ergänzt wird. Weitere ungünstige Kombinationselemente sind a) eine Außenrotation der Tibia, zu erkennen an einer außenrotierten Fußstellung [Boden et al. 2000], was wiederum besonders häufig bei Frauen anzutreffen ist [Krosshaug et al. 2007; Olsen et al. 2004], b) ein fixierter Fuß bei Landungen mit Innenrotation im Kniegelenk oder des Gesamtkörpers oder c) auch ein Körperschwerpunkt, der sich hinter und entfernt vom Bodenkontaktpunkt befindet. Als ebenfalls ungünstige Kombinationselemente werden, im Gegensatz zum günstigeren Zeh-Ferse-Abrollen, ein schneller, flacher Fußaufsatz oder ein Aufsatz auf der Ferse genannt, beides in Verbindung mit einer schnellen, auch hörbar harten Landung. Die hierbei auftretenden hohen Impactkräfte erzeugen ebenso hohe Belastungen für die beteiligten Strukturen und können ebenso VKB-Rupturen zusätzlich begünstigen.

Fußball

Kreuzbandverletzungen beim Fußball sind oft so genannte Non-Contact-Aktivitäten, wobei der Fuß bedingt durch die Stollen fest auf dem Boden fixiert ist und der Körper in eine an-

dere Richtung dreht. Weiter kann es bei Landungen oder langen Schritten jeweils mit gestrecktem Knie zu VKB-Verletzungen kommen. Dies geht meistens einher in Kombination mit unerwarteten Bewegungen von Gegenspieler oder Ball, bei denen der Spieler ungeplante Bewegungen ausführt und ihm somit nicht genügend Zeit zur adäquaten Vor-Aktivierung der Muskulatur verbleibt.

Handball

Analysen von Verletzungsmechanismen während des Spiels vor allem im Frauenhandball haben ergeben, dass die häufigsten VKB-Verletzungen (12 von 20) Plant-and-Cut-Bewegungen waren, immer in Verbindung mit einem deutlichen Valgus und einer Innen- oder Außenrotation des Knies bei nahezu voller Streckung [Olsen et al. 2004]. Die wichtigsten weiteren Verletzungsmechanismen (4 von 20) sind bei der Landung nach einbeinigen Sprungwürfen ebenfalls mit einem exzessiven Valgus und einer Außenrotation des Knies bei fast voller Streckung aufgetreten (Abb. 2). Obwohl von einer Ausnahme abgesehen alles Non-Contact Verletzungen waren, d. h. kein direkter Gegnerkontakt mit der unteren Extremität vorlag, wurde in den

Abbildung 2

Typische Verletzungssituation für das vordere Kreuzband im Handball. Das Kniegelenk befindet sich zur Zeit der Verletzung in nur leichter Beugung, und Valgusposition. Der Unterschenkel ist außenrotiert. In dieser Knieposition ist die Spannung im vorderen Kreuzband am höchsten, und die muskulären Agonisten des vorderen Kreuzbandes, die ischiokruralen Muskeln, haben einen ungünstigen Hebelarm, um das Tibiaplateau zu sichern.



[mit freundlicher Genehmigung aus Petersen & Zantop Das vordere Kreuzband, DÄV 2009]

meisten Situationen eine gleichzeitige Störung des Gleichgewichtes berichtet. Als Ursachen hierfür wurde ein vorheriges Schieben oder Halten durch den Gegenspieler ebenso wie das Ausweichen vor einem Zusammenstoß mit dem Gegner unmittelbar vor dem Verletzungsereignis, teilweise auch mit ungewöhnlich breiter Fußstellung genannt. Des Weiteren könnte auch der Bodenbelag durch hohe Reibung bei der Landung oder bei Drehungen mit verantwortlich für die Verletzungen gewesen sein [Renstrom et al 2008].

Skifahren

Aus dem Skilauf wird unter dem Namen „Phantomfußmechanik“ eine weitere ungünstige Bewegungskonstellation berichtet, eine Kombination bestehend aus einem stark flektierten Kniegelenk, einem hinter dem Kniegelenk positionierten Körperschwerpunkt und einem innenrotierten Unterschenkel [Ettlinger et al. 1995]. Außerdem muss in dieser Position die Hüfte gebeugt werden, um das Gleichgewicht zu halten (Abb.3). Dabei kommt es zur starken Anspannung des Quadrizeps und in

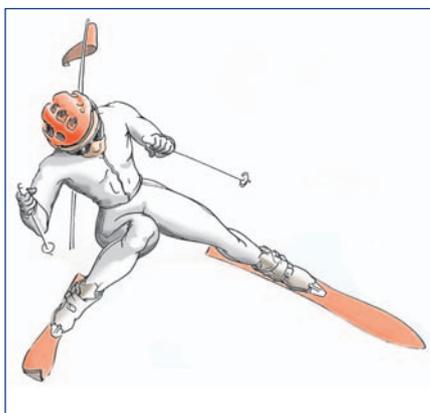


Abbildung 3
Schematische Darstellung des typischen Kreuzbandverletzungsmechanismus im Skisport [mit freundlicher Genehmigung aus Petersen & Zantop, Das vordere Kreuzband, DÄV 2009].

der Folge zu hohen Spannungen im vorderen Kreuzband [Colby et al. 2000], die als sportartspezifische Verletzungsmuster beim Skifahren VKB-Verletzungen begünstigen können [McLean et al. 2005]. Gleichzeitig haben die ischiokruralen Muskeln einen ungünstigen Hebelarm, um das vordere Kreuzband zu schützen.

Sportarten allgemein

Bei Sportarten im allgemeinen kann auch eine gestörte neuromuskuläre Kontrolle bei gestörtem Gleichgewicht oder bei Balanceverlust, sei es durch den Untergrund, durch eine ungünstige Interaktion zwischen Untergrund und Sportler über Schuh oder Ski oder sei es bedingt durch Ablenkung durch Spielgerät oder Gegenspieler übermäßige Belastungen für das VKB und somit VKB-Verletzungen begünstigen.

Risikofaktoren

Für die stark erhöhte Inzidenz für VKB-Verletzungen von Frauen gegenüber Männern kann eine Reihe von geschlechtsspezifischen Unterschieden als Erklärungsansatz dienen und bei der Abschätzung der Einflussgröße einzelner Risikofaktoren helfen. Unabhängig davon ist die Bandbreite der anzutreffenden anatomischen, aber auch neuromuskulären und biomechanischen Risikofaktoren bei beiden Geschlechtern sehr groß. Daher ist eine grundsätzliche Verallgemeinerung für Frauen auf der einen und Männer auf der anderen Seite nicht angeraten. Vielmehr sollte das individuelle Risiko geschlechtsunabhängig abgeschätzt und entsprechend präventiv behandelt werden. VKB-Rupturen sind kein reines Frauenproblem und Gruppenmittelwerte sollten nur ein grober Anhaltspunkt sein. Wenn möglich, sollte immer das individuelle Risiko

eines Sportlers oder einer Sportlerin ermittelt werden. Anhaltspunkte hierzu sollen die im Rahmen der Prävention von VKB-Verletzungen vorgestellten Screening-Tests bieten (siehe Kapitel Prävention).

Frühere VKB-Verletzung

Das größte Risiko einer VKB Verletzung besteht dann, wenn bereits eine frühere VKB-Verletzung vorgelegen hat. An der Universität von North Carolina befindet sich eine prospektive Studie hierzu mit West-Point Soldaten in Arbeit, wobei bis heute festgestellt werden konnte, dass das Risiko in diesem Fall für die gleiche oder die kontralaterale Seite um das 10-fache steigt (Padua, persönliche Mitteilung 2010).

Anatomische Risikofaktoren

Die Anatomie der unteren Extremität zeigt bei Frauen einige postulierte Risikofaktoren, die in ihrem Zusammenwirken das vordere Kreuzband einer vermehrten Belastung aussetzen und VKB-Rupturen begünstigen können [Hewett et al. 2001]. Eine anatomische Hypothese ist der Q-Winkel. Es wird argumentiert, dass Frauen bedingt durch ein breiteres Becken einen erhöhten Winkel zwischen der Längsachse des Femurs und der Tibia haben, der wiederum für mehr weibliche VKB Verletzungen verantwortlich sein soll (Abb.4). Eine femorale Anteversion und der tibiofemorale Winkel führen zu einem höheren Q-Winkel. Allerdings scheint der Q-Winkel weitgehend nur Änderungen in der Frontalebene zu messen. Da aber viele Knieverletzungen aus einer Kombination von Bewegungen und Kräften in Frontal- und Transversalebene zu resultieren scheinen, kann dies zum Teil erklären, warum der Q-Winkel nur als ein mäßiger Prädiktor für VKB-Verletzungen angesehen wird [Beynonn & Shultz 2008]. Eine zweite Hypo-

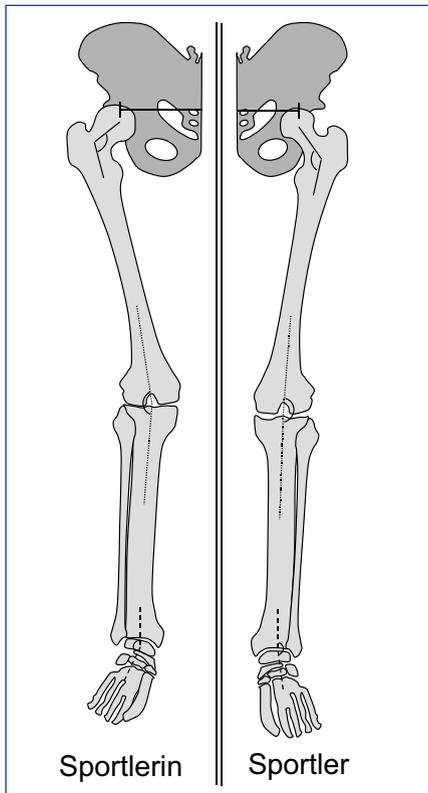


Abbildung 4
Im Allgemeinen haben Frauen (links) gegenüber Männern (rechts) gleichen Alters breitere Hüften sowie einen größeren Hüft-Varus, Knie-Valgus und eine größere Fußpronation.

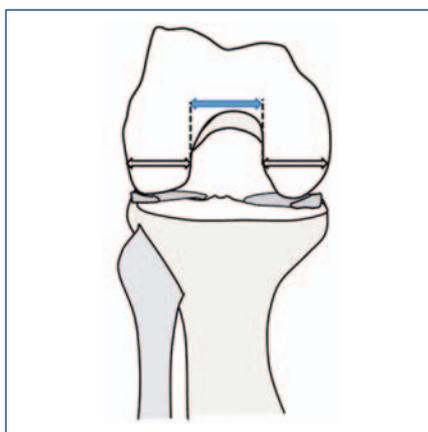


Abbildung 5
Intercondyläre Notch. Der Notch Width Index ist definiert als die Breite der Fossa intercondylaris auf der Ebene der Kniekehle geteilt durch die durch die bikondylären Breite auf dem gleichen Niveau. Diese 2-dimensionale Ansicht im Röntgenbild wird mit dem Knie in 45°-Flexion gemessen.

these betrifft die zumeist bei Frauen anzutreffende kleinere intercondyläre Notch, insbesondere nachgewiesen bei Sportlern mit beidseitigen VKB-Verletzungen (Abb. 5). Die genauen Auswirkungen sind jedoch noch nicht endgültig geklärt. Bedingt durch die engere Fossa intercondylaris kann ein Impingement am vorderen Rand der Fossa die Entstehung von VKB-Rupturen begünstigen, ebenso soll der kleinere Durchmesser der Fossa intercondylaris einen kleineren Kreuzbanddurchmesser und damit eine geringere Reißfestigkeit bedingen [Olsen et al. 2004]. Man findet weiter bei Frauen meist einen größeren Hüftgelenksabstand, bei der Beinstellung eine vermehrte femorale Anteversion in Verbindung mit einer vermehrten Genu valgum Neigung sowie bei der Fußstellung eine vermehrte Auswärtsrotation.

Zwar sind viele Geschlechtsunterschiede im Hinblick auf die anatomische Ausrichtung der unteren Extremität festgestellt worden: eine erhöhte Anteversion der Hüfte, ein vergrößerter tibiofemoraler Winkel, der Q-Winkel oder ein Genu recurvatum. Dennoch ist sehr wenig darüber bekannt, ob und wie diese anatomischen Variablen im Zusammenhang mit einer erhöhten Verletzungsgefahr stehen [Beynon und Shultz 2008]. Zudem muss berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um statische Messungen handelt, die nicht direkt auf dynamische Situation extrapoliert werden können.

Hormonelle Risikofaktoren

Weiterhin scheinen trotz anhaltend kontroverser Diskussion im Schrifttum hormonelle Faktoren und hier insbesondere die weiblichen Sexualhormone einen Einfluss auf die unterschiedlichen Verletzungsraten zu nehmen. Es ist bekannt, dass weibliche Geschlechtshormone und

ihre jeweilige Konzentration Einfluss auf die Eigenschaften von Bindegewebe haben [Beynon & Shultz 2008]. So wird diskutiert, ob die Bandlaxität der Kreuzbänder durch die Östrogenkonzentration beeinflusst wird. Eine erhöhte Bandlaxität könnte einerseits bedingt durch die erleichterte Verlängerung mit einer Schutzwirkung einhergehen, andererseits könnte die herabgesetzte propriozeptive Ansprechschwelle aufgrund verzögerter neuromuskulärer Aktivierung der das Kniegelenk stabilisierenden Muskulatur gegenteilige Effekte haben. Beim kürzlichen „ACL Gender Retreat Meeting“ haben einige Studien gezeigt, dass die Inzidenz allgemeiner Knie-distorsionen durch die Einnahme oraler Kontrazeptiva signifikant reduziert werden konnte, andere dagegen fanden diesen Effekt nicht [Beynon und Shultz 2008]. Unklar ist jedoch, ob dieser Effekt durch eine Beeinflussung des Bindegewebes oder durch eine hormonelle Beeinflussung des neuromuskulären Systems bedingt ist. Der zugrunde liegende Mechanismus dafür, dass die Wahrscheinlichkeit einer VKB-Ruptur während der präovulatorischen Phase des Menstruationszyklus erhöht ist, konnte bis jetzt nicht bestimmt werden. Es kann gut sein, dass das erhöhte Risiko von Verletzungen die Folge einer Erhöhung von Östradiol ist, die während der präovulatorischen Phase des Menstruationszyklus im Zusammenhang mit einer Verminderung von Progesteron auftritt [Beynon und Shultz 2008].

Neuromuskuläre Risikofaktoren

Die neuromuskuläre Kontrolle bezieht sich auf die unbewusste Aktivierung der dynamischen Kontrollinstanzen der das Kniegelenk stabilisierenden Strukturen als Antwort auf sensorische Stimuli und ist von besonderer Bedeutung für die Inzidenz

von VKB-Verletzungen. Eine hohe Gelenksteifheit im Zusammenwirken von Muskeln, Sehnen und Bändern kann das Gelenk vor Verletzungen schützen. Vor allem eine muskuläre Ermüdung oder übermäßige Beanspruchung der Strukturen kann dieses Gleichgewicht negativ beeinflussen und die Verletzungsgefahr gerade in späteren Spielphasen erhöhen. Insbesondere die muskuläre Koordination und Rekrutierung spielt hierbei eine besondere Rolle. Auch hier scheinen einige geschlechtsspezifische Unterschiede vorzuliegen, die die erhöhte Inzidenz von VKB-Rupturen von Frauen gegenüber Männern erklären helfen. Bei Kniebeugebewegungen z. B. bei der Landung nach Sprüngen wird angenommen, dass der Quadrizeps nicht nur die Beugung abbremst, sondern gleichzeitig auch einen tibialen Vorschub erzeugt, der das vordere Kreuzband einer besonderen Belastung aussetzt. Die Hamstrings wiederum könnten als Antagonist bei entsprechender Aktivierung den tibialen Vorschub verhindern oder reduzieren. Allerdings ist bei Frauen nicht nur die Muskulatur insgesamt schwächer entwickelt, sondern es scheint vor allem auch ein deutliches Quadrizeps-Hamstrings-Ungleichgewicht zuungunsten der weiblichen Kniebeuger sowie zudem eine langsamere Aktivierung der Hamstrings bei Drehungen und Landungen vorzuliegen, wodurch das Kreuzband einer erhöhten Belastung ausgesetzt wird. Allerdings konnte dieser Zusammenhang bei Laufexperimenten mit Drehbewegungen in einem kürzlich publizierten Review nicht nachgewiesen werden [Benjaminse et al. 2010]

Geschlechtsunabhängig und ohne dass hierzu gesicherte Erkenntnisse vorliegen, ist zu vermuten, dass mit zunehmender muskulärer Ermüdung oder Beanspruchung die Rekrutierung schneller Fasern nachlässt und

infolgedessen die Reaktionszeiten auf bewusste oder unbewusste Reize verlängert werden und somit das Kniegelenk einer erhöhten Verletzungsgefahr ausgesetzt wird [Zebis et al. 2010].

Als weiterer neuromuskulärer Risikofaktor wird eine Störung der Koordination durch Ablenkung z. B. durch Ball oder Gegnerkontakt angeführt. So konnte beim Handball gezeigt werden, dass alle verletzten Spieler im Moment der Verletzung den Ball führten. Die Bedeutung der Propriozeption wird aufgrund der Rezeptoren im VKB als wichtig beschrieben. Dies muss jedoch kritisch betrachtet werden, da in einer kürzlichen ausführlichen Literaturübersicht keine klinisch wichtigen Zusammenhänge zwischen Propriozeption und Funktion sichergestellt werden konnten [Gokeler et al. 2010].

Biomechanische Risikofaktoren

Valgus Collapse

Ursprünglich wurde die VKB-Verletzung als eine Bewegung nur in rein sagittaler Ebene gesehen, nämlich mit dem Kniegelenk in 20–30°-Flexion. Die initiale, d.h. zu Beginn der Verletzungssituation geringe Kniebeugung kann vor allem in Beugewinkeln von 20–30° zu einem deutlichen Tibiavorschub und damit einer großen Belastung des VKB führen, vor allem weil in dieser Gelenkwinkelstellung den Hamstrings noch keine ausreichende Zügelwirkung zugeschrieben wird. Jüngste Studien haben aber übereinstimmend gezeigt, dass die bedeutsamste Kraftwirkung, die zu einer Ruptur des VKB führen kann, aus einem so genannten Valgus-Collapse besteht [Quatman & Hewett 2009]. Dies ist eine kombinierte Bewegung sowohl in Frontal-, Sagittal- als auch Transversalebene. Die zugehörigen problematischen Bewegungselemente

zeigen sich bei Frauen gegenüber Männern in einer Zunahme der Hüftadduktion und Hüftinnenrotation, Extension und Valgus im Kniegelenk sowie Innen- oder Außenrotation der Tibia mit unkontrollierter Fußstellung. Auch der Rumpf scheint hierbei eine wichtige Rolle zu spielen, da er bei Frauen mehr nach vorne geneigt ist. Alle diese Bewegungen erzeugen im Kniegelenk höhere Valguskraften in Kombination mit einem tibialen Vorschub bei der Landung oder nach einem langen Schritt und setzen das VKB dabei einer besonders hohen Belastung aus. Aus biomechanischer Sicht ist dies wahrscheinlich die Erklärung, wie es zu einer Nicht-Kontakt-VKB-Ruptur kommen kann. Interessanterweise konnte dieser Valgus-Collapse nur bei 20% der männlichen Sportler festgestellt werden.

Ligament Dominanz

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Frauen vermehrt Ligamentdominant sind [Hewett & Johnson 2010]. Die Dominanz bezieht sich auf das Fehlen einer ausreichenden muskulären Kontrolle der medial-lateralen Knie-Bewegung. Dies führt zu hohen Bodenreaktionskräften und höheren Valgus Drehmomenten im Knie. Wesentliches Element hierbei ist, dass Frauen diese höheren Kräfte in einem kürzeren Zeitraum als Männer verarbeiten. In der Folge sind die Spitzenkräfte höher und müssen mehr von den ligamentären Strukturen als von den Muskeln aufgefangen werden. Auch die Verteilung der Kräfte auf Hüft- und Sprunggelenk ist reduziert, so dass das Kniegelenk mehr belastet wird.

Seitenunterschiede

Weibliche Athleten haben eine niedrigere Kniebeugekraft auf dem nicht-dominanten gegenüber dem dominanten Bein. Neuromuskuläre

Ungleichgewichte in Kraft, Koordination und Flexibilität konnten als wichtige Prädiktoren für erhöhte ACL-Verletzungsrisiken gezeigt werden [Hewett & Johnson 2010]. Allerdings führen in diesem Fall die messbaren geschlechtsspezifischen Unterschiede nicht automatisch auch zu einem unterschiedlichen VKB-Verletzungsrisiko zwischen den Geschlechtern. Im Fußball etwa treten bezogen auf Nicht-Kontakt-Verletzungen die Hälfte aller Verletzungen im Schussbein auf. Bezogen auf das Geschlecht gibt es jedoch einen signifikanten Unterschied in der Verteilung der Verletzungen. So lag der Anteil der Schussbeinverletzungen bei Männern bei 74,1%, bei Frauen hingegen nur bei 32%. Insgesamt kann festgehalten werden, dass Frauen eher ihr Standbein verletzen, während Männer dazu neigen, vermehrt ihr Schussbein zu verletzen. Diese Ergebnisse legen nahe, die Extremitäten-Dominanz als einen ätiologischen Faktor im Hinblick auf das Risiko für VKB-Verletzungen beim Fußballspielen zu berücksichtigen.

Alter

Die stark erhöhte Inzidenz für VKB-Rupturen bei jugendlichen Sportlern könnte mit Veränderungen in den Körperproportionen und dem Längenwachstum in der puberalen Phase in Verbindung gebracht werden, da hierdurch zumindest temporär die Kraft- und Hebelverhältnisse und somit die neuromuskuläre Koordination erheblich beeinflusst werden. Vor allem der neuromuskuläre Aspekt spielt hierbei die wichtigste Rolle.

Die gegenwärtige Theorie ist, dass das schnelle Wachstum in der Pubertät zur Entstehung oder Zunahme eines neuromuskulären Ungleichgewichtes führt [DiStephano et al. 2009], vor allem auch wieder bei weiblichen Athleten. In diesem Zusammenhang ist auch die alters-

bezogene, stark steigende Inzidenz für VKB-Verletzungen im Handball zu sehen. Auch im Fußball scheint die Häufigkeit von VKB-Verletzungen zwischen einem Alter von rund 11 oder 12 Jahren bis zum Alter von 18 Jahren stetig zuzunehmen. So werden mehr als 3 Millionen mit VKB-Verletzung registrierte Jugendliche in den USA und eine gleichzeitig beobachtete jährliche Zunahme um ca. 20% berichtet. [Koutures & Gregory 2010].

Äußere Risikofaktoren

Schuh- und Spielfläche

Als Anforderungen an moderne Sportschuhe sind neben Passform und sportartspezifischer Funktionalität und Stabilität vor allem höhere Reibungskoeffizienten zwischen Sportschuh und Spielfläche von besonderer Bedeutung. Dies scheint aber gleichzeitig die potentielle Gefahr einer Erhöhung des Risikos von VKB-Verletzungen zu beinhalten. So sind im Fußball Schuhe mit einer höheren Anzahl von Stollen auch mit einer erhöhten Verletzungsgefahr assoziiert. Und weibliche Handballspielerinnen zeigen auf künstlichen Spielflächen mehr VKB-Verletzungen als auf Holzboden [Renstrom et al. 2008].

Sehr wenig ist bisher über die Wirkungen von externen sportspezifischen Faktoren wie z. B. Spielregeln, Schiedsrichter und Coaching oder auch die Wetterbedingungen auf das VKB-Verletzungsrisiko bekannt.

Messverfahren der Verletzungsmechanismen

Auf Basis von Videoanalysen und Befragungen verletzter Spieler treten Verletzungen des vorderen Kreuzbandes in bestimmten Verletzungssituationen mit bestimmten Verletzungsmechanismen auf und werden

oftmals auch als biomechanische Risikofaktoren bezeichnet.

Spezielle beschriebene Verletzungssituationen sind (Fauno & Wulff Jakobsen 2005):

- Landungen nach Sprüngen,
- Drehungen und Richtungswechsel sowie
- Stoppbewegungen vor allem in Kombination mit Sprüngen oder langen Schritten.

Alle Verletzungssituationen werden in Verbindung mit initial nur leicht gebeugten Knien bzw. bei fast gestrecktem Kniegelenk, häufiger bei Frauen anzutreffen, und oftmals mit feststehendem Fuß beschrieben.

Ergebnisse von Studien mit Videoanalysen sollten aber mit großer Vorsicht interpretiert werden. Die Genauigkeit und Präzision ist schlecht. Insbesondere wurde festgestellt, dass der reale Kniebeugewinkel in der Regel doppelt so hoch war wie die Schätzung bei der Videoanalyse einer VKB-Verletzung [Krosshaug et al. 2007].

Auch Experimente im Labor haben bestimmte Nachteile. Sie sind sehr aufwändig hinsichtlich Kosten- und Zeitaufwand. Zudem können Bewegungen, die bei VKB-Verletzungen auftreten, auch nur annähernd und ohne tatsächliche Schädigung simuliert werden, so dass die effektive Belastung des VKB nur grob abgeschätzt werden kann.

Ausblick

Als Verletzungsmechanismen in den genannten Verletzungssituationen konnten einige typische Bewegungsmuster identifiziert werden. Obwohl die Inzidenz bei Frauen im Vergleich zu Männern erhöht ist, tritt nach wie vor bei Männern die größte Anzahl an VKB-Verletzungen auf. Insofern scheint ein Paradigmenwechsel angeraten. VKB-Verletzungen sollten

nicht nur geschlechtsspezifisch, sondern individuell und multifaktoriell betrachtet werden. Wahrscheinlich sind über die in der Literatur dominierenden rein beschreibenden geschlechtsspezifischen Vergleichsstudien hinaus andere innere und äußere Faktoren zumindest mit verantwortlich für das individuelle Verletzungsrisiko. Obwohl in den vergangenen Jahren viele geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der neuromuskulären und biomechanischen Faktoren und Funktionen aufgezeigt werden konnten, ist noch sehr wenig über die konkret zugrunde liegenden Verletzungsursachen bekannt. Ob und in welchem Maße die vielen beobachteten Unterschiede wirklich ein größeres Verletzungsrisiko für körperlich aktive Frauen beinhalten, kann auch in Ermangelung hinreichend aussagefähiger Studien mit Männern noch nicht sicher beantwortet werden. Auch scheint eine stärkere Integration von Risikofaktor-Kategorien erforderlich, anstatt nur auf die fortgesetzte Prüfung von isolierten Risikofaktoren zu fokussieren. Bei aktuellem Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass VKB-Verletzungen ein multifaktorielles Problem darstellen, bei dem die Betrachtung eines Risikofaktors alleine ohne Identifizierung und Berücksichtigung anderer relevanter Risikofaktoren nicht zielführend zu sein scheint. Dieser Ansatz scheint besonders wichtig für unser Verständnis der anatomischen Faktoren. So sind die Wirkungen des Faktors Kniebelastung ohne Berücksichtigung der anatomischen Ausrichtung der gesamten unteren Extremität kaum zu quantifizieren. Es ist auch möglich, dass sich Risikofaktoren für Nicht-Kontakt-VKB-Verletzungen sogar zwischen unterschiedlichen Sportpopulationen wie z. B. zwischen Elite- und Freizeitsportlern oder zwischen Männern und Frauen unterscheiden.

Des Weiteren muss auch noch genauer untersucht werden, weshalb es bei Jugendlichen zu einer explosiven Zunahme der VKB-Verletzungen kommt. Dies hat große Bedeutung für die Prävention. Auch äußere Faktoren sind bisher kaum untersucht und müssten im früher erklärten Modell von Krosshaug et al. (2007) integriert werden. Wenn anatomische Faktoren gefunden werden, die sicher mit einem erhöhten Risiko von VKB-Verletzungen in Verbindung gebracht werden können, dann ist zu bedenken, dass diese im Vergleich zu Umwelt-, hormonellen oder neuromuskulären Faktoren kaum zu beeinflussen sind.

Ein ähnlich integrativer Ansatz ist erforderlich, wenn Ergebnisse zu neuromuskulären und biomechanischen Faktoren mit der Abschätzung der Risikofaktoren für VKB-Verletzungen assoziiert werden. Oftmals wurden in Studien Fragen zu neuromuskulären oder biomechanischen Faktoren isoliert voneinander untersucht. Trotz des offenkundig bestehenden Zusammenhangs zwischen neuromuskulären und biomechanischen Parametern sind diese bisher nur selten gemeinsam erhoben, analysiert und in ihrem Zusammenwirken empirisch überprüft worden. Um für Wissenschaftler und Kliniker gleichermaßen ein umfassenderes und genaueres Verständnis von der Wirkung relevanter Risikofaktoren auf Belastung und Funktion des Kniegelenkes zu ermöglichen, sind künftig Studien mit einem integrativen Ansatz erforderlich, die den Faktor der Risikobewertung unter Einbeziehung neuromuskulärer und biomechanischer Einflüsse analysieren.

Zusammen mit verstärkten Bemühungen um realistischere Rahmenbedingungen bei Laboruntersuchungen scheinen künftig auch Feldforschungen besonders wichtig. Diese könnten nicht nur unter realen

Bedingungen eine Beurteilung biomechanischer und neuromuskulärer Risikofaktoren von VKB-Verletzungen ermöglichen, sondern auch wesentlich dazu beitragen, Screeningverfahren weiterzuentwickeln und schließlich eine Reduzierung oder Vermeidung der Risikofaktoren zu ermöglichen.

Von Quatman et al. (2009) wurde kürzlich ein anderer Ansatz vorgeschlagen: ein synergistischer Einsatz von in vitro, In-vivo-Verfahren und in silico-Techniken [Quatman, Quatman & Hewett 2009]. Dieser Ansatz versucht, die mit den einzelnen experimentellen Rahmenbedingungen verbundenen Einschränkungen zu umgehen und so zu einem klinisch akzeptablen Modell zur Beschreibung der biomechanischen Risikofaktoren zu gelangen.

Literatur

- Alentorn-Geli E, Myer GD, 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 (7), 705–729.
- Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* (2005), 39, 324–329.
- Benjaminse A, Gokeler A et al. What is the true evidence for gender-related differences during plant and cut maneuvers? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2011), 19 (1), 42–54.
- Beynon BD, Shultz SJ. Anatomic alignment, menstrual cycle phase, and the risk of anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train* (2008), 43 (5), 541–542.
- Biau DJ, Tournoux C, et al. ACL reconstruction: a meta-analysis of functional scores. *Clinical orthopaedics and related research* (2007), 458, 180–187.
- Boden B, Dean G, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* (2000), 23 (6), 573–578.
- Colby S, Francisco A, et al. Electromyographic and kinematic analysis of cutting maneuvers. Implications for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* (2000), 28 (2), 234–240.

- DiStefano LJ, Padua DA, et al. Influence of Age, Sex, Technique, and Exercise Program on Movement Patterns After an Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Program in Youth Soccer Players. *Am J Sports Med* (2009), 37 (3), 495–505.
- Ettlinger C, Johnson R, et al. A Method to Help Reduce the Risk of Serious Knee Sprains Incurred in Alpine Skiing. *Am J Sports Med* (1995), 531–537.
- Faune P, Wulff Jakobsen B. Mechanism of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Soccer. *Int J Sports Med* (2005), 27, 75–79.
- Gokeler A, Benjaminse A, et al. Proprioceptive Deficits after ACL-Injury. Are They Clinically Relevant? A Systematic Review. Submitted *British Journal of Sports Medicine* (2011).
- Gordon, MD, Steiner, ME. Anterior Cruciate Ligament Injuries. In: *Orthopaedic Knowledge Update Sports Medicine III*, Garrick, JG, (Ed), American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont IL 2004; p.169.
- Hewett TE, Johnson DL. ACL prevention programs: fact or fiction? *Orthopedics* 2010, 33 (1), 36–39.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Prevention of anterior cruciate ligament injuries. *Curr Womens Health Rep* (2001), 1 (3), 218–224.
- Hewett TE, Myer GD, et al. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes - Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *Am J Sports Med* (2006), 34 (2), 299–311.
- Hewett TE, Myer GD, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med* (2005), 33 (4), 492–501.
- Krosshaug T, Slauterbeck JR, et al. Biomechanical analysis of anterior cruciate ligament injury mechanisms: three-dimensional motion reconstruction from video sequences. *Scand J Med Sci Sports* (2007), 17 (5), 12.
- Koutoures CG, Gregory AJM. Injuries in Youth Soccer. *Pediatrics* (2010), 2:410–414.
- McLean SG, Andrish JT, van den Bogert AJ. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* (2005) 33 (7),1106; author reply 1106–1107.
- McLean SG, Huang X, Su A, van den Bogert AJ. Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. *Clin Biomech* (2004), 19 (8), 828–838.
- Oiestad BE, Engebretsen L, et al. Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Am J Sports Med* (2009), 37 (7), 1434–1443.
- Olsen O, Myklebust G, et al. Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball. *Am J Sports Med* (2004), 32, 1002–1012.
- Petersen W, Braun C, et al. A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orth Tr Surg* (2005), 125, 614–621.
- Petersen W, Rosenbaum D, et al. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Dt Z Sportmed* (2005), 56 (6), 150–156.
- Petersen W, Zantop T. Das vordere Kreuzband - Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie. *Deutscher Ärzte-Verlag* (2009), Köln.
- Quatman CE, Hewett TE. The anterior cruciate ligament injury controversy: is “valgus collapse” a sex-specific mechanism? *Br J Sports Med* (2009), 43 (5), 328–335.
- Quatman CE, Quatman CC, Hewett TE. Prediction and prevention of musculoskeletal injury: a paradigm shift in methodology. *Br J Sports Med* (2009), 43 (14), 1100–1107.
- Renstrom P, Ljungqvist A, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med* (2008), 42 (6), 394–412.
- Shea KG, Pfeiffer R, Wang JH, Curtin M, Apel PJ. Anterior cruciate ligament injury in pediatric and adolescent soccer players: an analysis of insurance data. *J Pediatr Orthop*. (2004); 24 (6):623–628.
- Shelbourne KD, Gray T, Haro M. Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med* (2009), 37 (2), 246–251.
- Spindler KP, Wright RW. Anterior Cruciate Ligament Tear. *New Engl J Med* (2008), 359 (20), 8.
- Walden M, Hagglund M, et al. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2010).
- Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *Br J Sports Med* (2007), 41 Suppl 1: 47–51.
- Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Alkjaer T, Suetta C, Mortensen P, Kjaer M, Aagaard P. Acute fatigue impairs neuromuscular activity of anterior cruciate ligament-agonist muscles in female team handball players. *Scand J Med Sci Sports*. 2010 May 24. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.0838.2010.01052.x. [Epub ahead of print].

VORDERES KREUZBAND

PRÄVENTION VON KREUZBANDVERLETZUNGEN

Thomas Jöllenbeck, Jürgen Freiwald, Klaus Dann, Alli Gokeler, Thore Zantop,
Romain Seil, Oliver Miltner

Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB) sind sehr ernste Knieverletzungen mit oftmals schwerwiegenden Folgen für den Athleten vom Aktivitätslevel über die Lebensqualität bis hin zu Sportinvalidität. Zudem tragen VKB-defizitäre und -rekonstruierte Knie ein erhöhtes Risiko für sekundäre Verletzungen oder Schädigungen von Meniskus und Knorpel, vor allem aber auch für das beschleunigte Auftreten einer Arthrose (siehe Kapitel Assoziierte Läsionen). Besorgniserregend sind auch die bereits im Jahr 2000 berichteten mehr als 3 Millionen mit VKB-Verletzung registrierten Jugendlichen in den Vereinigten Staaten und die gleichzeitig beobachteten jährlichen Zunahmen um ca. 20% [DiStefano et al. 2009]. Diese Zahlen belegen eindrucksvoll die Bedeutung präventiver Maßnahmen.

Als Konsequenz daraus wird mittlerweile vor allem die Prävention von VKB-Verletzungen als wesentlicher Schlüsselfaktor der medizinischen Versorgung angesehen und zwar noch vor der Frage nach dem Zeitpunkt der Operation oder der verwendeten Operationstechnik [Karlsson 2010]. So hat die Anzahl der relevanten Veröffentlichungen zur Prävention von VKB-Verletzungen nach vormals nur rund 60 Publikationen ab 2005 stark zugenommen und 2009 bereits mehr als 150 Publikationen erreicht. Unter dem Leitsatz „*We can only prevent what we understand*“ [McLean 2010] ist jedoch das Verständnis der Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen unabdingbare Voraussetzung für die Prävention von Verletzungen im Sport [Bahr und Krosshaug 2005]. Da nach Lage der Literatur noch viele Details ungeklärt sind, stellt die Prävention von VKB-Verletzungen eine große Herausforderung dar und sollte ein Hauptziel für Trainer, Physiotherapeuten, Sportwissenschaftler und Sportmediziner sein.

Als Grundlage für die nachfolgenden Darstellungen dienen im Wesentlichen fünf aktuelle Reviews zu Verletzungsmechanismen, Risikofaktoren und Präventionsprogrammen von [Alentorn-Geli et al. 2009, Griffin et al. 2006, Hewett et al. 2006, Padua et al. 2009, Petersen et al. 2005].

Präventionsstrategien

Zur Prävention von VKB-Verletzungen werden unterschiedliche Strategien verfolgt. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen intrinsischen, also auf den Menschen bezogenen, und extrinsischen, also auf

die äußeren Bedingungen bezogenen Faktoren [Bahr und Krosshaug 2005]. Grundlegendes Ziel der Präventionsstrategien ist jedoch die Modifizierung der Risikofaktoren zur Reduktion der Verletzungsraten bzw. der Verletzungsinzidenz. Ein weiterer zukünftiger Schritt könnte zudem

in der Differenzierung zwischen primärer, sekundärer oder tertiärer Prävention bestehen.

Grundlage der zielgerichteten Prävention ist die Aufdeckung geschlechtsspezifischer und altersbedingter Unterschiede ebenso wie die Identifizierung modifizierbarer, aber auch nicht-modifizierbarer Parameter. Auf dieser Basis sind mehrere Maßnahmen erforderlich. Zunächst sind Trainingsprogramme zu erstellen, mit denen sich die modifizierbaren Parameter ansteuern lassen. Daneben sollten Screening-Tests entwickelt und eingesetzt werden, die eine individuelle Risiko-Abschätzung der Sportler in Zustand und Verlauf ermöglichen. Das beinhaltet aber zugleich auch die Möglichkeit zur Überprüfung und Verifizierung (Evidenz) der Effektivität der Trainingsprogramme. Im nächsten Schritt lassen sich so auch die Trainingsprogramme weiter optimieren. In der Folge sollen die bestehenden Maßnahmen und Programme zur Prävention von VKB-Verletzungen auf den verschiedenen Ebenen dargestellt werden.

Extrinsische Faktoren

Präventive Maßnahmen zur Veränderung extrinsischer Faktoren zielen auf die Modifikation der äußeren Rahmenbedingungen ab. Über die Wirksamkeit solcher Maßnahmen liegen bisher fast keine Studien vor, so dass die vorgelegten Vorschläge nur mögliche ungeprüfte Optionen darstellen.

Wettkampf in Training und Spiel

Sehr wenig ist bisher zum Einfluss der Art des Wettkampfes auf die VKB-Verletzungsrate bekannt. Lediglich eine Studie zum Handball konnte beim Spiel im Vergleich zum Training ein höheres Risiko für VKB-Verletzungen zeigen [Myklebust et al. 2003]. Hieraus ergibt sich die Hypothese, dass

das Wettkampfniveau oder der individuelle Einsatz eines Athleten im Wettkampf oder eine Kombination von beiden das VKB-Verletzungsrisiko erhöhen kann [Renstrom et al. 2008]. Präventiv scheint es kaum möglich, das Wettkampfniveau und den damit verbundenen Leistungsdruck reduzieren zu können. Ein präventiver Ansatz könnte lediglich in einer Modifikation der individuellen Wettkampfgestaltung in Technik und Taktik bestehen.

Sportschuhe und Spielbelag

Ein weiterer möglicher Ansatzpunkt ist die Veränderung der Interaktion zwischen Untergrund bzw. Spielbelag und Schuhen. Im American Football konnte gezeigt werden, dass eine größere Anzahl an Stollen unter den Schuhen neben der Traktion und Torsionsfestigkeit auf Rasen auch das Verletzungsrisiko für VKB-Verletzungen erhöht [Lambson et al. 1996]. Eine weitere Studie konnte zeigen, dass Frauen beim Handball auf Kunststoffböden wegen der erhöhten Torsionsfestigkeit mehr VKB-Verletzungen erleiden als auf Holzböden. Bei Männern war dieser Zusammenhang dagegen nicht vorhanden [Olsen et al. 2004]. Der präventive Ansatz müsste darin bestehen, Schuhe über verschiedene Stollen- oder Sohlenvarianten dem jeweiligen Bodenbelag im Freien oder in der Halle im Abgleich mit den Anforderungen der jeweiligen Sportart entsprechend anzupassen bzw. auszuwählen. Das Ziel sollte eine ausgewogene Balance zwischen einem Optimum an erforderlicher Reibung bzw. Traktion und Torsionsfestigkeit bei einem gleichzeitigen Maximum an Bewegungsfreiheit bei Drehbewegungen sein. Im alpinen Skisport hingegen scheint diese Balance kaum realisierbar, da eine maximale Reibung quer zur Fahrtrichtung bei höchster Geschwindigkeit

unabdingbare Voraussetzung für ein geschnittenes und sicheres, vor allem aber auch schnelles Fahren ist.

Wetterbedingungen

Bei Sportarten, die auf Naturrasen oder Kunstrasen gespielt werden, nehmen auch die Wetterbedingungen starken Einfluss auf die Interaktion zwischen Schuh und Spielfläche. Beim Australian Football konnte gezeigt werden, dass die Zahl der Non-Contact VKB-Verletzungen in Zeiten geringer Niederschläge und Luftfeuchtigkeit erhöht war [Orchard et al. 1999]. Der präventive Ansatz kann darin bestehen, neben der Auswahl adäquaten Schuhwerkes (s. o.) auch den Spieluntergrund entsprechend zu präparieren und die Traktion in angemessener Weise zu reduzieren. Im Fußball wird dieser Möglichkeit zumindest bei Naturrasen bereits durch eine Wässerung der Spielfläche vor dem Spiel oder während der Halbzeitpause Rechnung getragen.

Knieorthesen

Der prophylaktische Einsatz von Knieorthesen zur Unterstützung bestehender chronischer Instabilitäten z. B. nach VKB-Rekonstruktion oder zur Beeinflussung der neuromuskulären Kontrolle der Knie- oder Ganzkörper-Kinematik oder -Kinetik hat sehr uneinheitliche Ergebnisse erbracht. Während bei professionellen Skiläufern mit VKB-Insuffizienz, die eine funktionale Knieorthese getragen haben, eine reduziertes Risiko für VKB-Verletzungen gefunden wurde [Kocher et al. 2003], konnte eine andere Studie zum Effekt von Knieorthesen nach VKB-Rekonstruktion keine Effekte nachweisen [McDevit et al. 2004]. Insgesamt zeigt sich bisher kein Einfluss von Knieorthesen auf die Kniestabilität oder -funktionalität, das subjektive Empfinden, den Bewegungsumfang

oder das Kraftvermögen. Den vorliegenden Studien entsprechend scheint es so zu sein, dass durch den Einsatz von Knieorthesen die Aktivierungsmuster unverändert bleiben und es zu keiner Reduktion der VKB-Verletzungsrate kommt. Zwar scheinen Knieorthesen in isolierten Laborsituationen den tibialen Vorschub reduzieren zu können, in der komplexen Trainings- oder Wettkampfsituation jedoch überschreitet die äußere Belastung bei weitem die Möglichkeiten einer Orthese [Wright und Fetzer 2007]. Allerdings wird auch berichtet, dass sich einige Sportler nach VKB-Rekonstruktion vom persönlichen Empfinden her mit einer Knieorthese sicherer bzw. stabiler fühlen. [Alentorn-Geli et al. 2009, Hewett et al. 2006]

Intrinsische Faktoren

Präventive Maßnahmen zur Veränderung intrinsischer Faktoren zielen auf die Veränderung der im Athleten begründeten Parameter ab. Es sind zwei aufeinander aufbauende Strategien zu erkennen. Die erste setzt auf die Aufklärung und Information über die Risikofaktoren und insbesondere die Verletzungsmechanis-

men. Über das Bewusstmachen ungünstiger Bewegungsabläufe verbal oder per Video wird eine Änderung des Bewegungsverhaltens erhofft. Dieses Vorgehen hat in einer großen Studie im alpinen Skilauf zu einer deutlichen Reduzierung der Verletzungsrate geführt [Ettlinger et al. 1995].

Oftmals dient dieses Vorgehen aber dazu, die Bedeutung von präventiven Trainingsprogrammen als zweite und wichtigste Strategie zur Prävention zu unterstreichen. Wesentliche Voraussetzung ist hierbei die Unterscheidung und Eingrenzung von modifizierbaren und nicht-modifizierbaren Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen.

Prävention nicht-modifizierbarer Risikofaktoren

Anders als es die Klassifizierung erwarten lässt, werden auch bei einigen so genannten nicht-modifizierbaren Risikofaktoren präventive Maßnahmen empfohlen. So wird zur Modifikation hormoneller Faktoren die Einnahme oraler Kontrazeptiva vorgeschlagen. Bei genereller Gelenklaxität wird ein neuromuskuläres Training zur Steigerung der Gelenkstiffness angeraten. Zur Reduktion

des erhöhten Risikos bei jugendlichen Sportlern wird die möglichst frühzeitige Aufnahme eines präventiven neuromuskulären Trainings vorgeschlagen. Bei allen anderen nicht-modifizierbaren Parametern wie z.B. der intercondylären Notchweite bleibt als Empfehlung nur die Reduzierung anderer Risikofaktoren. [Alentorn-Geli et al. 2009]

Prävention modifizierbarer Risikofaktoren

Bei den modifizierbaren Risikofaktoren wird vor allem auf Basis der in der Literatur berichteten vielfältigen neuromuskulären Ungleichgewichte zur Prävention meist neuromuskuläres Training in unterschiedlichen Ausprägungen empfohlen. Ziel ist die bewusste Umstellung vermeintlich problematischer Bewegungsabläufe in der Hoffnung, dass die Modifikationen unter Wettkampfbedingungen automatisiert, d.h. unbewusst abgerufen und ausgeführt werden können.

Die möglichen Kontrollen oder Behandlungen für isolierte biomechanische oder neuromuskuläre Risikofaktoren sind in den folgenden Tabellen aufgelistet:

Tabelle 1

Mögliche Kontrollen oder Behandlungen für isolierte biomechanische Risikofaktoren [modifiziert nach Alentorn-Geli et al. 2009], NMT: neuromuskuläres Training.

Biomechanische Risikofaktoren	Mögliche Kontrolle oder Behandlung
Knieabduktion/dynamischer Knievalgus	NMT – Belastungs- und Bewegungskontrolle in Frontalebene
Tibialer Vorschub	NMT – dynamische Kniebeugen
Tibiale Rotationsbewegungen	NMT – Kontrolle von Bewegungen in Transversalebene und Modifikation des Abbremsens in Sagittalebene
Bodenreaktionskräfte Seitliche Oberkörperbewegungen	NMT – Strategien zur Kraftabsorption NMT – Oberkörperkraft und Kontrolle
Dynamische Fußpronation	Fußorthesen
Ermüdungswiderstand	Kraft- und Konditionstraining

Tabelle 2

Mögliche Kontrollen oder Behandlungen für isolierte neuromuskuläre Risikofaktoren [modifiziert nach Alentorn-Geli et al. 2009], NMT: neuromuskuläres Training.

Neuromuskuläre Risikofaktoren	Mögliche Kontrolle oder Behandlung
Relative Hamstring-Rekrutierung	NMT – Hamstring-Kraft und -Rekrutierung
Hüftabduktionskraft	NMT – Hüftkraft und Rekrutierung
Oberkörperpropriozeption	NMT – Oberkörperkraft und Kontrolle

Präventionsprogramme

Für die Umsetzung der empfohlenen Kontroll- und Behandlungsformen sind spezielle Präventionsprogramme entwickelt worden. Während die Effektivität dieser Programme bei Frauen ausführlich untersucht wurde, gibt es bis heute nur sehr wenige Untersuchungen bei Männern [Caraffa et al. 1996].

Ein erstes Programm dieser Art war 1999 das „Sportmetrics“-Programm von der Cinicinnati Sportsmedicine Research and Education Foundation [Hewett et al. 1999] und war im Wesentlichen für die Vorbereitungsphase einer Saison für eine Dauer von rund 8 Wochen gedacht. Während der Saison sollte nur ein Teil der Übungen ausgeführt werden.

Um nachhaltigere Effekte erzielen zu können, wurden in der Folge Präventionsprogramme für Fußball und Handball entwickelt, die das herkömmliche Aufwärmen ersetzen können und mindestens 1–3-mal wöchentlich durchgeführt werden sollen. Zu diesem Zweck waren diese Programme sportartadäquat aufgebaut. Es handelt sich hierbei im Fußball um das PEP-Programm (Prevent Injury And Enhance Performance [Mandelbaum et al. 2005]) und das Programm „Die 11+“ [F-Marc 2007] sowie im Handball um das Kieler Handball-Präventionsprogramm [Petersen et al. 2005] und das Norwegische Handball-Präventionsprogramm

[Myklebust et al. 2003]. Die Programme enthalten alle Elemente herkömmlichen Aufwärmtrainings, teilweise in verschiedenen Schwierigkeitsstufen vom Aufwärmen über Dehnungsübungen, Kräftelemente, plyometrische Übungen bis hin zu Beweglichkeits- und Balanceübungen sowie speziellen Kniebeugen als zusätzlich präventive Übungen.

Bei Kindern und Jugendlichen wird allgemein die möglichst frühzeitige Aufnahme eines präventiven neuromuskulären Trainings empfohlen, ohne dass bisher Aussagen über die Effektivität vorliegen. Einzig Di-Stephano et al. (2009) haben bisher den Einsatz von Präventionsprogrammen bei Kindern unterschiedlichen

Alters untersucht mit dem Ergebnis, dass jüngere Kinder ein anderes Training benötigen als ältere Kinder. Insofern sollten Präventionsprogramme nicht als Kinder-Ausführungen von den Erwachsenen-Programmen übernommen werden, sondern die Entwicklungsstufen in Pubeszens und Adoleszenz berücksichtigen und an deren Anforderungen und Einschränkungen angepasst sein.

Ziele der Präventionsprogramme

Die Präventionsprogramme nehmen in ihren unterschiedlichen Teilbereichen und Ausrichtungen weit reichende und teilweise überschneidende Ziele in den Focus.

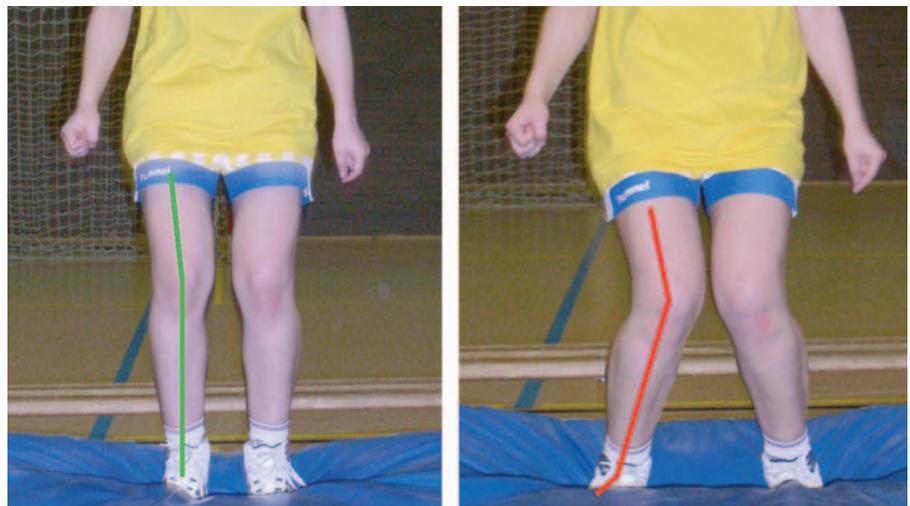


Abbildung 1
Angestrebte richtige Bewegungskörperausführung (links) und zu vermeidende falsche Bewegungskörperausführung (rechts).

Elementarer Bestandteil und wichtiges Erfolgskriterium aller folgenden Trainings- oder Übungsformen ist die sorgfältige und regelmäßige Kontrolle einer korrekten Bewegungsausführung unter bewusster Vermeidung von Körperpositionen und Bewegungsfolgen, die Verletzungen begünstigen könnten. Hierbei stehen insbesondere ein dynamischer Knievalgus, eine auswärtsrotierte Fußstellung oder ein zu aufrechter Oberkörper im Vordergrund. Diese Kontrolle kann durch einen geschulten Trainer oder Physiotherapeuten, mit Einschränkungen aber auch in Partnerarbeit durch den Trainingspartner erfolgen.

Neuromuskuläres Training

Die meisten Übungsformen beinhalten Elemente neuromuskulären Trainings und beabsichtigen positive Effekte im Bereich neuromuskulärer Kontrolle und Adaptation. So soll als ein wesentliches Ziel des Präventionstrainings eine Verbesserung der Sensomotorik bzw. der sensomotorischen Kontrolle angestrebt werden. Darunter wird die Modifikation von Bewegung und Motorik als Reaktion auf und in unmittelbarer Interaktion mit sensorischen Informationen zur Vermeidung von Bewegungsabläufen, die Verletzungen begünstigen, verstanden. Diese Vorgabe wird in vielfältiger Weise durch gezielte Übungen aus den Bereichen Plyometrie, Beweglichkeit bzw. Agilität, Kniebeugen, sowie Sprüngen und Läufen angesprochen.

Die Optimierung und Modifikation der sensomotorischen Kontrolle zielt auf die Veränderung und Optimierung von Reflexantworten als zielgerichtete und schnelle, aber auch unbewusste oder unwillkürliche Reaktion des Körpers zum Schutz vor übermäßigen Belastungen ab. In diesen Bereich gehören auch die verbesserte Voraktivierung

in Erwartung eines kommenden hohen Belastungsreizes sowie die Verbesserung der neuronalen Aktivierungsfähigkeit zum zielgerichteten Abrufen eines größeren und vor allem schnelleren Faserpools zur angemessenen Reaktion auf übermäßige Belastungssituationen. Besonders geeignete Übungsformen hierzu finden sich im Bereich der Plyometrie und des Balancetrainings.

Neuromuskuläres Training zur Optimierung und Modifikation der sensomotorischen Kontrolle zielt aber auch ab auf die bewusste Veränderung von Bewegungsabläufen in der Trainingssituation, um diese Mechanismen danach in automatisierter Form unter Wettkampfbedingungen unbewusst abrufen zu können. Hier steht insbesondere eine gute Sprung- und Landetechnik, aber auch eine gute Körperposition bei Sprüngen und Läufen unter Kontrolle sowohl des Oberkörpers als auch der unteren Extremitäten im Vordergrund der Übungen. Übungsformen hierzu finden sich im Bereich der Plyometrie, der Beweglichkeit und der Kniebeugen.

Balancetraining / Gleichgewichtstraining

Balance- oder Gleichgewichtstraining wird zumeist unter Einsatz von Wackelbrettern, Balance-Matten oder Therapiekreiseln unter Durchführung von Einbeinbewegungen oder Seitbewegungen, teilweise aber auch in komplexeren Übungsformen unter Hinzunahme von Bällen und Trainingspartnern durchgeführt. Aus der Literatur ist mittlerweile bekannt, dass durch diese Übungen insbesondere die sensomotorische Kontrolle des proximalen Gelenkes, bei den angeführten Übungsformen also insbesondere des Sprunggelenkes angesprochen wird [Gruber 2001]. Dies kann eine neuronale Aktivierung der dieses Gelenk fixierenden und führenden Strukturen und vielleicht auch eine Optimierung der Gelenkstellung bewirken. Das positive Ergebnis ist eine Reduzierung der Verletzungsgefahr dieses Gelenkes. Distalere Gelenke wie das Kniegelenk hingegen profitieren kaum von diesen Trainingsformen, es sei denn, das Sprunggelenk würde zuvor z. B. durch einen starren Schuh fixiert.



Abbildung 2

Typische Propriozeptionsübung auf einem Therapiekreiseln im Handball [Petersen et al. 2005].

Aufgrund neuerer Erkenntnisse aus der Motorikforschung ist allerdings zu beachten, dass ein Gleichgewichts- oder Balancetraining nur dann auch zu einer Verbesserung der sportartspezifischen Gleichgewichtsleistung führen kann, wenn die Trainingsübungen möglichst sportartadäquat bzw. techniknah gestaltet sind.

Plyometrics / Plyometrietraining

Das Plyometrietraining bzw. Plyometrics gehen zurück auf das russische Sprung- oder Schocktraining, oft mit Niedersprüngen aus großer Höhe. Der Begriff Plyometrics oder Plyometrie ist zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern *plythein* = steigern oder *plio* = mehr und *metric* = messen und könnte etwa mit messbarer Fortschritt übersetzt werden. Plyometrietraining bezeichnet ein Schnellkrafttraining, das auf den Effekten des Dehnungsreflexes beruht, und wird gerne in Sportarten eingesetzt, in denen Sprintschnelligkeit oder Sprungkraft erforderlich ist. Bezogen auf das Kniegelenk bestehen daher die entsprechenden Übungen aus exzentrisch-konzentrischen Bewegungsabfolgen. Man unterscheidet zudem in intensive und extensive Übungen, wobei den intensiven Übungen die größten Effekte zugeschrieben werden. Intensive Übungsformen finden sich vor allem bei Niedersprüngen oder Sprungfolgen. Ziel des Plyometrietrainings ist die sensomotorische Kontrolle, d. h. im Detail die Optimierung von Reflexantwort, Voraktivierung und neuronaler Aktivierung (s. o.). Übliche Übungsformen sind Niedersprünge aus verschiedenen Höhen sowie verschiedene Richtungssprünge wie Vertikalsprünge, Seitsprünge, Vorwärtssprünge, Scherensprünge in beidbeiniger oder einbeiniger Ausführung.

Besondere Beachtung gilt hierbei einer guten Sprung- und Landetechnik. Wesentliches Element einer solchen Technik ist eine weiche und damit auch möglichst lautlose Landung mit betontem Zeh-zu-Ferse Fußaufsatz, d.h. einem deutlichen Abrollen vom Zeh zur Ferse und unter Vermeidung eines flachen oder zu schnell flachen Fußaufsatzes. Weiter sollten die Knie beim Bodenkontakt in der Frontalebene vorwärts ausgerichtet sein sowie in der Sagittalebene nicht gestreckt, sondern gebeugt sein. Die Brust wiederum sollte sich über den Kniegelenken, aber auf keinen Fall dahinter befinden. Auch hier ist eine regelmäßige Kontrolle der richtigen Bewegungsausführung unerlässlich.

Beweglichkeit / Agilität

Übungsformen zur Beweglichkeit oder Agilität sollten Laufsituationen aus dem Spielgeschehen heraus nachempfinden. Besondere Aufmerksamkeit gilt hier wieder der korrekten Bewegungsabfolge und der Vermeidung ungünstiger Positionen und Bewegungen. Ziel ist es, sportartadäquate Bewegungssituationen bewusst mit dem vermeintlich richtigen Bewegungsablauf zu überlagern. Übungen zu Kniebeugen können einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die richtige Bewegungsausführung für die verschiedenen Sprungformen oder Richtungsläufe vorzubereiten. Unbedingt zu kontrollieren ist hierbei, dass die Knie in Frontalebene vorwärts ausgerichtet sind und sich die Brust über den Kniegelenken befindet. Mit diesen Übungsformen ist die Hoffnung verbunden, dass das im Training automatisierte Bewegungsmuster in der Wettkampfsituation unbewusst abgerufen und so das Verletzungsrisiko reduziert werden kann.

Typische Übungsformen sind Richtungsläufe wie Shuttle-Run, Diagonalläufe und Kniehebeläufe mit vielfältigen Richtungswechseln unter steter Kontrolle, um sicher zu stellen, dass ungünstige Bewegungsabläufe vermieden werden.

Präventionsprogramme – Evidenz

Die Frage nach der Evidenz von Programmen zur Prävention von VKB-Verletzungen lässt sich nach Sichtung der existierenden Reviews (s. Tab. 3) inzwischen, wenn auch mit deutlicher Zurückhaltung, zumindest teilweise beantworten. Folgt man der anerkannten Cochrane-Klassifizierung, dann beinhalten zwar alle vorliegenden Reviews zumindest eine ausreichend große, methodisch hochwertige, randomisiert kontrollierte Studie (RCT) und erreichen damit nominell Evidenzlevel Ib. Der neueste Review von Alentorn-Geli et al. (2009) und damit auch die Gesamtzusammenfassung der Ergebnisse erreicht nach dieser Klassifizierung nominell sogar Evidenzlevel Ia, weil wenigstens ein systematischer Review auf der Basis methodisch hochwertiger kontrollierter, randomisierter Studien (RCTs) einbezogen ist.

Insgesamt weisen jedoch alle in den Reviews angeführten Studien systematische Mängel auf, die eine zurückhaltende Bewertung der Evidenz und Effektivität von Präventionsprogrammen nahelegen. Einer der Hauptgründe hierfür liegt in der bewusst praxisnahen Durchführung der Präventionsprogramme im normalen Trainings- und Spiel- bzw. Meisterschaftsbetrieb zumeist hochklassiger Mannschaften. Diesem äußeren Zwang folgend lässt sich, anders als bei streng wissenschaftlich ausgerichteten Kriterien und Studiendesigns üblich, keine saubere Trennung zwischen Interventions- und Kontrollgruppe wie etwa in der Reha-

Tabelle 3

Vorliegende Reviews (chronologisch) zur Prävention von VKB-Rupturen, Anzahl der einbezogenen Studien insgesamt sowie Anzahl der darin enthaltenen RCT-Studien, grundsätzliche Evidence-Level (Empfehlungen nach Cochrane) ohne Berücksichtigung systematischer Mängel (s. Text).

Übersichtsarbeiten	Studien / RCT-Studien	Evidence (Cochrane)
Petersen et al. 2005 ^{1,2}	7 / 1	Ib
Griffin et al. 2006 Silvers & Mandelbaum 2007	11 / 3	Ib
Hewett et al. 2006 ^{1,2}	6 / 1	Ib
Padua & Marshall 2006	9 / 2	Ib
Alentorn-Geli et al. 2009 ^{1,2}	10 / 4	Ia
Insgesamt	16 / 6	Ia

bilitation nach VKB-Rekonstruktion realisieren. Die durchgeführten Präventionsprogramme stellen nur einen kleinen Teil des normalen Trainingsprogrammes im laufenden Trainingsbetrieb der in die Untersuchungen einbezogenen Mannschaften dar. Die Effekte der Präventionsprogramme unterliegen somit vielfältigen weiteren (physischen, psychischen und sozialen) Einflüssen im Rahmen des normalen Spiel- und Meisterschaftsbetriebes, die sich kaum herauspartialisieren lassen. Auch die in einigen wenigen Studien vorgenommene Randomisierung leidet massiv unter diesen Einflüssen.

Infolgedessen lässt sich also nicht mit Sicherheit klären, welchen Anteil die durchgeführten Präventionsprogramme an einer etwaigen Verletzungsreduktion haben. So sind die Verletzungsraten natürlich in hohem Maße auch von der individuellen Wettkampfsituation abhängig. Wenn eine Differenz in der VKB-Verletzungsrate von z. B. 41% zwischen Interventions- und Kontrollgruppe berichtet wird, dann handelt es sich trotz großer einbezogener Populationen meist nur um zahlenmäßig geringe Differenzen, die zudem oft-

mals nicht statistisch signifikant werden [z. B. Gilchrist et al. 2008], so dass letztlich eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Ursachen und Effekte verbleibt. Es bleibt auch offen, wie stark sich spezielle Präventionsprogramme vom normalen Training überhaupt abheben, d.h. es ist nicht zu klären, ob die normalen Trainingsprogramme nicht bereits bewusst oder unbewusst präventive Elemente enthalten und somit das Ergebnis beeinflussen. Auch die Überlagerung mit anderen gemeinsamen oder individuellen Trainingsmaßnahmen in der Zusammenarbeit der Sportler mit Vereinen und Verbänden lässt sich in seiner Interaktion mit präventiven Effekten nicht realistisch abschätzen.

Hinzu kommt, dass auf der einen Seite die Überzeugung weit verbreitet ist, die Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen genau zu kennen, obwohl die Datenbasis hierfür noch vergleichsweise schwach ist, auf der anderen Seite aber zu wenig über das individuelle Risiko eines Sportlers bekannt ist. Die Studien zur Effektivität von Präventionsprogrammen begnügen sich einzig mit dem Vergleich der Verletzungs-

häufigkeiten, nicht aber mit den etwaigen Modifikationen der vermeintlichen Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen insgesamt oder individuell. Zudem ist bisher noch kein zuverlässiges Instrumentarium zur individuellen Risikobewertung und zur Einschätzung der Veränderungen durch Präventionsprogramme vorhanden.

Insgesamt muss es also zunächst aufgrund der genannten zahlreichen Unsicherheiten bei einer vorsichtigen Einschätzung der in der Folge genannten Effekte von Präventionsprogrammen bleiben.

Die Reviews (vgl. Tab. 3) weisen insgesamt eine starke Evidenz dafür auf, dass VKB-Präventionsprogramme das Verletzungsrisiko zumindest nicht erhöhen, also keine negativen Auswirkungen haben. Moderate bis starke Evidenz findet sich dafür, dass neuromuskuläres Training bei weiblichen Sportlerinnen die VKB-Verletzungsrate reduzieren kann. Und lediglich moderate Evidenz liegt dafür vor, dass Präventionsprogramme insgesamt die Inzidenz von VKB-Verletzungen reduzieren können.

Aufgrund unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen in den verschiedenen analysierten Interventionsstudien zur Prävention von VKB-Verletzungen konnten in den vorliegenden Reviews zumindest ansatzweise Einzelkomponenten voneinander abgegrenzt und die folgenden Detailergebnisse herausgearbeitet werden.

Grundsätzlich scheinen demnach Mehrkomponenten-Programme bestehend aus Elementen wie Aufklärung, Bewegungskorrektur, Sprungtraining und Balancetraining überlegen gegenüber Programmen, die nur Einzelkomponenten einsetzen.

Von den Einzelkomponenten weist die Gruppe der Plyometrics / Plyometrietaining die größte Evidenz auf und scheint mit Abstand am wirkungsvollsten VKB-Verletzungen vor-

beugen zu können. Einschränkend gilt dies aber nur für Übungsformen mit hoher Intensität, also Sprünge und explosiv-reaktive Übungen. Demgegenüber können Übungen mit niedriger Intensität wie z. B. Kniebeugen, die sich teilweise auch unter der Bezeichnung Plyometrie-training finden, keine wesentlichen Effekte aufweisen. Gleichzeitig kann ein Plyometrietraing hoher Intensität natürlich auch zur Verbesserung der Sprungkraft, der Explosivkraft sowie der Lauf- und Sprungökonomie beitragen und so das Leistungsniveau verbessern.

Die Einzelkomponente Technik-Feedback, die auf Bewusstmachen von Risiken und Mechanismen, deren Visualisierung und Verbalisierung aufbaut, hat bisher nur im Bereich alpiner Skilauf zu einer deutlichen Reduktion der Verletzungsrate geführt [Ettlinger et al. 1995], alle weiteren isolierten Interventionen auf dieser Basis haben keine Effekte zeigen können.

Trainingsformen, die im Wesentlichen auf Balance und ein Training zur Oberkörperstabilität setzen, konnten nur in einem Fall [Caraffa et al. 1996] eine Reduktion der Verletzungsrate aufzeigen, während in allen anderen Fällen kein oder sogar ein negativer Effekt [Södermann et al. 2001] zu finden war. Die bestehende Unsicherheit hinsichtlich der Effektivität könnte aber von einem weiteren Effekt überlagert werden. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass durch eine Randomisierung mit zunehmender Gruppengröße weitgehend homogene Gruppen gebildet werden. Für klarere Aussagen wäre jedoch eine Gruppierung hinsichtlich des individuellen Risikos für VKB-Verletzungen, das zuvor abzuschätzen wäre, erforderlich.

Ein additiv eingesetztes Krafttraining kann die präventiven Wirkungen eines Mehrkomponenten-Programmes verstärken helfen.

Insbesondere die Widerstandsfähigkeit der Muskeln, Sehnen und Bänder, aber auch des Knochens gegenüber äußerer Belastung können durch Adaptationseffekte verbessert werden. [Hewett et al. 2006²; Alentorn-Geli et al. 2009²]

Zusammenfassend scheint ein neuromuskuläres Training allgemein bei Frauen und Männern besonders effektiv zur Prävention von VKB-Verletzungen. Insbesondere Plyometrie-training kann in Kombination mit anderen Trainingsübungen zur Kräftigung, Balance und Propriozeption, Körperkontrolle, Dehnung und Entscheidungsfindung die problematischen Landekräfte und Valgus- bzw. Varus-Momente nach Sprüngen oder langen Schritten reduzieren und gleichzeitig die effektive Muskelaktivierung verbessern helfen. Zudem kann ein Plyometrietraing wesentlich zu einer Leistungsverbesserung der Komponenten Sprunghöhe, Kraft, Explosiv- und Sprungkraft, Geschwindigkeit, Ausdauer und Lauf- und Sprungökonomie beitragen und so das Leistungsniveau verbessern. Bei allen Ergebnisse ist einschränkend anzumerken, dass sich die meisten Studien mit den Effekten bei weiblichen Sportlerinnen beschäftigen und ein großer Nachholbedarf bei Studien zu männlichen Sportlern besteht [Alentorn-Geli et al. 2009²].

Individuelle Risikoabschätzung – Screening-Test – Risiko-Score

Wesentlicher Nachholbedarf besteht noch in der Frage nach einem standardisierten Verfahren zur Abschätzung des individuellen Risikos einer Sportlerin oder eines Sportlers. Ein solches Verfahren stellt eigentlich die Basis für die Optimierung und Individualisierung, aber auch für den Nachweis der Wirkungsweise und Effektivität von Präventionsmaßnahmen dar.

Während allgemein von einem wesentlich größeren Risiko von Frauen für VKB-Verletzungen ausgegangen wird, zeigen Untersuchungen eines vermeintlichen Hauptrisikofaktors „dynamischer Knievalgus“ neben einem zwar erheblich günstigeren Mittelwert für Männer vor allem auch eine weite Streuung sowohl innerhalb als auch zwischen den Geschlechtern und Individuen [Jöllnbeck et al. 2010]. Demzufolge wäre ein Teil der beteiligten Frauen nicht der Hochrisikogruppe zuzuordnen, ebenso wie ein Teil der Männer in ebendiese Gruppe hineingehört. Das unterstreicht die Vermutung, dass das Risiko für VKB-Verletzungen sehr individuell ist und nur ein geeignetes Testverfahren hier Abhilfe leisten kann. Um dieses möglichst flächendeckend einsetzen zu können, muss es einfach, schnell und mit geringem Aufwand einsetzbar sein und die wesentlichen biomechanischen Bewegungsmerkmale, die als Hochrisikofaktoren gelten, erfassen und in einem geeigneten Risiko-Score zusammenfassen können.

Hierzu existieren bisher 2 Ansätze, ein „Landing Error Scoring System (LESS)“ von Padua et al. (2009) mit 12 verschiedenen Items zur Landung nach Drop Jump (Abb. 3) sowie ein Screening-Test (Abb. 4) von Jöllnbeck et al. (2010), beide auf Basis von Videoaufnahmen in Frontal- und Sagittalebene von Drop-Jumps unterschiedlicher Ausführung. Im Focus beider Tests stehen biomechanische Bewegungsmerkmale wie der dynamische Knievalgus/-varus, die Fußstellung, der Kniewinkel und die Oberkörperposition im Moment des Bodenkontaktes sowie in tiefster Beugstellung. Ein Abgleich mit weiteren biomechanischen Risikofaktoren wie den Bodenreaktionskräften oder den EMG-Aktivitäten steht noch aus. Orthopädische Untersuchungen zu Einschätzung von Beinachsen, Fußstellungen, Fehlstellungen oder Muskelverkürzungen könnten diese Tests ergänzen.

Abbildung 3
LESS (Landing Error Scoring System), hier Einstufung eines dynamischen Knievalgus beim Bodenkontakt nach Drop Jump [modifiziert nach Padua et al. 2009].

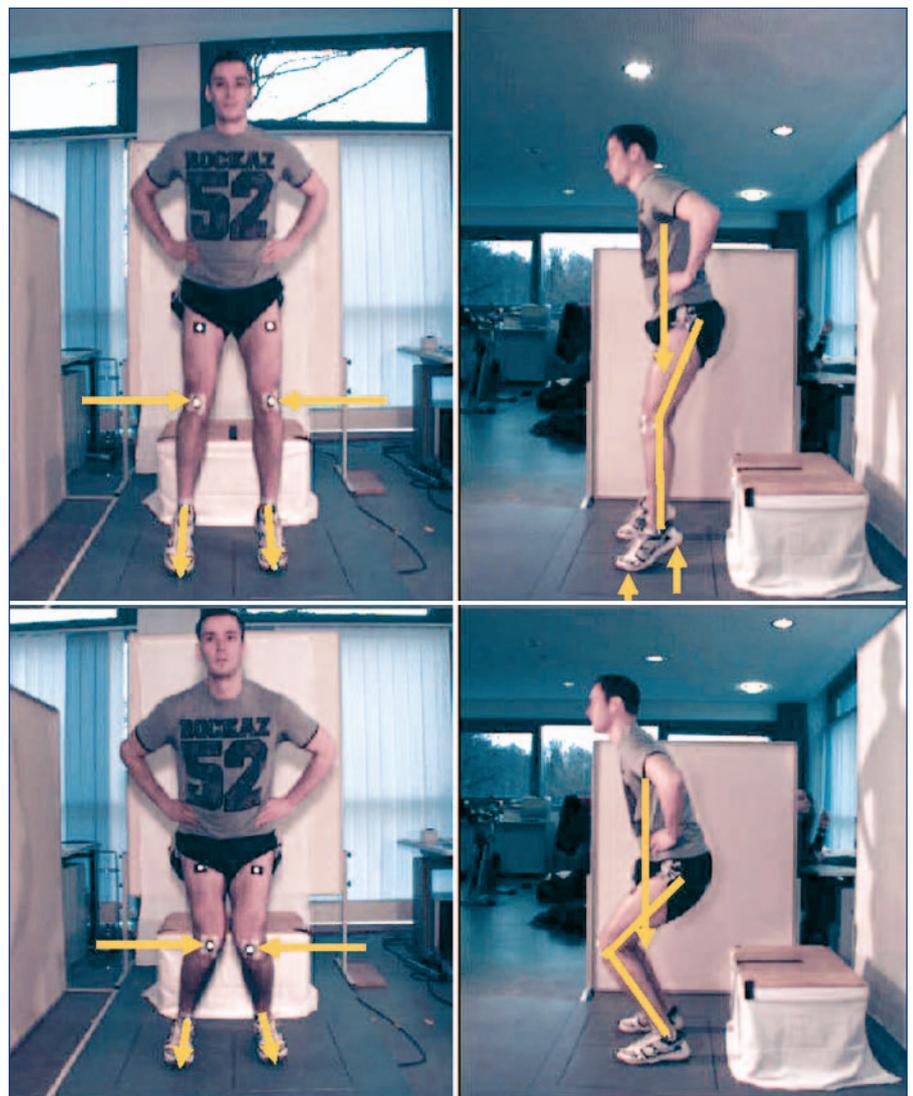
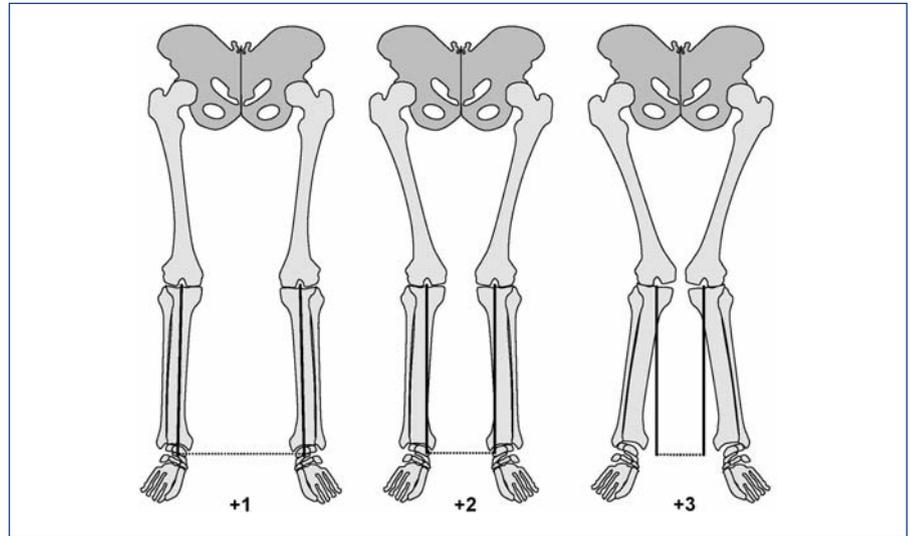


Abbildung 4
Screening-Test zur Abschätzung des Risikos für VKB-Verletzungen, Landung nach Drop Jump im Moment des ersten Bodenkontaktes (oben) und in tiefster Beugestellung (unten), links Frontalebene: Bestimmung von Hüft-, Knie- und Fußabstand sowie Fußstellung, rechts Sagittalebene: Bestimmung von Knie- und Hüftwinkel sowie Oberkörperposition und Fußstellung [Jöllnbeck et al. 2010]

Präventionsprogramm – Empfehlungen

Grundsätzlich scheint ein intensives Präventionstraining während der Saisonvorbereitung in Verbindung mit einem saisonbegleitenden Präventionstraining möglichst 3-mal wöchentlich unter physiotherapeutischer Anleitung und Kontrolle besonders zu empfehlen. Auch wenn bisher kein standardisiertes Programm existiert, so scheint aktuell im Bereich Fußball das Präventionsprogramm der FIFA „Die 11+“ [F-Marc 2007] als Weiterentwicklung des PEP-Programmes von Mandelbaum et al. (2005) alle wesentlichen Punkte abzudecken und ist in seiner Sportartspezifik besonders empfehlenswert. Eine deutliche Reduktion der Verletzungsrate konnte kürzlich nachgewiesen werden [Soligard et al. 2008]. Im Bereich Handball sollte in Anlehnung an das Programm „Die 11+“ eine entsprechende Überarbeitung des Kieler-Handball-Präventions-Programmes [Petersen et al. 2005] bzw. des Norwegischen Handball-Präventions-Programmes [Myklebust et al. 2003] überdacht werden. Parallel zur Durchführung eines Präventionsprogrammes scheint die regelmäßige Erhebung des individuellen Risikos eines Sportlers mittels eines geeigneten Scores bedeutsam, um die Entwicklung des Sportlers dokumentieren und um ggf. rechtzeitig entsprechende Trainingsmaßnahmen einleiten zu können.

Insbesondere im Leistungs- und Hochleistungssport obliegt es dem Sportmediziner und/oder Physiotherapeuten, die Risiken und Verletzungsmechanismen von VKB-Verletzungen aufzuzeigen und die Bedeutung und Sinnhaftigkeit der Prävention davor bei Trainern und Spielern, aber auch beim Management herauszustellen. Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, dass

sich Präventionsprogramme gerade im Hochleistungssport nicht unbedingt in einem merklichen Leistungsfortschritt niederschlagen, vermeintlich schwer in den Trainingsrhythmus zu integrieren sind und die Effektivität nicht bewusst zu Tage tritt. Ohne die Akzeptanz von Trainern und auch Spielern wird sich ein Präventionsprogramm nicht auf Dauer realisieren lassen. Es ist das Bewusstsein und die Erkenntnis zu vermitteln, dass es sich hierbei lediglich um 20 Minuten Einsatz 3-mal wöchentlich bzw. insgesamt nur 1 Stunde pro Woche handelt, die bei regelmäßiger Durchführung die Gefahr für VKB-Verletzungen reduzieren und massive sportliche wie finanzielle Konsequenzen für Spieler und Verein abwenden kann.

Besondere Bedeutung erlangt die Durchführung eines VKB-Präventionsprogrammes auch im Rahmen der Rehabilitation nach VKB-Rekonstruktion wie nach konservativer Behandlung. Je nach zugelassener Belastung sollten die verschiedenen Komponenten frühzeitig in den Rehabilitationsprozess eingearbeitet und nach Wiedererlangung der vollen Sportfähigkeit komplett als elementarer Bestandteil des Trainings fortgeführt werden, um die deutlich erhöhte Gefahr einer Re-Ruptur bzw. einer contralateralen VKB-Ruptur zu reduzieren.

Ausblick

Letztendlich bleibt zu konstatieren, dass präventive Maßnahmen immer nur in der Hoffnung auf die Erzielung positiver Resultate ausgerichtet bleiben werden. Eine absolute Sicherheit wird jedoch niemals gewährleistet werden können. Insofern können die vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse zu Risikofaktoren, Verletzungsmechanismen und Präventionsmaßnahmen ebenso wie die ersten Testverfahren zur individuel-

len Risikobewertung die Problematik von VKB-Rupturen eingrenzen und bewerten helfen, der Nachweis der Effektivität jedoch wird auf absehbare Zeit schwierig bleiben. Hier sind weitere Forschungsaktivitäten dringend erforderlich.

Insgesamt ist die Effektivität von Präventionsprogrammen bei weiblichen Sportlern mit den genannten Einschränkungen bereits gut evaluiert. Allerdings ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass ein Präventionsprogramm, das im Wesentlichen auf Frauen zugeschnitten ist, auch für Männer oder gar Mädchen und Jungen im Kindes- und Jugendalter gleichermaßen wirksam ist. Insofern besteht bei männlichen Sportlern wie bei Kindern und Jugendlichen noch ein großer Forschungsbedarf.

In Anbetracht der aus den USA berichteten großen Fallzahlen muss zudem dringend genauer untersucht werden, warum es gerade bei Jugendlichen in der Pubeszenz und Adoleszenz zu einer explosiven Zunahme der VKB-Verletzungen kommt. Hier sind die Hintergründe aufzudecken in der Hoffnung, dass sich wesentliche Kriterien für ein alters- und geschlechtsadäquates Präventionsprogramm finden und umsetzen lassen.

Literatur

- Alentorn-Geli E, Myer GD, 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 (7), 705–729.
- Alentorn-Geli E, Myer GD, 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 (8), 859–879.
- Bahr R, Krosshaug T, Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* (2005), 39, 324–329.

- Caraffa A, Cerulli G, et al., Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (1996), 4 (1), 19–21.
- DiStefano LJ, Padua DA, et al., Influence of Age, Sex, Technique, and Exercise Program on Movement Patterns After an Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Program in Youth Soccer Players. *Am J Sports Med* (2009), 37 (3), 495–505.
- Ettliger C, Johnson R, et al., A Method to Help Reduce the Risk of Serious Knee Sprains Incurred in Alpine Skiing. *Am J Sports Med* (1995), 23, 531–537.
- F-MARC, The 11+: Football For Health – Complete Warm-Up, FIFA, Zürich, CH (2007), <http://f-marc.com/11plus/index.html>, Zugriff: 02. 08. 2010.
- Gilchrist, J, Mandelbaum BR, et al., A Randomized Controlled Trial to Prevent Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Collegiate Soccer Players. *Am J Sports Med* (2008), 36, 1476–1483.
- Griffin LY, Albohm MJ, et al., Understanding and Preventing Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries – A Review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005. *Am J Sports Med* (2006), 34, 1512–1532.
- Gruber M (2001) Die neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks vor und nach einem spezifischen sensomotorischen Training beim unverletzten Sportler. Diss. Univ. Stuttgart, <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2001/954/pdf/gruber.pdf>, Zugriff 02. 08. 2010.
- Hewett TE, Myer GD, et al., Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes – Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *Am J Sports Med* (2006), 34 (2), 299–311.
- Hewett TE, Ford KR, et al., Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med* (2006), 34 (3), 490–498.
- Hewett TE, Lindenfeld T, et al., The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *Am J Sports Med* (1999), 27 (6), 699–705.
- Jöllnbeck T, Neuhaus D, et al., Screening Test for the Potential Risk of ACL Rupture of Female and Male Soccer Players. In: R Jensen, W Ebben, et al., Proceedings of the 28th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, MI: Northern Michigan University Press (2010), 311–314.
- Karlsson J, ACL injuries: unanswered questions – are there any solutions? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2010), 18 (3), 275–276.
- Lambson RB, Barnhill BS, Higgins RW, Football Cleat Design and Its Effect on Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Three-Year Prospective Study. *Am J Sports Med* (1996), 24 (2), 155–159.
- Mandelbaum BR, Silvers HJ, et al., Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med* (2005), 33 (7), 1003–1010.
- McDevitt ER, Taylor DC, et al., Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, multicenter study. *Am J Sports Med* (2004), 32 (8), 1887–1892.
- McLean SG. The ACL injury enigma: we can't prevent what we don't understand. *J Athl Train*. (2008), 43 (5), 538–540.
- Myklebust GL, Engebretsen L, et al., Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* (2003), 13 (2), 71–78.
- Olsen O, Myklebust G, et al., Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball. *Am J Sports Med* (2004), 32, 1002–1012.
- Orchard J, Seward H, et al., Rainfall, evaporation and the risk of non-contact anterior cruciate ligament injury in the Australian Football League. *Med J Aust* (1999), 170 (7), 304–306.
- Padua DA, Marshall SW, Evidence Supporting ACL-Injury-Prevention Exercise Programs: A Review of the Literature. *Athletic Therapy Today* (2006), 11 (2), 11–23.
- Padua DA, Marshall SW, et al., The Landing Error Scoring System (LESS) Is a Valid and Reliable Clinical Assessment Tool of Jump-Landing Biomechanics. *Am J Sports Med* (2009), 37 (10), 1996–2002.
- Petersen W, Braun C, et al., A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orth Tr Surg* (2005), 125, 614–621.
- Petersen W, Rosenbaum D, et al., Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Dt Z Sportmed* (2005), 56 (6), 150–156.
- Petersen W, Zantop T, et al., Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 2: Präventionsstrategien und Präventionsprogramme. *Dt Z Sportmed* (2005), 56 (6), 157–164.
- Renstrom, P., A. Ljungqvist, et al., Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med* (2008), 42, 394–412.
- Silvers H, Mandelbaum B., Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Br J Sports Med* (2007), 41, 52–59.
- Söderman K, Alfredson H, et al., Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2001).
- Soligard T, Myklebust G, et al., Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal* (2008), Online First.
- Wright RW, Fetzter GB, Bracing after ACL reconstruction: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res* (2007), 455, 162–168.

VORDERES KREUZBAND

SPIELFELDBETREUUNG

*Holger Schmitt, Jürgen Freiwald, Martin Engelhardt, Klaus Dann,
Michael Krüger-Franke, Hermann Mayr, Alli Gokeler, Oliver Miltner*

Betrachtet man die aktuelle Literaturlage zum Thema ärztliche Spielfeldbetreuung, so finden sich nur wenige wissenschaftliche Studien, die sich mit derartigen Inhalten auseinandergesetzt haben. Erfahrungswerte werden von Experten vermittelt und münden in Empfehlungen, die von Fachgesellschaften ausgegeben werden. Grund hierfür ist sicherlich zum einen die große Variabilität hinsichtlich der Anforderungen an die medizinische Betreuung in den verschiedenen Sportarten und -disziplinen auf Grund der unterschiedlichen Verletzungssituationen und -gegebenheiten, zum anderen auch die unterschiedlichen Voraussetzungen, die verletzte Sportler mitbringen. Es ist daher unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten nahezu unmöglich, Studien aufzulegen, die diesen Ansprüchen in allen Belangen gerecht werden und zuverlässige Daten liefern. Im Folgenden werden Verhaltensrichtlinien zusammengetragen, die anlässlich eines Expertenmeetings führender Sportorthopäden und Sporttraumatologen der deutschsprachigen Länder vor dem Hintergrund aktueller wissenschaftlicher Daten erhoben wurden.

Voraussetzungen für den Sportarzt/Physiotherapeuten (Team consensus statement AJSM 2000)

Der medizinische Betreuer einer Mannschaft oder auch einzelner Sportler sollte idealerweise über eine eigene Erfahrung in der Sportart verfügen, in der er sportmedizinisch aktiv ist. Ist dies nicht der Fall, müssen sportartspezifische Kenntnisse erworben werden. Der medizinische Betreuer sollte somit in der Lage sein, die Belastungen, die in der ausgeübten Sportart auf den Bewegungsapparat zu kommen, abschätzen und Verletzungsgefahren erkennen zu können. Auch zur Rückführung eines Sportlers in die gewählte Sportart sind detaillierte Kenntnisse des Trainingsaufbaus und der biomechanischen Bewegungsabläufe er-

forderlich. Abhängig von der Leistungsstärke und Intensität der sportlichen Aktivität ist eine medizinische Begleitung sowohl bei Trainingsmaßnahmen als auch bei Wettkämpfen sinnvoll. Um eine optimale Betreuung der Sportler gewährleisten zu können, sollte der Betreuer alle in seinen Verantwortungsbereich zählenden Sportler persönlich und insbesondere ihren individuellen Gesundheitsstatus und ihre Krankheitsvorgeschichte kennen. Hierzu ist es erforderlich, sich zu Beginn der Betreuungsphase in Einzelgesprächen mit dem Athleten zu beschäftigen. Vorbestehende und bereits abgelaufene Krankheiten, Verletzungen und Beschwerden müssen erfragt werden. Auch eine körperliche Untersuchung (sportorthopädische Untersuchung, Mayer 2010) ist durchzuführen, um individuelle Risi-

kofaktoren zu erkennen und bei der Betreuung zu berücksichtigen. Darüberhinaus muss der Betreuer im Falle einer Verletzung (hier Kniegelenkverletzung) über eine Infrastruktur verfügen, die es ihm erlaubt, schnell und sachkundig die nach einer Verletzung und ihrer Akutversorgung erforderliche weitere Diagnostik und Therapie einzuleiten. Eine interdisziplinäre Interaktion mit anderen Disziplinen (Sportmedizin, Sportwissenschaft, anderen Fachärzten) ist in vielen Fällen notwendig.

Neben der medizinischen Versorgung von Verletzungen und Überlastungsschäden soll der Sportarzt auch in der Lage sein, nach Verletzungen und/oder Operationen den Sportler in der Rehabilitation zu betreuen und ihn in Kooperation mit dem Physiotherapeuten und dem Trainer wieder zu seiner Sportart zurückzuführen. Dazu ist die Kenntnis der vorliegenden Verletzung, daneben auch Details der stattgehabten Operation erforderlich. Sollte die Operation, wie in den meisten Fällen üblich, von einem Fachkollegen durchgeführt worden sein, ist eine Rücksprache mit dem Operateur zu empfehlen und zusätzlich auch eine Kopie des Operationsberichtes zur Dokumentation und der schriftlichen Bestätigung der postoperativen Rehabilitation zu besorgen.

Auch wenn im Folgenden Verletzungen des Kniegelenkes im Vordergrund des Interesses stehen, so sei darauf hingewiesen, dass die Spielfeldbetreuung durch den Mannschaftsarzt Kenntnisse weit über den Bewegungsapparat hinaus erforderlich macht. Die von der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention angebotene Weiterbildungsbezeichnung Sportmedizin geht in ihrem Kursangebot auf die verschiedenen Disziplinen betreffenden Anforderungen eines „Sportarztes“ ein.

Beurteilung eines Sportlers

Insbesondere bei der kurzfristigen Übernahme der medizinischen Betreuung als auch bei der Betreuung neuer dem Betreuer noch nicht bekannter Sportler ist eine orthopädisch/traumatologische Untersuchung und Beurteilung des Bewegungsapparates (hier der Kniegelenke) vor Aufnahme der sportlichen Aktivität empfehlenswert. Zum einen muss bekannt sein, ob die Kniegelenke bereits durch eine Vorverletzung bzw. Voroperation in ihrer Funktion eingeschränkt sind. Achsverhältnisse und der Gelenkstatus mit Beweglichkeit und Stabilität der Gelenke sollten bekannt sein, um im Falle einer Verletzung die akute Veränderung dieser Parameter erkennen zu können. Auch der Knorpelstatus der Kniegelenke ist insbesondere bei Vorverletzungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Bedeutung. Bei professionellen Sportlern ist eine Transparenz nicht in allen Fällen auch vom Sportler gewünscht, da er in Einzelfällen Konsequenzen bezüg-

lich der eigenen sportlichen Karriere befürchtet. Eine günstige Gelegenheit zur ärztlichen Untersuchung eines Kniegelenkes ergibt sich im Rahmen einer physiotherapeutischen Behandlung. Das Vertrauensverhältnis Athlet – Arzt – Physiotherapeut wird hiermit intensiviert werden und ein möglichst lückenloser Informationsaustausch kann stattfinden. Die Behandlung kann somit optimiert werden.

Bei allen ärztlichen Tätigkeiten ist auch an die Dokumentationspflicht zu denken. Sowohl bei der Beurteilung der Befunde am Bewegungsapparat als auch bei diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen besteht eine Dokumentationspflicht der Tätigkeiten ärztlichen Handelns. Es hat sich als hilfreich erwiesen, Athletendateien anzulegen, in denen Befunde und Behandlungen dokumentiert werden können. Insbesondere wenn mehrere Betreuer eine Mannschaft unterstützen, ist der Informationsaustausch bei korrekt und lückenlos durchgeführter Dokumentation sehr hilfreich.

Beurteilung der Kniegelenke des Sportlers

Vorgeschichte inkl. Voroperationen und Vorbehandlung

Frage nach allgemeinen Gelenkerkrankungen und Infekten, Allergien und Medikamenteneinnahme

Aktuelle Beschwerdesituation (*Schmerzen wann* – in Zusammenhang mit sportlicher Aktivität; *Schmerzen wo* – in welchen Gelenkabschnitten, *Ergussbildung oder Schwellung, Bewegungseinschränkungen; subjektives Instabilitätsgefühl?*)

Achsverhältnisse

Beurteilung Beweglichkeit durch Sportarzt

Beurteilung Stabilität durch Sportarzt

Beurteilung Druck- und Bewegungsschmerzhaftigkeit durch Sportarzt

Beurteilung Muskelverhältnisse (Dysbalancen) durch Sportarzt

wenn möglich, Beurteilung des Knorpelstatus (intraoperative Befunde bei Voroperationen, MRT)

Maßnahmen bei einer Akutverletzung des Kniegelenkes

Der medizinische Betreuer soll, soweit das möglich ist, aufmerksam die sportlichen Aktivitäten seiner Sportler beobachten, um zum einen Verletzungsmechanismen erfassen zu können, zum anderen die körperliche Verfassung der Sportler (z. B. Ermüdung) erkennen zu können (Scotney 2010). In vielen Fällen ereignen sich Kniegelenkverletzungen ohne Gegnerkontakt. Bei Gegnerkontakt kann die Richtung, aus der ein Impuls auf das verletzte Kniegelenk eingewirkt hat, in der Diagnose der Verletzung hilfreich sein. Verschiedene sog. exogene, d. h. von außen einwirkende Faktoren können für das Auftreten einer Kniegelenkverletzung verantwortlich sein. Hierzu zählen z. B. das Sportgerät, die Schuhe, die Bodenbeschaffenheit und das Wetter. Hat sich ein Sportler eine Knieverletzung zugezogen, muss der Betreuer möglichst schnell die Situation beurteilen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in Wettkampfsituationen je nach Sportart auf eine Eingriffserlaubnis durch den Schiedsrichter geachtet werden muss. Während der Sportler angesprochen wird, um sich die subjektiven Beschwerden und gegebenenfalls auch das Unfallgeschehen schildern zu lassen, kann bereits eine Inspektion des Gelenkes erfolgen. Achsabweichungen als Hin-

weis auf dislozierte Frakturen bzw. eine akute Ergußbildung bzw. Schwellung können beobachtet werden. Sofern nicht sichere Zeichen einer Fraktur festzustellen sind (Dislokation, abnorme Beweglichkeit, Knirschen der Bruchstelle, Frakturspalt im Röntgenbild), sollte die weitere klinische Untersuchung zum Ausschluß einer Kniebandverletzung folgende Schritte und Reihenfolge beinhalten. Ist der Sportler nicht in der Lage, das Knie nahezu frei zu bewegen, soll als erster manueller Untersuchungsschritt der Lachman-Test zur Beurteilung der anterioren Instabilität erfolgen. Auch ein Hinweis für eine Schädigung des hinteren Kreuzbandes kann so gewonnen werden. Im Anschluss sollte die Druckschmerzhaftigkeit lateral und posterolateral untersucht werden, danach das Vorhandensein einer lateralen Instabilität. Auf Grund der erheblichen Schmerzhaftigkeit bei Verletzungen der medialen Strukturen sollte am Unfallort eine Überprüfung der Druckschmerzhaftigkeit und Instabilität medial am Ende des Untersuchungsganges stattfinden. Werden diese Strukturen als erste klinisch diagnostische Maßnahme durchgeführt, ist häufig eine weitere Untersuchung der übrigen Bandstrukturen des Kniegelenkes auf Grund einer muskulären Anspannung im Sinne einer Abwehrreaktion nicht mehr möglich.

Sobald einer dieser Faktoren festgestellt werden kann, ist eine Weiterführung der sportlichen Aktivität nicht zu unterstützen (Abb. 1 Schema). Der Sportler kann je nach Ausprägung der Befunde (z. B. bei nur leichter Druckschmerzhaftigkeit, im übrigen aber unauffälliger Untersuchung) kurzfristig aus dem sportlichen Geschehen zurückgezogen werden und bei Bagatelverletzungen nach erneuter Beurteilung des Kniegelenkes und dann reizfreier Situation gegebenenfalls auch wieder seine sportliche Aktivität aufnehmen. Ist das Kniegelenk frei beweglich, ist es objektiv und subjektiv stabil und nicht mehr schmerzhaft, kann der Sportler seine Aktivität in vielen Fällen fortsetzen. Im Zweifel ist in jedem Fall eine Sportpause zu empfehlen.

Die Beanspruchung der Kniegelenke ist in den einzelnen Sportarten sehr unterschiedlich. Bei geradlinigen Belastungen wie z. B. dem Joggen werden die vorderen Kniegelenkabchnitte (Patella und Streckapparat) vor allem exzentrisch belastet, die Belastung der das Kniegelenk stabilisierenden Bänder ist eher als niedrig anzusehen. Eine ähnliche Situation stellt sich beim Radfahren dar. Auch hier wird insbesondere die Kniescheibenrückfläche belastet, der Bandapparat nur sehr gering. Vergleicht man diese Belastungsform mit der bei Ballsportarten, so finden sich hier vollkommen andere Voraussetzungen. Gerade bei schnellen Richtungsänderungen wirken erhöhte Kräfte auch auf die stabilisierenden Bandstrukturen und auch die Kniebinnenstrukturen wie Meniskus und Knorpel, sodass nach einer vorderen Kreuzbandverletzung in der Rehabilitation relativ frühzeitig mit Radfahren und auch Laufen begonnen werden kann, die sportart-spezifischen Belastungen in den Ballsportarten aber erst zu einem Zeitpunkt möglich werden, zu dem

Empfohlene Reihenfolge klinischer Untersuchungsschritte bei Kniegelenksverletzung (ohne sichere Frakturzeichen)

Lachman-Test
Hintere Schublade
Druckschmerz lateral und posterolateral
Varusstress
Druckschmerz medial
Valgusstress

Befunderhebung am Unfallort

Infraartikulärer Erguss bzw. Schwellung
Bewegungseinschränkung (aktiv bzw. passiv)
Instabilität
Schmerz

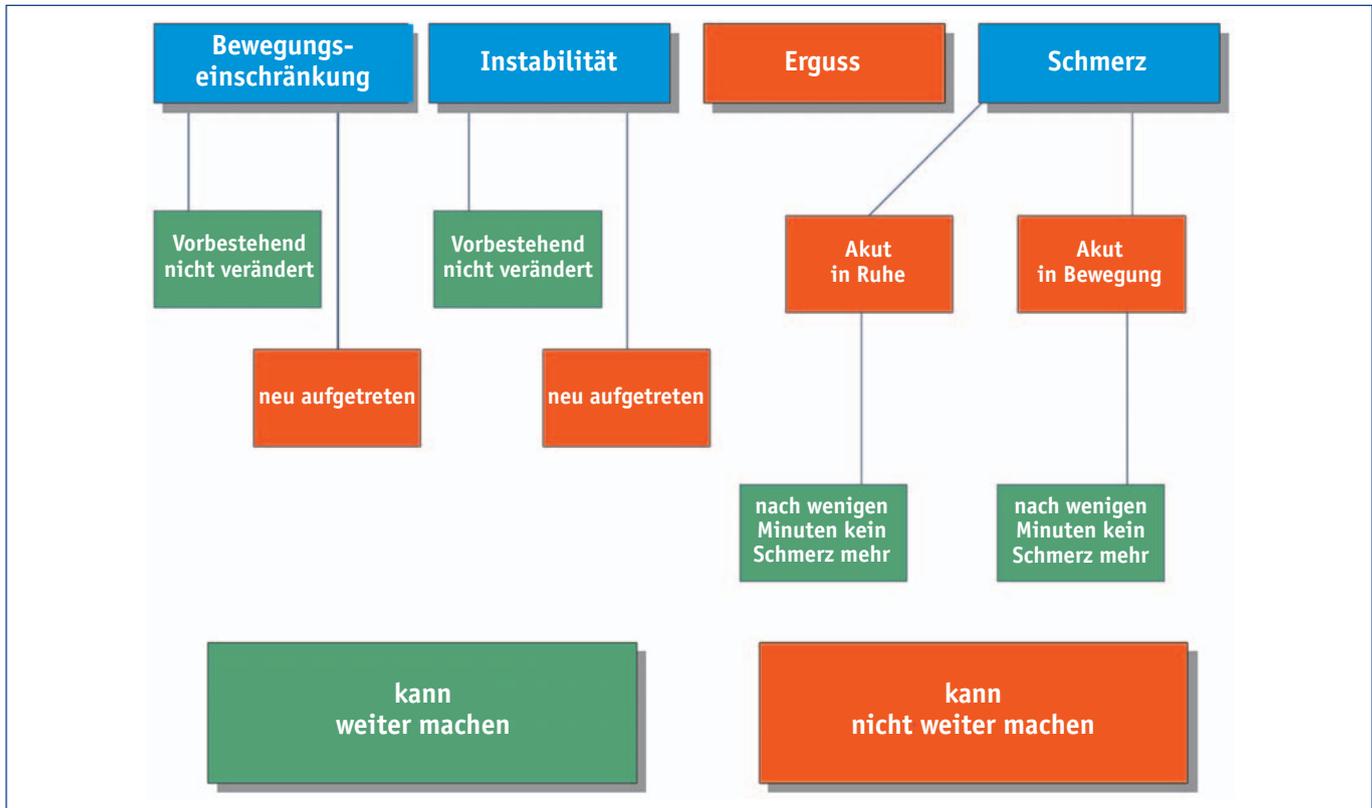


Abbildung 1
 Schema als Entscheidungshilfe, ob ein Sportler direkt nach der Kniegelenkverletzung weiter machen kann oder nicht (grün – kann weiter machen, rot – kann nicht weiter machen).

die Voraussetzung des Bewegungsapparates in soweit wieder hergestellt sind, dass sie wieder eine Teilnahme erlauben. Gerade in dieser Phase ist die Kenntnis der Inhalte der sportartspezifischen Belastung für den Sportarzt von entscheidender Bedeutung. Nur wenn er die Belastungen kennt, kann auch eine risikoarme, aber dennoch rasche und damit optimale Rehabilitation des verletzten Sportlers erfolgen.

Wann darf der Sportler bei einer akuten Verletzung des Kniegelenkes weitermachen, wann muss er seine Aktivitäten beenden?

Die Anforderungen der Athleten an den Sportarzt sind meist sehr hoch. Der verletzte Athlet möchte so

schnell wie möglich seine sportliche Aktivität wieder aufnehmen und der Sportarzt findet sich häufig in einer schwierigen Situation, in kürzester Zeit zu entscheiden, ob ein Sportler direkt nach einer Verletzung weitermachen kann (Gould 2003). Er muss an Hand der u. a. Parameter beurteilen, ob eine weitere Sportausübung möglich ist und er muss abschätzen, wie hoch das Risiko einer weiteren oder schwereren Verletzung in der aktuellen Situation ist. Abbildung 1 gilt als Entscheidungshilfe, um nach Analyse der vier Parameter Bewegungseinschränkung (vorbestehend, nicht verändert – neu aufgetreten), Instabilität (vorbestehend, nicht verändert – neu aufgetreten), Ergussbildung und Schmerz (in Ruhe – bei Bewegung; bei Nachuntersuchung nach wenigen Minuten) eine Ent-

scheidung treffen zu können, ob der Sportler weitermachen kann oder nicht.

In dieser Phase ist auch die persönliche Zuwendung des Betreuers zu seinem verletzten Sportler von besonderer Bedeutung. Er soll ihn psychologisch mitbetreuen, ihn positiv bestärken und ihm nach Durchführung der Akutversorgung die weiteren erforderlichen meist diagnostischen Schritte aufzeigen. Man sollte sich davor hüten, zu frühzeitig eine definitive Diagnose auszusprechen, bevor nicht absolute Klarheit über das Verletzungsausmaß und die damit verbundenen therapeutischen Konsequenzen besteht. Die nach einer akuten Knieverletzung erforderlichen Therapiemaßnahmen richten sich nach dem RICE-Schema (rest – ice – compression –

elevation). Die Kombination von Kompression und Kryotherapie hat sich in der Anfangsphase, d. h. am Unfalltag als hilfreich erwiesen. Insbesondere eine Reduktion des Schmerzes kann herbeigeführt werden (Hubbard 2004). Bis das Ausmaß der Verletzung bekannt und die Schwere der Verletzung eingeschätzt werden kann, soll das verletzte Bein nicht belastet werden. Bei Verdacht auf eine vordere Kreuzbandruptur soll das verletzte Knie in leichter Beugstellung (20–30 Grad Flexion) in einer Immobilisierungsschiene gelagert werden. Lediglich eine Teilbelastung des verletzten Beines von ca. 15–20 kg ist erlaubt. Eis in den ersten 48–72 Stunden (intermittierend aufgelegt) sowie Kompression (elastokompressive Wickelung) und am besten in Kombination (Abb. 2,) werden zur Reduktion von Schmerz und Schwellung angewendet (Warren 2004, Tomchuk 2010).

Auch nach VKB-Operation ist der kurzfristige Einsatz von Kälteanwendung möglich, wird allerdings immer noch kontrovers diskutiert. Eine Meta-Analyse nach VKB-Operation ergab, dass Eis einfach anzuwenden ist, billig ist, selten Komplikationen auftreten sofern richtig angewendet und es von den Patienten als sehr angenehm empfunden wird. (Raynor 2005).

Eine direkte Eisaufgabe auf die Haut sollte wenn möglich unterbleiben, um die Gefahr von Erfrierungsschäden zu minimieren. Auf Verletzungen der Haut ist zu achten, gegebenenfalls muss ein spezieller Wundverband nach Desinfektion angelegt werden. Das Anlegen einer Bandage, eines Verbandes oder einer Schiene reduziert den Kühleffekt nur gering (Okcu 2006). Daneben gibt es Hinweise, dass eine 20 minütige Kühlung eines Kniegelenkes zu einer vorübergehenden Reduktion der elektromyographischen Aktivität der

Muskulatur führen kann. Womöglich wird das Kniegelenk in eine vulnerable Phase gebracht (Schmid 2010). Es gibt jedoch aktuell keinen Hinweis dafür, dass die Verletzungsrate durch eine kurzfristige Kühlung nach einer Kniegelenkverletzung ansteigt. Oder anders gesagt: Die Quadrizeps-Hemmung aufgrund der Schwellung wird durch die Cryotherapie minimiert. Sie erlaubt eine frühzeitigere und effektivere Kräftigung des Streckapparates bei Patienten mit Kniegelenkverletzungen (Rice 2009). Dies ist wichtig im Hinblick auf die Prävention von chronischen Beschwerden im Bereich des Quadrizeps (2009).

Zur Entlastung des verletzten Beines mit vorgesehener Teilbelastung werden Unterarmgehstützen eingesetzt. Der Transport zur weiterführenden Diagnostik soll dann mit Hochlagerung der Extremität erfolgen, um der Schwellneigung entgegenzuwirken. Periphere Analgetika können peroral eingesetzt werden (z. B. nicht-steroidale Antiphlogistika). Auch die lokale Anwendung z. B. von Diclofenac kann den Schmerz reduzieren (Banning 2008). Bei der darüber hinaus erforderlichen Gabe von weiteren Schmerzmitteln (z. B. zentrale Analgetika) muss bei Kaderathleten und Profisportlern die Meldepflicht an die NADA (Nationale Antidoping Agentur) berücksichtigt werden. Informationen hierzu gibt es unter www.nada-bonn.de. Die Einnahme von Glucosamin nach akuter Knieverletzung konnte in den ersten drei Wochen zu keiner signifikanten Reduktion des Schmerzes, der Schwellung oder einer verbesserten Beweglichkeit im Vergleich zur Placebogabe führen (Ostojic 2007). Inwieweit nach dem Unfall eine Punktion des Kniegelenkes mit Entlastung des HämARTHROS sinnvoll ist, richtet sich nach dem Ausmaß der Ergussbildung und der Beschwerdefähigkeit des Sportlers. Besteht ein

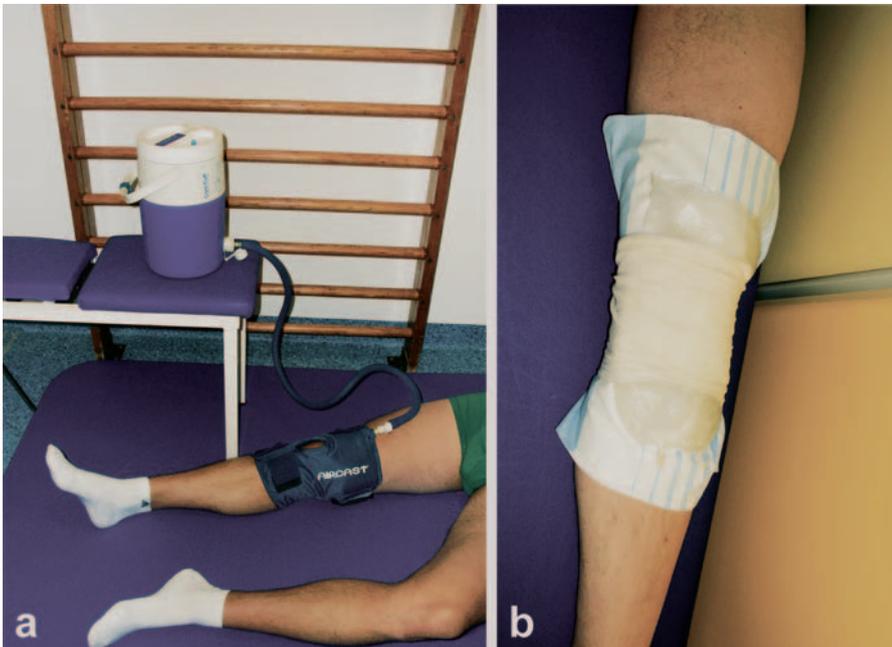


Abbildung 2

Kompression und Eis in der Behandlung von Kniegelenkverletzungen. Neben einem Cryotherapiesystem (a) kann auch konventionelles Eis genutzt werden. Hier sollte der Nutzen von Kompression und Cryotherapie genutzt werden (b).

ausgeprägtes Druckgefühl und ist auf Grund der Ergußbildung die Bewegungsfähigkeit des Kniegelenkes erheblich eingeschränkt, ist eine Punktion und anschließende Kompression hilfreich. Die Punktion führt zu einer Entlastung des Kniegelenkes und damit auch meistens einer erheblichen Schmerzreduktion. Kleine Ergüsse (<20 ml) müssen nicht punktiert werden, können häufig durch frühzeitige Lymphdrainage zur Rückbildung gebracht werden. Wann soll punktiert werden? Bei starker Berschwerdehaftigkeit und großem Erguss sollte möglichst frühzeitig, evtl. noch am ersten Tag punktiert werden. Besteht ein Hämarthros über mehr als 10–14 Tagen, ist es häufig bereits zu Koagelbildung gekommen und eine Punktion führt nicht zum gewünschten Erfolg, da eingedickte Bestandteile des Ergusses nicht mehr abpunktiert werden können. Auch eine Differenzierung zu atraumatischen Kniegelenkergüssen muss erfolgen (Mathison 2009).

Wann ist eine Kernspindiagnostik eines verletzten Kniegelenkes erforderlich?

Die Notwendigkeit einer frühzeitigen Kernspindiagnostik wird kontrovers diskutiert (Shaerf 2008). Findet sich ein Streckdefizit bzw. eine trotz initial korrekter Behandlung persistierende Schmerzhaftigkeit und Bewegungseinschränkung des Kniegelenkes, so ist eine Kernspintomographie zu empfehlen. Insbesondere bei Verdacht auf eine Knorpelschädigung soll eine Kernspintomographie durchgeführt werden. Der klinische Nachweis einer vorderen Kreuzbandverletzung alleine rechtfertigt nicht die Indikation zur Kernspintomographie. Präoperativ ist jedoch eine Schnittbildgebung hilfreich, um neben der vorderen Kreuzbandverletzung auch

Verletzungen anderer Kniebinnenstrukturen aufdecken zu können und sie bei der operativen Versorgung auch gleich mitbehandeln zu können (Flandry 2009). Daneben gibt es Hinweise dafür, dass der frühzeitige Einsatz einer Kernspintomographie bei akuten Knieverletzungen Kosten reduzieren kann (Oei 2009).

Anforderungen an den Sportarztkoffer zur Behandlung von Verletzungen des Kniegelenkes

Neben den üblichen Bestandteilen eines Arztkoffers zur Betreuung von Sportlern (Büttner 1998) sind speziell zur Behandlung von akuten Verletzungen des Kniegelenkes erforderlich:

- Unterarmgehstützen zur Entlastung der verletzten Extremität;
- Lagerungsschienen in leichter Beugung des Kniegelenkes;
- Eisbeutel, Coolpacks o. ä. zur Reduktion von Schmerz und Schwellung;
- Elastische Binden zur Kompression des verletzten Gelenkes;
- Tape zur Fixierung der Verbände;
- Orale Antiphlogistika zur Schmerzreduktion.

Literatur

Banning M. Topical diclofenac: clinical effectiveness and current uses in osteoarthritis of the knee and soft tissue injuries. *Xpert Opin Pharmacother* 2008; 9: 2921–2929.

Büttner CM. The team physician's bag. *Clin Sports Med* 1998; 17: 365–373.

Flandry F, Baker CL Jr., Jacobson KE, Terry GC, Baker MA. Evaluation and treatment of acute and chronic injuries to the capsular ligaments of the knee. *Instr Course Lect* 2009; 58: 397–421.

Gould MT, Hansted KT. The "fix" is in: legal and malpractice standards regarding the treatment of athletic injuries. *Clin Sports Med* 2003; 22: 631–638.

Hubbard TJ, Denegar CR. Does cryotherapy improve outcomes with soft tissue injury? *J Athl Train* 2004; 39: 278–279.

Mathison DJ, Teach SJ. Approach to knee effusions. *Pediatr Emerg Care* 2009; 25: 773–786.

Mayer F. Sportorthopädische Untersuchungs- und Diagnoseverfahren. Aus: Dickhuth HH, Mayer F, Röcker K, Berg A. *Sportmedizin für Ärzte*, Deutscher Ärzte-Verlag, 2. Auflage 2010, Köln, 53–62.

No pain, no gain. The dilemma of a team physician. *Br J Sports Med* 2001; 35: 141–142.

Oei EH, Nikken JJ, Ginai AZ, Krestin GP, Verhaar JA, van Vugt AB, Hunink MG. Costs and effectiveness of a brief MRI examination of patients with acute knee injury. *Eur Radiol* 2009; 19: 409–418.

Okcu G, Yercan HS. Is it possible to decrease skin temperature with ice packs under casts and bandages? A cross-sectional, randomized trial on normal and swollen ankles. *Arch Orthop Trauma Surg* 2006; 126: 668–673.

Ostojic SM, Arsic M, Prodanovic S, Vukovic J, Zlatanovic M. Glucosamine administration in athletes: effects on recovery of acute knee injury. *Res Sports Med* 2007; 15: 113–124.

Palmieri-Smith RM, Thomas AC. *Exerc Sport Sci Rev*. A neuromuscular mechanism of posttraumatic osteoarthritis associated with ACL injury 2009; Jul; 37(3): 147–153.

Raynor M, Pietrobon R, Guller U, Higgins L. Cryotherapy after ACL reconstruction. *J Knee Surg* 2005; 18: 123–129.

Rice D, McNair PJ, Dalbeth N. Effects of cryotherapy on arthrogenic muscle inhibition using an experimental model of knee swelling. *Arthritis Rheum* 2009; 61: 78–83.

Schmid S, Moffat M, Gutierrez GM. Effect of knee joint cooling on the electromyographic activity of lower extremity muscles during a plyometric exercise. *J Electromyogr Kinesiol* 2010 Aug 9 (Epub ahead of print).

Scotney B. Sports knee injuries – assessment and management. *Aust Fam Physician* 2010; 39: 30–34.

Shaerf D, Banerjee A. Assessment and management of posttraumatic hemarthrosis of the knee. *Br J Hosp Med* 2008; 69: 459–460.

Team physician consensus statement. *Am J Sports Med* 2000; 28: 440–441.

Tomchuk D, Rubley MD, Holcomb WR, Guadagnoli M, Tarno JM. The magnitude of tissue cooling during cryotherapy with varied types of compression. *J Athl Train* 2010; 45: 230–237.

Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, Michener T, Spindler KP. Intra-articular knee temperature changes: ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med* 2004; 32: 441–445.

VORDERES KREUZBAND

DIAGNOSTIK VON VKB-LÄSIONEN

Thore Zantop, Georg Bauer, Matthias Buchner, Andre Ellermann,
 Romain Seil, Karl-Peter Benedetto

Die richtige Therapie setzt zwangsläufig eine wegweisende Diagnostik voraus. Wichtige Aspekte variieren von Patient zu Patient und deshalb erscheint eine patientenorientierte Untersuchung und Diagnostik essentiell. Ziel dieses Kapitels ist es einen Überblick über gängige und reproduzierbare Kriterien der klinischen und apparativen Diagnostik zu geben. Neben der Anamnese erscheint die klinische Untersuchung als einer der wichtigsten Parameter zur korrekten Diagnose zu sein (Beynon et al. 2005, Petersen und Zantop 2009, Strobel und Stedtfeld 1991). Zusätzlich werden projektionradiographische Darstellungen und Schnittbildgebung durchgeführt. Bei Rupturen des vorderen Kreuzbandes sind häufig in assoziierte Verletzungen des Knorpels, der Menisken und der Bänder vorhanden. Diese Verletzungen können zum einen die Diagnostik erschweren, zum anderen aber auch bei nicht korrekter Diagnose zu einem schlechten Operationsergebnis bis zum Versagen der VKB-Rekonstruktion führen.

Bei den Untersuchungsgängen sollte differenziert werden, ob es sich um eine akute oder chronische Läsion handelt, da sich die diagnostischen Wegesich für diese beiden Läsionen grundlegend unterscheiden. Die Problematik der Rezidivinstabilität nach VKB-Rekonstruktion ist nicht Hauptaugenmerk dieses Kapitels. Hier wird für auf weiterführende Literatur verwiesen.

Anamnese

Die Anamnese ebnet den Weg zur korrekten und umfassenden Diagnose. Insbesondere in Hinblick auf die assoziierten Verletzungen muss die Anamnese nicht nur *erfolgen*, sondern auch *dokumentiert* werden. Somit kann sichergestellt werden, dass die Möglichkeit einer bestimmten assoziierte Pathologie im Vorfeld berücksichtigt und mit entsprechenden Mitteln ausgeschlossen wurde. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die hintere Instabilität zu erwähnen. Die Weichen zur weitführenden Diagnostik wird in der Erfassung der Anamnese gestellt.

Wichtige Punkte der Anamnese lassen sich durch die Beantwortung folgender Frage zusammenfassen: *Was ist wann wie passiert?* (Abb. 1). Insbesondere der Verletzungsmechanismus kann wichtige Hinweise auf die zugrundeliegende intra-artikuläre Pathologie geben. Zahlreiche Studien konnten anhand von Videoanalysen sportartspezifische Verletzungsmechanismen darstellen (Arendt et al. 1995, Boden et al. 2000, Ettliger et al. 1995, Olsen et al. 2004). Eine der häufigsten Risikopositionen für Verletzungen des VKBs ist eine geringe Knieflexion, Valgusposition und tibialer Außenrotation (Olsen et al. 2000, Petersen et al.

Leitsatz zum Erfassen der Anamnese

WAS ist

WANN

WIE passiert?

2005). Hierbei ist der Fuß am Boden fixiert und häufig ist dieser Verletzungsmechanismus im Ballsport anzutreffen (Fußball, Handball, Basketball, siehe Kapitel Epidemiologie). Auch eine Hyperextension kann zu einer Läsion des VKBs führen, allerdings sollte ein solcher Verletzungsmechanismus auch an eine HKB-Läsion denken lassen.

Beim Sportler sollte die Anamnese auch Informationen über den ausgeübten Sport, den Leistungsanspruch und das Verhalten nach dem Unfall erfassen. Insbesondere beim Mannschaftssportler kann es sein, dass der Sportler zunächst wieder auf das Spielfeld zurückkehrt und anschließend ein erneutes Distorsionstrauma mit der Gefahr einer weiteren assoziierten Verletzung (dislozierter Meniskuskorbhakenkriss) erleidet. Eine ähnliche Situation ist auch im Berufsleben gegeben. Aus diesem Grund sollte das berufliche Aktivitätsniveau des Patienten erfasst werden. Zusätzlich sind berufliche Aktivitäten zu eruieren, die ein stabiles Kniegelenk essentiell voraussetzen (z. B. Dachdecker).

Um die klinische Symptomatik korrekt einschätzen zu können, muss abgeklärt werden ob es sich vor dem Trauma um ein stabiles und intaktes Gelenk handelte (Ausschluss vorbestehender Läsionen). Auch der Abstand vom Trauma bis zur ärztlichen Konsultation kann für die weitere Versorgung eine Rolle spielen.

Die subjektive Beschwerdesymptomatik kann mit dem Schwerpunkt

◀ Abbildung 1
Leitsatz der Anamnese.



Abbildung 2 ▶
Typisches Hämarthros nach Valgus-/Innenrotationstrauma beim Landen nach einem Kopfball.

der subjektiven Instabilität erhoben werden. Dieses ist ein hochrangig korrelierender Parameter für die Diagnose VKB Ruptur (Kocher et al. 2000, Jonsson et al. 2004, Petersen und Zantop 2006). Schmerzsymptome können auf assoziierte Läsionen hinweisen (schmerzhafte mediale Kollateralbandläsion). Gleichzeitig ist der Beschwerdeverlauf zu hinterfragen.

Inspektion

Die Inspektion erfüllt zwei wichtige Aufgaben: zum einem kann durch eine aufmerksame, schnell durchzuführende Inspektion die Diagnose VKB Ruptur in die richtige Richtung gelenkt werden. Zum anderen können mit Hilfe der Inspektion die Wege der Differentialdiagnose und der assoziierten Verletzungen gebahnt werden (Benjaminse et al. 2006, Strobel und Zantop 2010, Torg et al. 1976).

Bei einem akuten Distorsionstrauma kann bei ausgeprägten Hämarthros der Verdacht einer VKB Ruptur gestellt werden (Hackenbruch und Müller 1984, Steinbrück et al. 1988). Aufgrund der intrasynovialen VKB Lage kann die Ruptur der Fasern zeitgleich zu einem Zerreißen des synovialen Schlauches und somit zum Hämarthros führen (Abb. 2).

Allerdings ist der Umkehrschluss nicht zulässig: das Ausbleiben eines inspektorisch sichtbaren Hämarthros darf keinesfalls zum Schluss führen, dass eine VKB Ruptur *nicht* vorliegen kann. Häufig sind anamnestisch gerade bei den sportlich aktiven Patienten mehrere Distorsion des Kniegelenkes zu erheben. Da diese schon im Vorfeld zu einem synovialen Zerreißen geführt haben kann, muss das aktuelle Trauma, das nun zur Konsultation führt, nicht zwangsläufig zu einem Hämarthros führen (Strobel und Zantop 2010).

Assoziierte Verletzungen stechen auch bei der Inspektion hervor. Neben einem inspektorisch auffälligen Extensionsdefizit sind insbesondere Prellmarken von enormer Wichtigkeit (Abb. 3). Prellmarken im Bereich der



Abbildung 3
Prellmarke und Hämatom im Verlauf des medialen Kollateralbandes mit v. a. MCL Distorsion.



Abbildung 4
Prellmarke im Bereich der Tuberositas tibiae nach Autounfall („dash board injury“). Bei V. a. HKB-Läsion sollten die weiteren diagnostischen Wege die hintere Instabilität zu nächst ausschließen.

anteromedialen Tibia können als Zeichen einer Läsion des medialen Kollateralbandes gesehen werden. Prellmarken im Bereich der Tuberositas tibiae hingegen müssen die weiteren Wege der Diagnostik primär in Richtung einer Verletzung des hinteren Kreuzbandes lenken (Abb. 4) (Schulz et al. 2003, Strobel und Stedfeldt



Abbildung 5
Valgusfehlstellung bei Patienten mit chronischer VKB-Ruptur.

1991). Somit werden wichtige Weichen der Diagnostik schon im Rahmen der Inspektion gestellt. Deutlich sichtbare Abweichungen der Beinachse in der Frontalebene sollten zu einer weiteren Abklärung mit Hilfe von radiologischer Diagnostik führen (Abb. 5), da diese im Verlauf Einfluss auf das geplante operative Prozedere (Umstellungsosteotomie oder VKB-Ersatz, siehe Kapitel Indikation) haben kann (Yastrebov und Lobenhoffer 2009). Muskuläre Defizite im Bereich des Quadrizeps sind zu fassen und sollten aufgenommen werden.

Klinische Untersuchung

Im Ablauf der Diagnostik ist die klinische Untersuchung der entscheidende Pfeiler. Eine VKB-Ruptur kann mit Hilfe von geeigneten klinischen Untersuchungsgängen sicher und valide diagnostiziert werden. Unserer Ansicht nach sollten diese rekapituliert werden, da sie gerade zu der Zeit der Möglichkeit einer Schnittbildgebung mit MRT Diagnostik zunehmend in Vergessenheit zu geraten scheinen.

Merke

Bei (schmerzbedingter) eingeschränkter klinischer Diagnostik ist die klinische Untersuchung zu wiederholen

Um die klinische Untersuchung standardisiert durchzuführen sollten folgende allgemeine Punkte beachtet werden: Herstellen einer Vertrauensbasis zwischen Patienten und Untersucher, schmerzfreie Lagerung und Durchführung der Tests im Seitenvergleich (individuelle Laxizitätsunterschiede, Beginn auf nicht verletzter Seite) (Jakob et al. 1987, Donaldson 1985, Steinbrück et al. 1985) (Abb. 6). Insbesondere bei komplexen Stabilitätstests wie z. B. dem Pivot shift-Test sollte aufgrund der Gefahr von weiteren Läsionen die Tests nicht repetitiv durchgeführt werden.

Die erfassten Ergebnisse gelten als Momentaufnahme, insbesondere bei negativen Befunden oder eingeschränkter Untersuchungsfähigkeit des Patienten (z. B. schmerzassoziiert).

Prinzipien der klinischen Untersuchung

- Schmerzfremie Lagerung
- Seitenvergleich
- Beginn mit nicht verletzter Seite
- Aufbau Vertrauensbasis zum Untersucher
- Beachten individuelle Laxizitätsunterschiede
- schmerzhafte/unangenehme Stabilitätstest zum Ende der Untersuchung
- Vermeiden von repetitiven Tests (pivot shift)

Abbildung 6
Prinzipien der klinischen Untersuchung.

Palpation

Im Rahmen der Palpation wird die Lokalisation des Druckschmerzpunktes und das Punktum maximum der Beschwerden erfasst. Dies gilt insbesondere für mediale und laterale Kollateralbandläsionen (MCL, LCL). Auf der medialen Seite kann das MCL im Bereich des femoralen Ursprungs am medialen Epikondylus („Ski-punkt“), auf Gelenkspaltniveau und im tibialen Insertionsgebiet in topographischer Nähe des Pes anserinus superficialis auf eine Beschwerdesymptomatik hin untersucht werden (Jakob et al. 1987, Donaldson 1985). Das LCL besitzt seine häufigsten Schmerzpunkte am lateralen Epikondylus und im Bereich der proximalen Fibula. Während die klinische Symptomatik der VKB Ruptur in Fällen ohne massiven Hämarthros ggf. ohne starke Schmerzsymptomatik erscheinen kann, so gehen assoziierte Läsionen der Kollateralbänder mit deutlich ausgeprägten Schmerzen einher. Klinisch ist im akuten Stadium eine Unterscheidung zwi-

schen medialen Kollateralbandläsion und Innenmeniskusruptur meist nur schwer möglich (Strobel und Zantop 2010).

Der mediale Patellarand und die Insertionspunkte des medialen patellofemoralen Ligamentes (MPFL) sollten palpiert werden. Sehnen- und Muskellücken im Verlauf der Quadrizeps-, der Patellar- und der Kniebeugesehnen müssen überprüft werden. Dies kann wichtige Informationen für die spätere Transplantatwahl enthalten.

Am Übergang zwischen Palpation und klinischen Stabilitätstests, steht das Erfassen des intra-artikulären Hämarthros. Hierfür wird das Phänomen der tanzenden Patella überprüft (Abb. 7). Mit der einen Hand wird durch Kompression der Rezessus suprapatellaris ausgedrückt und so der Erguss nach retropatellar gebracht (Wirth und Kolb 1985). Mit der anderen Hand kann dann überprüft werden, ob und wie stark der intra-artikuläre Erguss vorhanden ist. Bei stark ausgeprägten Hämarthros („Gelenktamponade“)

kann eine Gelenkpunktion erfolgen und somit die Beweglichkeit verbesserte werden.

Stabilitätstests

Zahlreiche Stabilitätstest zur Überprüfung der Integrität der ligamentären Strukturen des Kniegelenkes sind beschrieben. Diese betreffen die Frontalebene (Varus-/Valgustests), die Sagittalebene (Lachman-/Schubladentest) sowie die Auswirkungen von Kombinationsbewegungen (Pivot shift-Test). Die Tests dienen der Diagnose- und Indikationsstellung, sollten aber auch unter Narkose durchgeführt werden (Bestandteil der Operation) (Donaldson et al. 1985, Petersen und Zantop 2009, Katz et al. 1986). Ein großer Vorteil der Stabilitätstests in der Sagittalebene ist die Standardisierung des Tests mit Hilfe einer instrumentierten Messung (Daniel et al. 1985, Boyer et al. 1995). Bei Kombinationsbewegungen ist eine solche Standardisierung bisher noch nicht möglich.

Bei der Überprüfung der Stabilität müssen die äußeren Umstände beachtet werden. Eine eingeschränkte Beweglichkeit aufgrund von einer Gelenktamponade oder einem dislozierten Korbhenkelriss des Meniskus beeinflusst automatisch die Sensitivität und Spezifität der klinischen Stabilitätstests. Da die explizite Anleitung der Testverfahren zur Diagnostik von Meniskusläsionen im Rahmen dieses Kapitels nicht umfassend erfolgen kann, verweisen wir auf die Fachliteratur (Solomon et al. 2001, Agneskirchner und Lobenhoffer 2004, Rupp et al. 2002).

Varus-/Valgustest

Das Erfassen der Stabilität in der Frontalebene mit Hilfe des Varus-/Valgustests dient zum Ausschluss von hochgradigen medialen oder la-



Abbildung 7

Tanzende Patella. Mit der einen Hand wird der Rezessus suprapatellaris ausgedrückt und somit der intra-artikuläre Erguss nach retropatellar verlagert. Die Patella wird mit den Langfingern der anderen Hand dann in das femorale Gleitlager zurückgedrückt.

Bestimmung der Aufklappbarkeit bei MCL/LCL-Läsionen

Grad I	0–5°
Grad II	5–10°
Grad III	>10°

Abbildung 8 Einteilung medialer und lateraler Kollateralbandläsionen.

teralen Seitenbandläsionen. Bei korrekter Durchführung kann mit diesem Test die Integrität der Kapsel und des Seitenbandes selbst überprüft werden und der Test wird in Extensionstellung und ca. 20° Flexion ausgeführt. Varus-/Valgusstress in 20° dient der Diagnostik der Seitenbänder (mediales und laterales Kollateralband); der Test in Extension überprüft eine Verletzung von Strukturen der posterolateralen (Popliteusehne, popliteofibulares Band) oder posteromedialen Gelenckecke (hinteres Schrägband und posteromediale Kapsel). Die Aufklappbarkeit kann in 3 unterschiedliche Grade eingeteilt werden (Abb. 8).

Zur Durchführung des Test appliziert der Untersucher Varus- oder Valgusstress am Unterschenkel während der Patient auf dem Rücken positioniert ist. Als Gegenlager der Krafteinwirkung sollte die Hand des Untersuchers an den Femurkondylen angelegt werden. Eine Rotationsbewegung der untersuchten Extremität kann die Auswertung des Tests erschweren. Rotationsbewegungen können verringert werden indem der Oberschenkel des Patienten auf dem Oberschenkel des Untersuchers positioniert wird (Abb. 9).

In der Akutsituation kann die Untersuchung durch Schmerzen und Muskelspannung erschwert sein. Dabei sind die Schmerzen gerade bei partiellen Rupturen oder Distorsionen größer als bei kompletten Rupturen.

Merke

Bei kompletter Ruptur der Seitenbandstrukturen sind Beschwerden häufig geringer als bei partieller Ruptur. Eine geringe Schmerzsymptomatik darf daher nicht zur vernachlässigten Diagnostik führen.

Schubladen-Tests

In der Literatur wird der Schubladen-Test als klassischer Test der Kreuzbanddiagnostik angegeben (Benjaminse et al. 2006, Beynon et al. 2005, Katz et al. 1986). Bei genauer Definition wird zum Auslösen des sogenannten Schubladen Phänomens das Kniegelenk in 90° Flexion gebracht (Strobel und Stedfeldt 1991, Petersen und Zantop 2009). Der Fuß des Patienten wird dann mit dem Oberschenkel des Untersuchers fixiert und die proximale Tibia mit den Händen des Untersuchers nach vorne gezogen oder nach hinten gedrückt (Abb. 10).

Mit diesem Test kann die sogenannte vordere und hintere Schublade erfasst werden. Bei der Durchführung dieses Testes ergeben sich zwei grundlegende Probleme:

1. ein falsch-negatives Ergebnis bei muskulärer Anspannung der ischiokruraler Muskulatur
2. Unterscheidung zwischen einer korrekten vorderen Schublade und der posterioren tibialen Subluxation und somit „Pseudo-vorderen Schublade“ bei HKB Insuffizienz

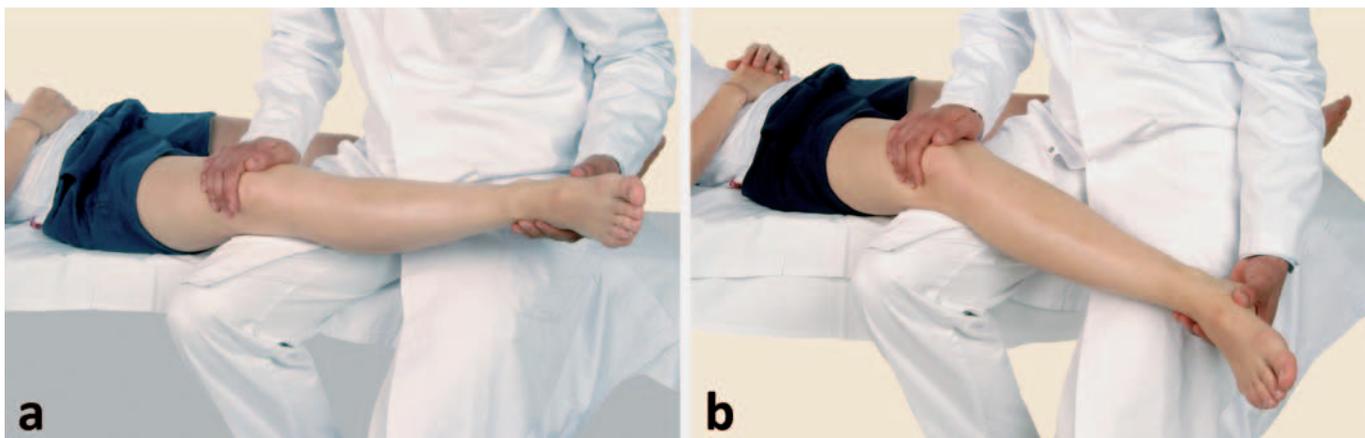


Abbildung 9 Möglichkeit zur Durchführung des Varus-/Valgustests. Der Oberschenkel des Untersuchers wird unter dem Kniegelenk des Patienten positioniert und dient so als Widerlager für die Krafteinwirkung in Varus- und Valgus-Richtung.



Abbildung 10
Schublade Test. Der Fuß des Patienten wird mit dem Oberschenkel des Untersuchers fixiert. Anschließend wird eine nach anteriore (vordere Schublade) oder nach posterior (hintere Schublade) gerichtete Kraft appliziert. Zur Überprüfung der hinteren Schublade wird die Hand flach auf Höhe des Gelenkspaltes platziert, um eine Dislokation nach hinten mit den Langfingern wahrzunehmen. Zur Überprüfung der vorderen Schublade können beide Daumen auf Höhe des Gelenkspaltes platziert werden.

Sowohl eine VKB- wie auch eine HKB-Ruptur führt zur Instabilität in der Sagittalebene (Strobel et al. 2002, Strobel und Stedfeldt 1991). Aufgrund der Schwerkraft und der Muskelaktivität der ischiokruralen Muskulatur kommt es bei einer HKB-Läsion zu einer spontanen posterioren Subluxationsstellung des Tibiakopfes (Abb. 11). Beim Testen des Schublade Phänomens kann nun die Reduktion der spontanen posterioren Subluxation in die Neutralstellung als positive vordere Schublade fehlinterpretiert werden.

➤ **Merke** ◀

Eine positives vorderes Schublade Phänomen ist bis zum Beweis des Gegenteils zunächst als Verdacht einer HKB-Läsion zu interpretieren. Der Ausschluss einer hinteren Instabilität wird mit Hilfe von gehaltenen Röntgenbildern erbracht.

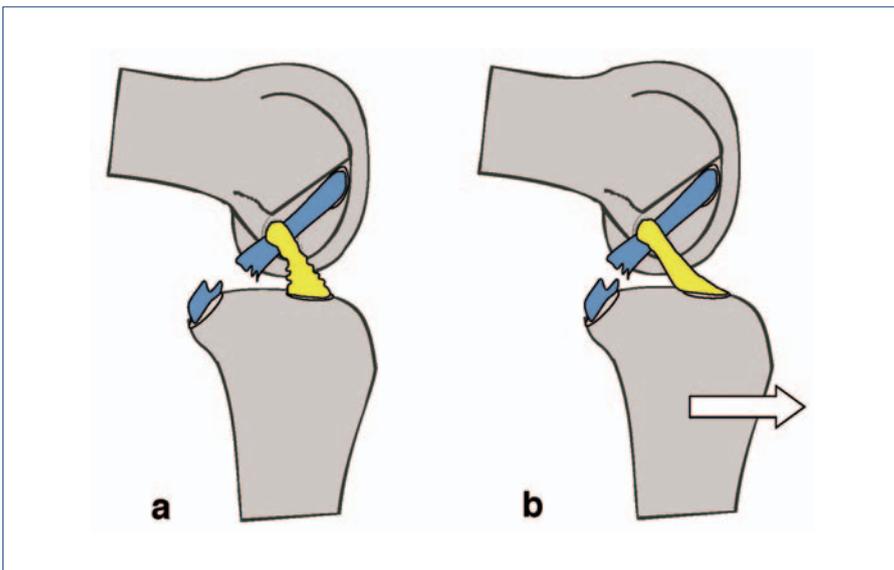


Abbildung 11
Gefahr der Fehlinterpretation des Schublade tests. Bei einer hinteren Instabilität steht die Tibia nach posterior subluxiert (a). Wird dann ein vorderer Schublade test durchgeführt kann das Hervorziehen der Tibia in die Neutralstellung als „pathologische vordere Schublade“ fehlinterpretiert werden (b). Der klinisch korrekte Verdacht der hinteren Instabilität in diesem Fall muss mit gehaltenen hinteren Schublade aufnahmen diagnostiziert werden.

Ein weiteres Problem der Überprüfung des Schublade Phänomens ist die Aktivierung der ischiokruralen Muskulatur und somit eine Verminderung des Ausmaßes der vorderen Schublade. Bei ängstlichen Patienten oder einer unruhigen Untersuchungsumgebung im klinischen Alltag kann es zu einer (teilweise unbewussten) Aktivierung der Kniebeugemuskulatur kommen. Durch den Ansatz über den Pes anserinus superficialis kann es so zu einer der anterioren Schublade last entgegengerichteten Kraft kommen (Abb. 12) und das Ergebnis falsch negativ erscheinen. Aus diesem Grund sollte nicht die absolute Strecke der vorderen Schublade in mm als Instabilitätskriterium gewertet werden, sondern das Vorhandensein eines harten oder weichen Anschlages.

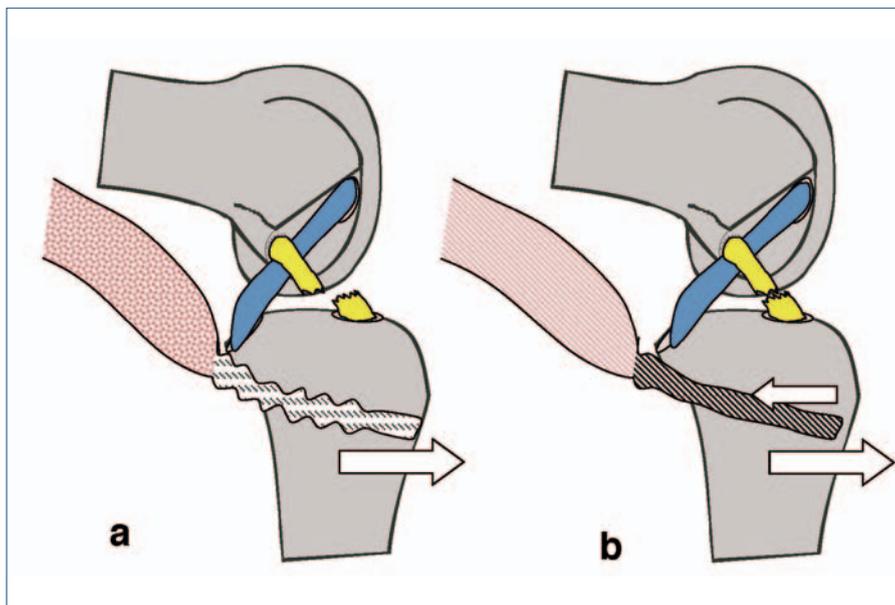


Abbildung 12

Reduktion der vorderen Schublade durch Kontraktion der ischiokruralen Muskulatur. In einer Situation ohne Kontraktion (Narkoseuntersuchung) kann die Tibia nach anterior gezogen werden (a). Kommt es zu einer Kontraktion der ischiokruralen Muskulatur, wirkt diese der nach anteriore gerichteten Kraft entgegen und kann somit die Strecke der vorderen Schublade vermindern (b).

Lachman/Noulis-Test

Im Gegensatz zur 90° Knieflexionsstellung bei dem vorderen Schubladen-Test befindet sich das Kniegelenk bei der Durchführung des Lachman/Noulis-Testes nur in einer Knieflexionsstellung von ca. 20–30° (Boyer et al. 1995, Daniel et al. 1985, Katz et al. 1986, Noulis 1875, Petersen und Zantop 2009). Auch bei diesem Test wird die VKB-Funktion zur Limitation der anterioren tibialen Translation getestet. Der Lachman/Noulis-Test weist bei korrekter Durchführung eine hohe Sensitivität (85%) und eine hohe Spezifität (95%) zur Diagnose der VKB-Ruptur auf (Benjaminse et al. 2006, Katz et al. 1986, Petersen und Zantop 2009). Obwohl auch für den Lachman-Test eine gewisse Einschränkung der Durchführbarkeit im akuten Stadium besteht, so ist er jedoch deutlich besser an-

wendbar als der Schubladen-Test. Bei frischen anterioren Instabilitäten liegt der Anteil eines positiven Lachman-Testes zwischen 78% und 99%; der Anteil positiver vorderer Schubladen lag zwischen 22% und 70% (Jakob et al. 1987, Schuster et al. 2004, Sander et al. 2005).

Ein Grund für die erhöhte Sensitivität im Vergleich zum Schubladen-Test kann die unterschiedliche Knieflexion und die damit verbundene geringere Muskelaktivität sein. Durch die Flexion von 20° ist der Hebelarm der ischiokruralen Muskulatur auf die Tibia minimiert und so die Sensitivität des Tests erhöht. In einer verringerten Kniebeugung können also die ischiokruralen Muskeln der von außen applizierten anterioren tibialen Translation nicht so effektiv entgegenwirken.

Der Lachman-Test kann auf unterschiedliche Art und Weise durchge-

führt werden. Es empfiehlt sich die Anwendung des sogenannten stabilen Lachman-Testes nach Strobel (Strobel und Stedtfeld 1990). Hierbei wird der Oberschenkel des Patienten auf dem Oberschenkel des Untersuchers positioniert und somit eine entspannte Lagerung der zu untersuchenden Extremität erreicht (Abb. 13). Mit einer Hand wird dann die anteriore tibiale Translation appliziert und die proximale Tibia nach vorne gezogen während die zweite Hand den Oberschenkel stabilisiert und so eine Mitbewegung verhindert. Diese Durchführung eignet sich auch für übergewichtige Patienten.

Da die anteriore tibiale Translation deutliche individuelle Unterschiede aufweisen können, kann eine Interpretation des Ergebnisses nur im Seitenvergleich erfolgen.

Merke

Das Ergebnis eines Stabilitätstest muss immer mit der Gegenseite korreliert werden, um individuelle Unterschiede der Laxizität auszuschließen.

Neben der anterioren tibialen Translation wird bei der Untersuchung zeitgleich der Endpunkt der Translation mit erfasst. Es kann zwischen einem festen Anschlag und einem weichen Anschlag unterschieden werden. Das Erfassen der Qualität des Endpunktes ist insbesondere für das Vorliegen einer hinteren Instabilität (siehe Schubladentests) von klinischer Bedeutung. Liegt bei der Untersuchung ein fester Anschlag vor, so kann dies auf eine VKB Partiaruptur oder insbesondere bei höheren Translationenwerten (abnormal/stark abnormal) auf eine HKB-Läsion hinweisen (Abb. 14). Das Ausmaß des Lachman/Noulis-Tests wird nach Emp-



Abbildung 13
Stabiler Lachman-Test. Der Oberschenkel des Patienten wird stabilisiert und die anterior gerichtete Kraft appliziert.

nischen Praxis erwähnt werden, dass diese subjektiv und in hohem Maße von der Erfahrung des Untersuchers abhängig ist (Boyer et al. 1995).

Instrumentierter Lachman/Noulis-Test

Um den Nachteil der subjektiven Bewertung zu eliminieren wurden instrumentierte Verfahren zur Quantifizierung der anterioren tibialen Translation entwickelt. Es sind mehrere Instrumente dafür zu erwerben. Die am geläufigsten Instrumente sind das Rolimeter (Aircast DJO, Vista, CA, USA, Schuster et al. 2004, Pollet et al. 2005) und das KT 1000 Arthrometer (MEDmetric, Corp, San Diego). Die Verwendung des KT 1000 ist essentieller Bestandteil des IKDC Scores zur wissenschaftlichen Untersuchung klinischer Ergebnisse. Aus diesem Grunde wird das KT 1000 Arthrometer (Daniel et al. 1985) bevorzugt verwendet.

Der Apparat wird mit Hilfe von Klettverschlüssen an der proximalen Tibia befestigt (Abb. 15). Zusätzlich wird ein Gegenlager (ähnlich der Hand der Untersuchers am Oberschenkel) auf der Patella positioniert. Die anteriore tibiale Translation wird nun mit Hilfe eines Streckmessers gemessen, der auf der Tuberositas tibiae positioniert ist. Bei der Kraftapplikation mit dem Handgriff über der Tibia ertönen unterschiedliche akustische Signale bei 6,8 kg, 9,1 kg und 13,4 kg. Die letzte akustische Stufe entspricht einer Last von 134 N und wird für die wissenschaftlichen Auswertung der Ergebnisse verwandt (objektiver Teil des IKDC Scores). Zusätzlich wird die anteriore Translation bei maximaler manueller Kraft bestimmt und anhand der Anzeige abgelesen. Es wird Grundsätzlich die Seitendifferenz herangezogen. Eine unter maximaler Kraft gemessene Seitendifferenz von mehr als 3 mm kann nach Angaben von Ranger et al.

Bewertung Lachman/Noulis-Test	Ausmaß der Schublade	Endpunkt
Normal	1–2 mm	Fest
		Weich
Fast normal	3–5 mm	Fest
		Weich
Abnormal	6–10 mm	Fest
		Weich
Stark abnormal	> 10 mm	Fest
		Weich

Abbildung 14
Einteilung Lachman/Noulis-Test.

fehlungen des internationalen Knie Dokumentations Komitees (IKDC) in 4 Grade eingeteilt: normal (1–2 mm Schublade), fast normal (3–5 mm Schublade), abnormal (6–10 mm

Schublade), und stark abnormal (>10 mm Schublade) (Irrgang et al. 1998).
 Einschränkung muss bei der Analyse des Lachman/Noulis-Tests in der kli-

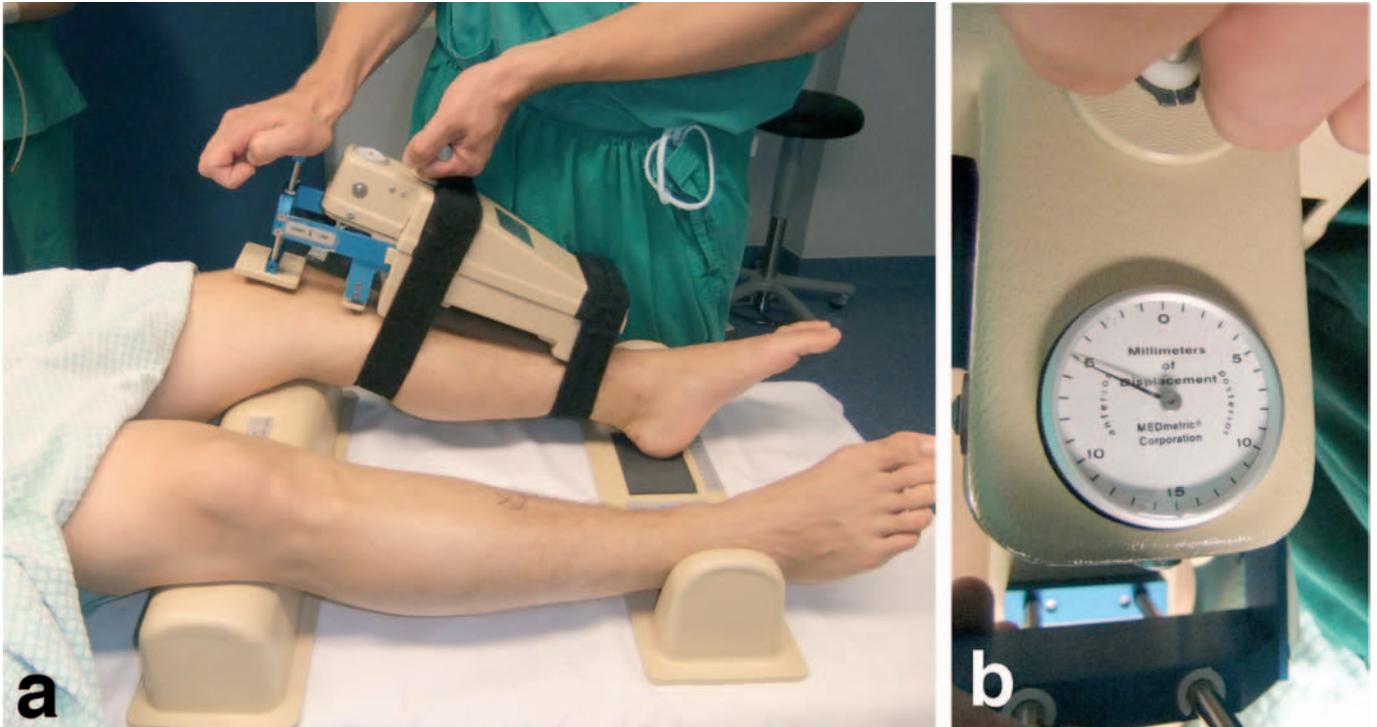


Abbildung 15
Instrumentierte Messung der anterioren tibialen Translation mittels KT 1000-Test. Das Gerät wird an der proximalen Tibia platziert (a) und die anteriore tibiale Translation bestimmt (b).

(1993) bei 99% der Patienten mit chronischer Instabilität und bei 95% der Patienten mit einer akuten VKB Ruptur nachgewiesen werden.

Lemaire/Pivot shift-Test

Im Gegensatz zu den statischen Tests der anterioren tibialen Translation handelt es sich bei dem erstmalig 1967 von Lemaire beschriebenen Test um einen dynamischen anterioren Subluxations-Test (Lemaire 1967). Der Test gewann deutlich an Bedeutung durch die spätere Publikation von Galway and MacIntosh als Pivot Shift-Test (Galway and MacIntosh 1980). Anhand dieses Testes kann die Indikationsstellung und das operative Ergebnis eingeschätzt werden. Kocher et al. konnten im Rahmen einer aufwendig angelegten Studie zeigen, dass die subjektive Patientenzufriedenheit nicht mit dem Lachman oder



Abbildung 16
Durchführung des Pivot shift-Tests. Durch Innenrotation und Valgusstress kommt es in geringen Flexionsgraden zur Subluxation des lateralen Tibiaplateaus (a). Mit zunehmender Flexion kommt es aufgrund der Spannungs- und Zugrichtungsänderung des Tractus iliotibialis zur Reposition der Subluxation (b).

	Repositionsphänomen	Bewertung
Normal	Seitengleich	negativ
Fast normal	Gleiten, leicht	+
Abnormal	Subluxation, dumpf	++
Stark abnormal	Kurze Blockade, laut	+++

Abbildung 17
Einteilung Pivot shift-Test.

der vorderen Schublade korreliert, sondern mit dem Pivot shift-Test (Kocher et al. 2004).

Bei der Ausführung wird das gestreckte Bein mit der einen Hand am Sprunggelenk angehoben und innenrotiert (Abb. 16). Mit der anderen Hand wird auf Höhe der proximalen Tibia ein leichter Valgusstress appliziert (Kanamori et al. 2000). Bei einer VKB-Ruptur kommt es so zu einer anterioren Subluxationsstellung des lateralen Tibiaplateaus. Nun wird eine zunehmende Flexionsbewegung durchgeführt. Aufgrund der Spannungszunahme und die Änderung der Zugrichtung des Tractus iliotibialis kommt es ab ca. 20–30° zu einer Reposition der anterioren Subluxationsstellung (Abb. 16). Aufgrund der auftretenden Kräfte bei der Reposition sollte der Test nicht repetitiv durchgeführt werden. Der Repositionsvorgang kann gleitend, dumpf oder mit einem Blockadephänomen einhergehen und ist häufig mit einem unangenehmen Instabilitätsgefühl des Patienten verbunden (Abb. 17). Der Test kann wie auch der Lachman/Nouliis-Test gut in der Narkoseuntersuchung durchgeführt werden.

Da sowohl falsch positive (bei genereller Laxizität) als auch falsch negative Ergebnisse vorliegen können, besitzt der Pivot shift-Test eine hohe Spezifität (98%) aber geringe Sensi-

tivität (Benjaminse et al. 2006). Ein falsch negatives Ergebnis kann bei durch Anspannung der ischiokruralen Muskelatur (bei akuter Verletzung, durch externe Kompression (aufgepumpte Blutsperre) oder bei assoziierten Verletzungen auftreten. Bei Verletzungen des Tractus iliotibialis kann z. B. keine Kraft zur Reposition übertragen werden und so der Test negativ ausfallen.

► Merke ◀

Die Durchführung von präoperativen Stabilitätstest in Narkose (Lachman und Pivot Shift) sollte ohne Blutsperre erfolgen, da es die Kompression der Muskulatur zum Ausbleiben der pathologischen Instabilitäten führen kann.

Röntgenuntersuchung

Standarddiagnostik

Eine projektionradiographische Untersuchung der verletzten Extremität sollte als obligat angesehen werden. Neben der konventionellen Darstellung des Kniegelenkes in ap und seitlichen Strahlengang sowie Patella axial unterscheiden sich die weiteren radiographischen Untersuchungsgänge im akuten und chronischen Stadium deutlich.

Mit Hilfe der radiologischen Diagnostik können indirekte Hinweise eine VKB Ruptur gewonnen werden. Von der klinischen Symptomatik ist eine Unterscheidung zwischen einer ligamentären Instabilität und einer anterioren Eminentia-Fraktur meist nicht möglich (Moore et al. 1987). Beide sind mit einem Hämarthros und Schmerzen assoziiert. Neben einer Punktion zur Feststellung von Fettaggen kann mit einer projektionradiographischen Darstellung schnell differenziert werden (Abb. 18). Der knöcherne VKB Ausriss kommt nicht nur bei Patienten mit offenen sondern auch bei Patienten mit geschlossenen Wachstumsfugen vor. Der Dislokationsgrad wird nach Meyer und McKeever (1970) klassifiziert (Abb. 19). Zu der ursprünglichen Einteilung wurde 1977 von Zaricznyi noch der Typ IV hinzugefügt (Zaricznyi 1977, siehe Kap. Kindliche Rupturen).

Als pathognomonisches radiologisches Zeichen für eine ligamentäre Ruptur gelten das sogenannte Sulcus-Zeichen und die Segondfraktur. Beim Sulcus-Zeichen handelt es sich um eine Impaktion des lateralen Femurcondylus in Höhe der Linea terminalis (Abb. 20). Diese beruht mit großer Wahrscheinlichkeit auf der stattgehabten Subluxationsstellung des lateralen Tibiaplateaus und dem Anschlag an die laterale Femurcondyle (siehe Kap. Assoziierte Verletzungen). Die Segondfraktur umschreibt einen assoziierten knöchernen Ausriss des lateralen Kapselbandapparates an seiner Insertion am lateralen Tibiaplateau (Abb. 21) und umschreibt *nicht* einen knöchernen Ausriss des lateralen Kollateralbandes. Dieser inseriert am Caput fibulae während die Fraktur an der Tibia lokalisiert ist. Selten besteht bei der Segondfraktur eine Indikation zur operativen Therapie des Fragmentes selbst. Sie gilt jedoch als hinweisend für eine VKB-Ruptur.

Abbildung 18
Anteriore Eminentia Frakturen. Ein knöcherner Ausriss des VKB Ansatzes kommt bei offenen (a) und geschlossenen (b) Wachstumsfugen vor.

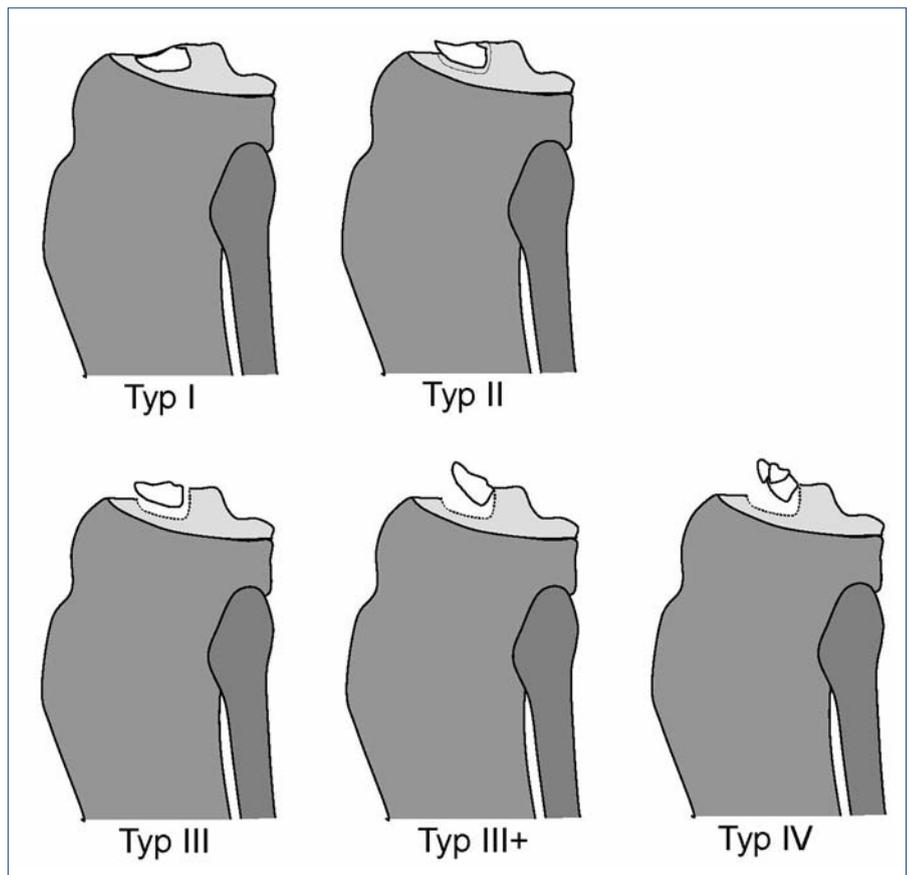
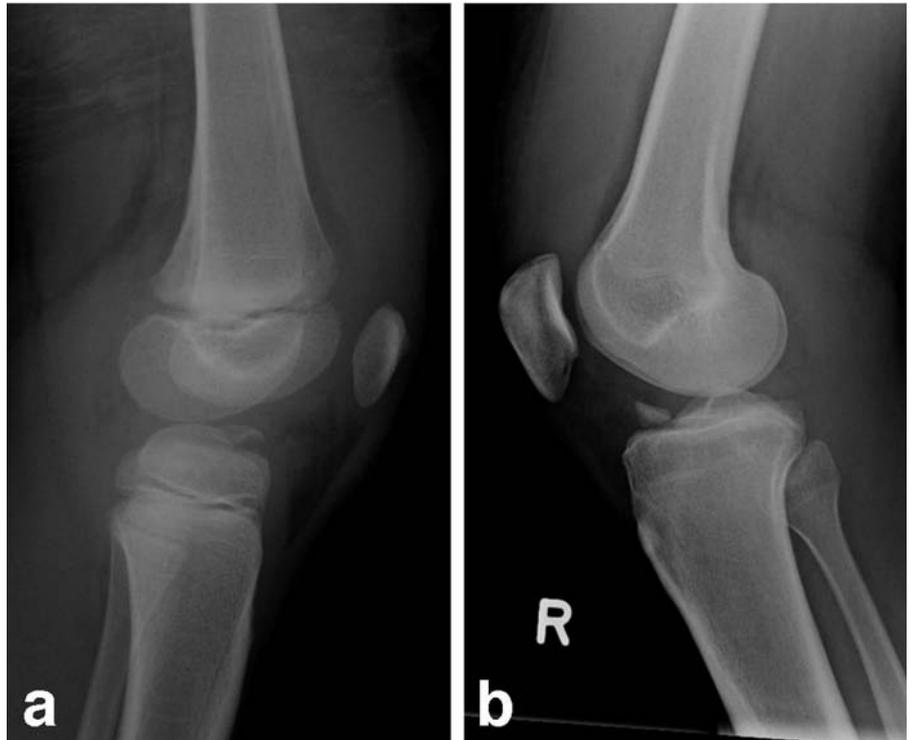


Abbildung 19
Einteilung der anterioren Eminentiafrakturen nach Meyers und McKeever.



Abbildung 20
Typisches Sulcus Zeichen im seitlichen Strahlengang. Das Zeichen ist bei geringerer Ausprägung auch nur im MRT darzustellen.



Abbildung 21
Segond Fraktur. Hierbei kommt es zu einem knöchernen Kapselausriss an der anterolateralen Tibia.

Weiterführende radiologische Diagnostik

Rosenbergaufnahme

Im chronischen Stadium kann eine instabilitätsbedingte Osteoarthrose vorliegen. Eine sensitive Möglichkeit zur Abbildung degenerativer Veränderung ist die sogenannte Rosenbergaufnahme. Mit Hilfe dieser Aufnahme kann der Gelenkspalt in einer der meistbelastesten der Region beurteilt werden. Die Aufnahme erfolgt im Stehen bei 45° gebeugten Kniegelenk und 10° cranio-caudal gekippter Röhre im pa Strahlengang (Abb. 22). Neben einer Verschmälerung des Gelenkspaltes kann auch ein typischer Notchosteophyt dargestellt werden.

Standbeinachse

Eine mögliche Ursache der einseitig betonten Gelenkspaltverschmälerung, könnte eine Varus-/Valgusdeformität sein. Die präzise Bestimmung der

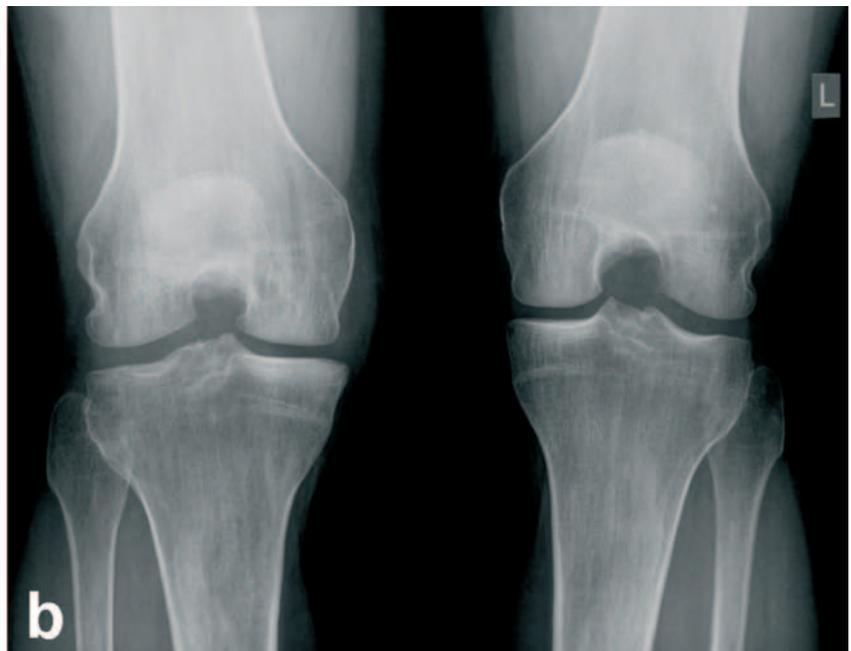


Abbildung 22
Rosenbergaufnahme. Die Aufnahme erfolgt im Stehen bei 45° gebeugten Kniegelenk und 10° cranio-caudal gekippter Röhre im pa-Strahlengang (a). Als Zeichen einer chronischen VKB-Insuffizienz zeigen sich rechtsseitig Notchosteophyten (b).

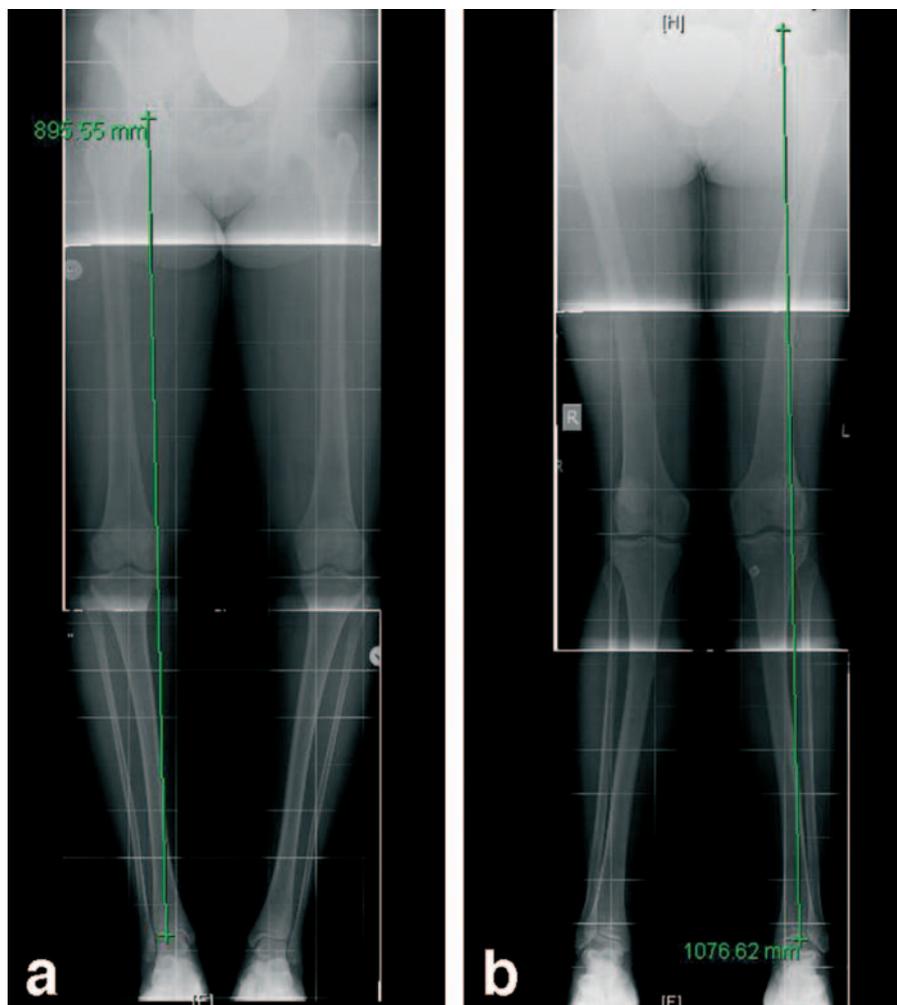


Abbildung 23
Ganzbeinstandaufnahme. Das Vorliegen einer Varusdeformität (a) oder Valgusdeformität (b, VKB Rezidivinstabilität) sollte präoperativ überprüft werden.

Achsverhältnisse kann anhand einer Ganzbeinstandaufnahme erfolgen. Die Standachse verbindet das Zentrum des Femurkopfes mit dem Zentrum des oberen Sprunggelenkes (Mikulicz-Linie). Die Mikulicz-Linie schneidet physiologischer Weise die Mitte der Kniebasislinie. Weicht diese deutlich nach medial ab, so besteht eine Varusdeformität, weicht diese nach lateral ab, ist eine Valgusdeformität vorhanden (Abb. 23). Eine mögliche Achsdeviation sollte präoperativ abgeklärt werden, da an-

sonsten die Gefahr einer Rezidivinstabilität erhöht ist.

➤ Merke ◀

Bei VKB-Ruptur und ausgeprägten Abweichen der Standbeinachse von der Mittellinie im Sinne einer Varus-/Valgusdeformität steht zunächst eine Korrektur der Beinachse im Vordergrund.

Gehaltene Varus-/Valgusstress-Aufnahmen

Sollte bei der klinischen Untersuchung eine pathologische Aufklappbarkeit des medialen oder lateralen Kollateralbandkomplexes auffallen, so sind im chronischen Stadium gehaltene Varus-/Valgusstress-Aufnahmen hilfreich. Mit Hilfe eines externen Apparates (z. B. TELOS) kann in Extensionsstellung auf Höhe des Gelenkspaltes eine Krafteinwirkung im Varus- oder Valgussinne erfolgen, die dann anhand des Röntgenbildes quantifiziert werden kann (Abb. 24). Eine deutliche Aufklappbarkeit weist auf eine MCL/LCL Läsion hin, die mit in die operative Planung einfließen sollte (Abb. 25).

Gehaltene hintere Schubladenaufnahmen

Gehaltene Aufnahmen die einzige Methode, mit denen Läsionen des hinteren Kreuzbandes sicher diagnostiziert und eine hintere Instabilität quantifiziert werden kann (Jung et al. 2006, Mariani et al. 2005, Strobel und Stedfeldt 1991, Strobel et al. 2002). Da hintere Instabilitäten klinisch leicht mit vorderen Instabilitäten verwechselt werden können, sollte bei geringstem Verdacht auf eine hintere Instabilität eine gehaltene Aufnahme zur Standarddiagnostik gehören (Abb. 26). In 90°-Beugung wird das Knie in einem Apparat (z. B. Telos) fixiert und eine standardisierte Kraft von 15 N auf die proximale Tibia appliziert (Abb. 27). Auf der seitlichen Aufnahme kann die posteriore tibiale Translation gemessen und mit der Gegenseite verglichen werden. Eine posteriore Translation von mehr als 5 mm im Seitenvergleich spricht für eine Läsion des hinteren Kreuzbandes. Ab mehr als 13 mm besteht häufig eine zusätzliche Läsion der posterolateralen oder posteromedialen Strukturen. Aufgrund der kom-

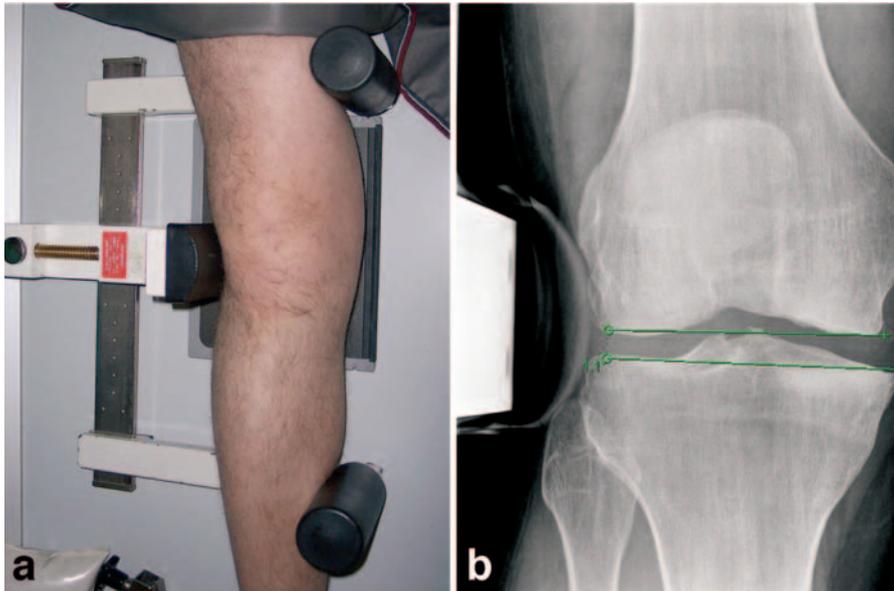


Abbildung 24
Gehaltene Aufnahme im Varusstress. Die Kraft wird auf Höhe des lateralen Gelenkspaltes appliziert (a). Anhand des ap Bildes erfolgt die Quantifizierung der medialen Aufklappbarkeit (b, keine vermehrte Aufklappbarkeit).

plexen Diagnostik und therapeutischen Strategien verweisen wir beim Vorliegen hinterer Instabilitäten auf die Fachliteratur (Strobel und Weiler 2009, Petersen et al. 2010, Zantop und Petersen 2010).

Schnittbildgebung

Computertomographie

Die Computertomographie besitzt im Rahmen der Diagnostik nach VKB Ruptur nur eine untergeordnete Stellung. Eine mögliche Indikation zur CT besteht bei anterioren Eminentiafrakturen. Bei Rezidivinstabilität besitzt die CT eine wichtige Funktion. Hier kann anhand der Schnittbildgebung die Tunnelweite sicher beurteilt werden. Auch die Implantatlage (Titaninterferenzschrauben im tibialen Tunnel) kann sicher eingeschätzt werden. Dreidimensionale Rekonstruktionen erlauben eine präzise Bestimmung der Bohrkanalposition und können so die Planung von

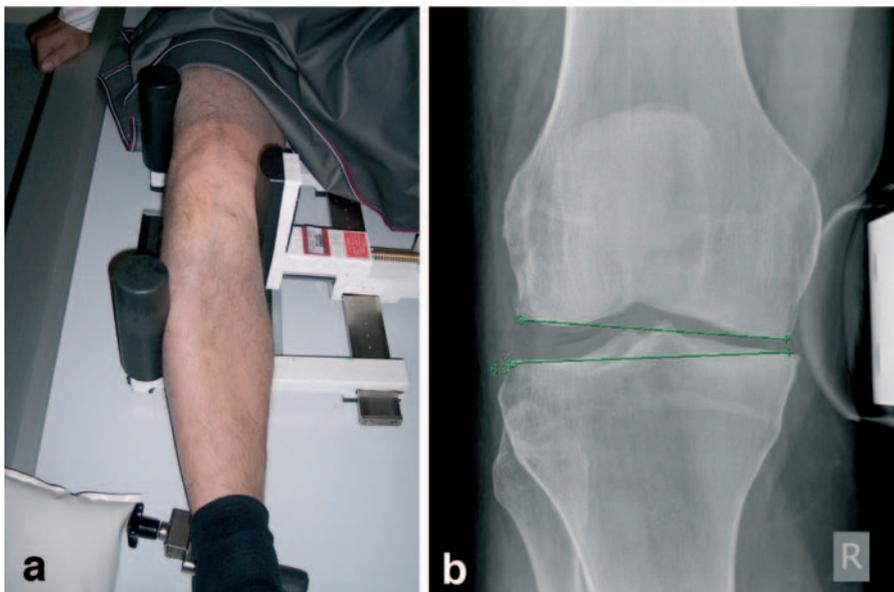


Abbildung 25
Gehaltene Aufnahme im Valgustress. Die Kraft wird auf Höhe des medialen Gelenkspaltes appliziert (a). Lateral erfolgt eine deutliche Aufklappung und damit der Nachweis einer lateralen extra-artikulären Instabilität.

Indikation zur gehaltenen hinteren Schubladenaufnahme

Positive vordere Schublade mit festen Anschlag

Verdächtiger Verletzungsmechanismus (Hyperextension, Sturz auf Tuberositas, Hochrasanz)

Zweifel an der Diagnose „isolierte VKB Läsion“

Rezidivinstabilität nach VKB-Rekonstruktion

Abbildung 26
Indikation zur gehaltenen hinteren Schubladenaufnahme.

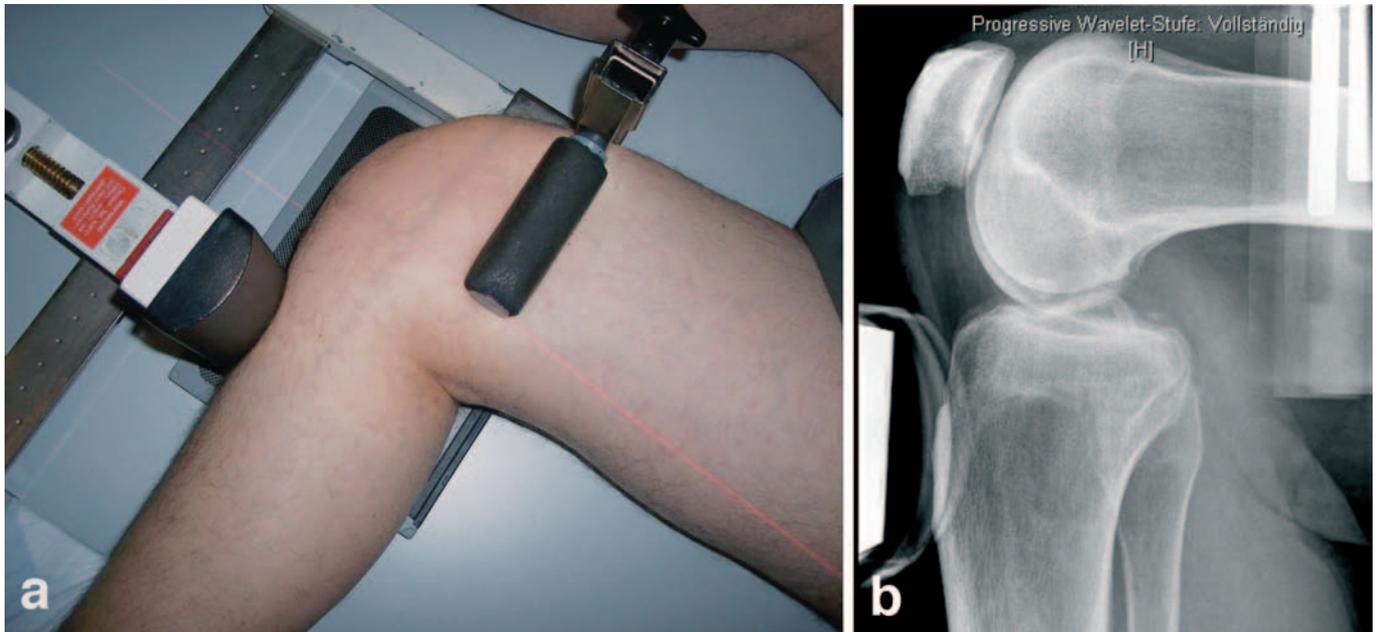


Abbildung 27
Hintere gehaltene Schubladenaufnahmen. Mit Hilfe eines TELOS Gerätes wird eine posterior gerichtete Kraft von 15 kp auf die Tuberositas tibiae appliziert (a). Anhand des möglichst streng lateral eingestellten Bildes wird die posteriore tibiale Translation ausgemessen (b).

Revisionsoperationen erheblich erleichtern.

Magnetresonanztomographie

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes kann durch eine gute klinische Diagnostik gesichert werden. Trotzdem ist die Durchführung einer präoperativen MRT Diagnostik sinnvoll und hilfreich. Hierbei gilt es assoziierte Läsionen zu erfassen, die den postoperativen Ablauf signifikant beeinflussen können (z. B. längerfristige Teilbelastung).

Merke

Die MRT-Untersuchung kann keine funktionelle Analyse des VKB bieten. Vielmehr ist die Indikation zur Operation basierend auf den Befunden der klinischen Untersuchung.

Neben refixationswürdigen Meniskusrisen lassen sich mit Hilfe der MRT auch Knorpelläsionen oder undislozierte Tibiakopffrakturen diagnostizieren (Moore et al. 1987, Raschke et al. 2007). Anhand von Stressreaktionen am Knochen (Bone bruise) können Rückschlüsse auf den Unfallmechanismus geschlossen werden. Die Sensitivität der MRT-Diagnostik der VKB-Läsion beträgt zwischen 92 und 100%, die Spezifität beträgt zwischen 85 und 100% (Starman et al. 2007, Sanders et al. 2005). In Abhängigkeit von der Verletzungsschwere und vom Abstand zum Unfallereignis lassen sich unterschiedliche Befunde erheben (Ödem, i. a. Erguss). Damit ist die MRT für gutachterliche Fragestellungen bei denen Unfallzusammenhang im Vordergrund steht, die Methode der Wahl.

Die beste Darstellung der Fasern des VKBs können in schräg sagittalen Rekonstruktionen der T1-Wichtung.

Hier erscheint das VKB als schmales dunkles Band mit schwacher Signalintensität (Abb. 28) (Sanders et al.



Abbildung 28
MRT-Darstellung des intakten VKB in der T1- Wichtung und sagittaler Schnittebene.

MRT-Befunde bei VKB-Ruptur	
Direktes Zeichen	Indirektes Zeichen
Kontinuitätsunterbrechung	Buckling des HKBs
Signalunregelmäßigkeiten im VKB-Verlauf	Bone bruise
Empty notch-Zeichen	
Veränderungen des Anstiegswinkels	

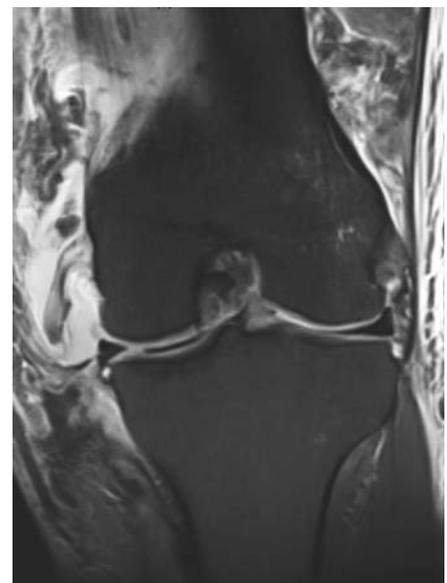
◀ Abbildung 29
MRT-Befunde bei VKB-Ruptur.

Abbildung 30
MRT-Beispiel der direkten Zeichen einer VKB-Ruptur. a) Kontinuitätsunterbrechung, b) fehlende Abgrenzbarkeit, c) reduzierter Anstiegswinkel. ▼



◀ Abbildung 31
MRT-Beispiel indirekter Zeichen bei VKB-Ruptur: gebuckelter Faserverlauf der HKB-Fasern. Durch die VKB-Ruptur kommt es zur anterioren Subluxationsstellung und somit zur Annäherung der HKB-Insertionspunkte in der Sagittalebene. Somit kommt es zu gebuckeltem Verlauf des HKBs („Krückstock-Zeichen“).

Abbildung 32
MRT-Beispiel einer komplexen Innenbandruptur. Insbesondere tibiale Avulsionen mit anatomischer Lage der Rupturenden auf dem Pes anserinus superficialis und somit hohen Knochenkontakt haben eine schlechte Heilungstendenz. ▶



2005). Es verläuft vom posteromedialen Aspekt des Femurcondylus zur Eminentia intercondylaris mit einem Neigungswinkel zum Tibiaplateau zwischen 52 und 56° (Starman et al. 2007, Steckel et al. 2007).

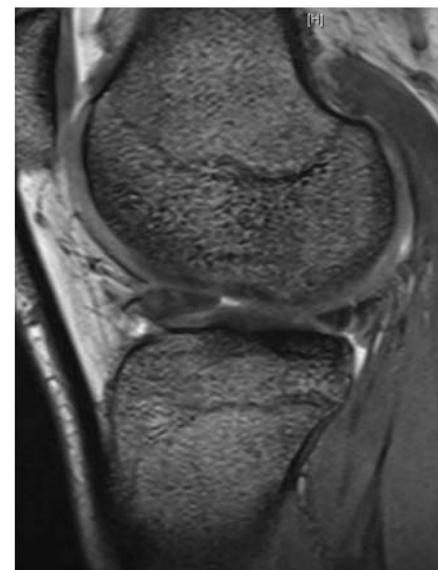
Pathologien im Sinne einer VKB-Ruptur können in direkte und indirekte MRT Zeichen eingeteilt werden (Abb. 29). *Direkte* Zeichen sind Kontinuitätsunterbrechung, Signalunregelmäßigkeiten im Bandverlauf oder gar das Fehlen des VKB (Empty notch). Bei subakuten Verletzungen (3–4 Wochen nach dem Unfallereignis) beeindruckt die gerissenen VKB-Fasern durch einen horizontalen Verlauf (<52° Neigungswinkel) (Abb. 30). Ein häufiges *indirektes* Zeichen einer VKB Ruptur ist das Buckelphänomen des hinteren Kreuzbandes. Durch die vordere Subluxationsstellung der proximalen Tibia kommt es zu einer Annäherung der Insertionspunkte und somit zum Buckeln des intakten HKBs (Abb. 31). Ein weiteres indirektes Zeichen ist das Auftreten von Knochenkontusionen (bone bruise). Ursächlich für das bone bruise ist die Subluxation zum Zeitpunkt der Verletzung. Somit kann anhand der Lokalisation des bone bruise auch Rückschlüsse auf den Verletzungsmechanismus gezogen werden (Abb. 31). In der T2-



Abbildung 33
MRT-Beispiel des bone bruise. Knochenkontusionen im lateralen Femurcondyl.

Abbildung 34
MRT-Beispiel eines lateralen dislozierten Korbhakenrisses des Außenmeniskus. In sagittaler Ebene zeigt sich das Hinterhorn nach anterior luxiert (a). In der Frontalebene ist der Meniskus in die Fossa intercondylaris eingeschlagen und führt somit zu einem schmerzhaften Extensionsdefizit (b).

Abbildung 35
MRT-Beispiel eines Meniskusrisses mit ggf. Refixationsmöglichkeit. Der Longitudinalriss scheint Ober- und Unterfläche zu erreichen.



Wichtung führt ein Valgus/Innenrotationstrauma häufig zu korrespondierenden Signalanhebungen im lateralen Femurkondylusbereich (siehe Sulcus Zeichen) und in der posterolateralen Tibia (sogenannte kissing lesions). Daher wird das korrespondierende Knochenödem auch als „Pivot shift-Zeichen“ bezeichnet. Es scheint jedoch keine wissenschaftlich begründeten Aussagen zur Verlängerung der Teilbelastung bei vorhandenem bone bruise zu geben. Bei diesem Verletzungsmechanismus kann es auch zur Läsion im Verlauf des medialen Kollateralbandkomplexes kommen. Diese kann mit Hilfe der frontalen Schichten abgebildet werden (Abb. 32).

Ein großer Vorteil der MRT liegt in der Darstellung begleitender Meniskus-Läsionen. Die Funktion des MRTs ist hier insbesondere für die Wahl des OP Zeitpunktes (siehe Kapitel OP Indikation) wichtig. Sollte auf den frontalen oder sagittalen Schichten ein dislozierter Korbhenkel diagnostiziert werden können, so ist über eine zügige OP-Durchführung zu diskutieren (Abb. 33). Eine Dislokation des medialen Meniskus in die Fossa intercondylaris wird als „doppeltes HKB-Zeichen“ definiert. Insbesondere für den Sportler sind Aussagen für die postoperative Rehabilitation wichtig. Aus diesem Grund sollte bei der MRT-Diagnostik auf Meniskusläsionen, die refixierwürdig sind, besonders geachtet werden. Diese lassen sich häufig als longitudinale Meniskusläsion auf sagittalen T2-Wichtungen diagnostizieren. Der Patient sollte präoperativ über eine mögliche Refixation und die sich anschließende verlängerte Teilbelastung aufgeklärt werden.

Literatur

Agneskirchner JD, Lobenhoffer P (2004). Arthroscopic meniscus surgery: technical-operative methods. *Unfallchirurg* 107(9): 795–801.

- Arendt E, Dick R. Knee injury pattern among men and women in collegiate basketball and soccer: NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med* 1995; 23: 695–701.
- Boyer P, Djan P, Christel P, Paoletti X, Degeorges R, Ballantyne BT, French AK, Heimsoth SL, Kachingwe AF, Lee JB, Soderberg GL. Influence of examiner experience and gender on interrater reliability of KT-1000 arthrometer measurements. *Phys Ther*. 1995 Oct; 75(10): 898–906.
- Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006 May; 36(5): 267–288.
- Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries, Part II. *Am J Sports Med* 2005; 33: 1751–1767.
- Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopaedics* 2000; 23: 573–578.
- Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med*. 1985 Nov–Dec; 13(6): 401–407.
- Donaldson WF 3rd, Warren RF, Wickiewicz T. A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations. Initial versus examination under anesthesia. *Am J Sports Med*. 1985 Jan–Feb; 13(1): 5–10.
- Ettliger CF, Johnson RJ, Shealy JE. A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med* 1995; 23(5): 531–537.
- Fanelli GC. Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients. *Arthroscopy*. 1993; 9(3): 291–294.
- Galway HR, MacIntosh DL. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*. 1980 Mar–Apr; (147): 45–50.
- Hackenbruch W, Müller W. Examination of the injured knee joint. *Orthopade*. 1987 Apr; 16(2): 100–112.
- Irrgang JJ, Ho H, Harner CD, Fu FH. Use of the International Knee Documentation Committee guidelines to assess outcome following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1998; 6(2): 107–114.
- Jakob RP, Stäubli HU, Deland JT. Grading the pivot shift. Objective tests with implications for treatment. *J Bone Joint Surg Br*. 1987 Mar; 69(2): 294–299.
- Jung TM, Reinhardt C, Scheffler SU, Weiler A. Stress radiography to measure posterior cruciate ligament insufficiency: a comparison of five different techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006 Nov; 14(11): 1116–1121.
- Jonsson H, Riklund-Åhlström K, Lind J (2004). Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis. 63 patients followed 5–9 years after surgery. *Acta Orthop Scand* 75 (5): 594–599.
- Kocher MS, Steadman JR, Briggs K, et al. Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg* 2002; 84A: 1560–1572.
- Katz JW, Fingerhuth RJ. The diagnostic accuracy of ruptures of the anterior cruciate ligament comparing the Lachman test, the anterior drawer sign, and the pivot shift test in acute and chronic knee injuries. *Am J Sports Med*. 1986 Jan–Feb; 14(1): 88–91.
- Kanamori A, Zeminski J, Rudy TW, Li G, Fu FH, Woo SL. The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament: a biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthroscopy*. 2002 Apr; 18(4): 394–398.
- Mariani PP, Margheritini F, Christel P, Bellelli A. Evaluation of posterior cruciate ligament healing: a study using magnetic resonance imaging and stress radiography. *Arthroscopy*. 2005 Nov; 21(11): 1354–1361.
- Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* 1970; 52: 1677.
- Moore TM, Patzakis MJ, Harvey JP. Tibial plateau fractures: definition, demographics, treatment rationale, and long-term results of closed traction management or operative reduction. *J Orthop Trauma*. 1987; 1(2): 97–119.
- Noulis GC. Sprains of the knee. 1875. *Clin Orthop Relat Res*. 1997 Aug; (341): 5–6.
- Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R: Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball – a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 2004; 32: 1002–1012.
- Petersen W, Rosenbaum D, Raschke M. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2005, 56: 151–156.
- Petersen W, Zantop T, Rosenbaum D, Raschke M. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 2: Präventionsstrategien und Präventionsprogramme. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2005, 56: 156–164.
- Petersen W, Zantop T. Partial rupture of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2006 Nov; 22(11): 1143–1145.
- Petersen W, Zantop T (2009). Das vordere Kreuzband. *Deutscher Ärzteverlag*, Köln.
- Petersen W, Zantop T. Arthroscopic reconstruction of the anterolateral bundle of the posterior cru-

- cruciate ligament in single-bundle technique with autologous hamstring grafts]. *Oper Orthop Traumatol.* 2010 Oct; 22(4): 354–372.
- Pollet V, Barrat D, Meirhaeghe E, Vaes P, Handberg F. The role of the Rolimeter in quantifying knee instability compared to the functional outcome of ACL-reconstructed versus conservatively-treated knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005 Jan; 13(1): 12–18.
- Rangger C, Daniel DM, Stone ML, Kaufman K. Diagnosis of an ACL disruption with KT-1000 arthrometer measurements. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993; 1(1): 60–66.
- Raschke M, Zantop T, Petersen W (2007). Fracture of the tibial head]. *Chirurg* 78(12): 1157–1169.
- Rudolph KS, Axe MJ, Buchanan TS, Scholz JP, Snyder-Mackler L. Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001; 9(2): 62–71.
- Rupp S, Seil R, Kohn D (2002). Meniscus lesions. *Orthopade* 31(8): 812–828.
- Sanders TG, Miller MD. A systematic approach to magnetic resonance imaging interpretation of sports medicine injuries of the knee. *Am J Sports Med.* 2005 Jan; 33(1): 131–148.
- Schulz M, Weiler A, Strobel M. Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003 May; 123(4): 186–191.
- Schuster AJ, McNicholas MJ, Wachtl SW, McGurty DW, Jakob RP. A new mechanical testing device for measuring anteroposterior knee laxity. *Am J Sports Med.* 2004; 32(7): 1731–1735.
- Solomon DH, Simel DL, Bates DW, Katz JN, Schaffer JL (2001) The rational clinical examination. Does this patient have a torn meniscus or ligament of the knee? Value of the physical examination. *JAMA*; 286(13): 1610–1620.
- Starman JS, Vanbeek C, Armfield DR, Sahasrabudhe A, Baker CL 3rd, Irrgang JJ, Fu FH. Assessment of normal ACL double bundle anatomy in standard viewing planes by magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 May; 15(5): 493–499.
- Steckel H, Vadala G, Davis D, Musahl V, Fu FH. 3-T MR imaging of partial ACL tears: a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 May 12.
- Steinbrück K, Wiehmann JC. [Examination of the knee joint. The value of clinical findings in arthroscopic control] *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1988 May–Jun; 126(3): 289–295.
- Strobel MJ, Weiler A, Schulz MS, Russe K, Eichhorn HJ. Fixed posterior subluxation in posterior cruciate ligament-deficient knees: diagnosis and treatment of a new clinical sign. *Am J Sports Med.* 2002 Jan–Feb; 30(1): 32–38.
- Strobel MJ, Weiler A (2008). Hinteres Kreuzband. Endopress, Tuttlingen.
- Strobel MJ, Zantop T (2010). Vorderes Kreuzband. Endopress, Tuttlingen.
- Strobel M, Stedfeldt. *Diagnostics of the knee.* Springer, New York, Heidelberg, Tokio, 1991.
- Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med.* 1976 Mar–Apr; 4(2): 84–93.
- Yastrebov O, Lobenhoffer P (2009). Treatment of isolated and multiple ligament injuries of the knee: anatomy, biomechanics, diagnosis, indications for repair, surgery] *Orthopade* 38(6): 563–580.
- Wirth CJ, Kolb M. Hemarthrosis and the isolated anterior cruciate ligament lesion. Value of clinical diagnosis] *Unfallchirurg.* 1985 Sep; 88(9): 419–423.
- Zaricznyj B. Avulsion fracture of the tibial eminence: treatment by open reduction and pinning. *J Bone Joint Surg Am* 1977; 59: 1111–1114.
- Zantop T, Petersen W (2010). [Modified Larson technique for posterolateral corner reconstruction of the knee]. *Oper Orthop Traumatol.* Oct; 22(4): 373–386.
- Zantop T, Petersen W (2010). Therapeutischer Algorithmus bei hinterer Knieinstabilität. *Arthroskopie* Volume 23; 40–48.

VORDERES KREUZBAND OP-INDIKATION

*Gerhard Bauer, Matthias Buchner, Holger Schmitt, Martin Engelhardt,
Michael Krüger-Franke, Karl-Peter Benedetto, Hermann Mayr, Andree Ellermann,
Oliver Miltner*

Trotz der stetig steigenden Zahlen an VKB-Ersatzplastiken nach primärer VKB-Ruptur gibt es weiterhin Patienten, welche konservativ therapiert werden und subjektiv zufrieden sind.

Ziel dieses Artikels ist es einen Überblick über Einflussfaktoren zu geben, welche das Outcome bei konservativer Therapie positiv bzw. negativ beeinflussen und daraus einen Leitfaden an die Hand zu geben, um die Entscheidung im klinischen Alltag zu erleichtern.

Natürlicher Verlauf des instabilen Kniegelenkes

Eine der wichtigsten Fragen, die sich nach einer vorderen Kreuzbandruptur stellt ist, wie sich das instabile Kniegelenk ohne operative Versorgung entwickelt. Wie wir heute wissen kommt es durch die erhöhten Scherkräfte in einer hohen Anzahl zu Meniskuläsionen. Die Inzidenzen liegen nach einem Jahr bei 40%, nach 5 Jahren bei 60% und nach 10 Jahren bei 80% [Levy und Meier 2003].

Bislang liegt jedoch noch keine Studie vor, welche belegt, dass es bei allen Patienten mit vorderer Kniegelenksinstabilität zu Sekundärschäden oder degenerativen Veränderungen kommt.

Es konnten einige wenige Parameter als Einflussfaktoren auf die Entwicklung von Sekundärschaden beim instabilen Knie evaluiert werden. Hierzu zählt unter anderem die Aktivität und die ausgeübte Sportart. Insbesondere für „high-risk pivoting sports“ wurden im Verlauf radiologische Veränderungen des Kniegelenkes gefunden [Fink et al. 2001].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass je aktiver der Patient mit insta-

bilem Kniegelenk ist, umso häufiger treten sekundäre Läsionen auf.

Probleme der Studienlage

Die aktuelle Studienlage zur Arthroseentwicklung nach VKB-Ruptur und VKB-Rekonstruktion ist mit Vorsicht zu betrachten. Es liegen nur wenige und v. a. ältere Studien vor, welche die Ergebnisse nach heute nicht mehr verwendeten Operationsverfahren darstellen.

Eine Metaanalyse aus 2004 mit 33 klinischen Studien zeigte eine Osteoarthrosebildung nach VKB-Ruptur trotz operativer Rekonstruktion [Lohmander et al. 2004]. Limitierend ist hierzu anzumerken, dass v. a. ältere Studien ohne moderne Operationsprinzipien eingeschlossen wurden. Hierzu zählen offene Rekonstruktionen, isolierte VKB-Rekonstruktionen bei multiligamentären Verletzungen und die postoperative Gipsimmobilisation.

Bei Patienten mit früher Rekonstruktion (<12. Woche) konnte eine geringere Arthroserate von 11% im Vergleich zur späten Rekonstruktion (median 5,6 Jahre) mit 50% gefunden werden [Johma et al. 1999].

Eine Cochran-Analyse von 2005 zum Vergleich operativ vs konservativ fand lediglich 2 Studien, welche jedoch ältere OP-Verfahren und Rehabilitationsmaßnahmen verwendeten und aufgrund fehlender kontrolliert-randomisierter Studien keine Evidenz nachwies [Linko et al 2005]. In einem 10-Jahres-Follow-up konnten Engebretsen et al. 2009 eine Arthrose-Inzidenz von 13% bei isolierter VKB-Ruptur und von 48% bei zusätzlicher Meniskusläsion zeigen. Somit stellt die Meniskusläsion eine wichtige Sekundärverletzung im Entstehungsmechanismus der Osteoarthrose dar.

VKB-Trauma Kaskade

Das primäre Trauma, welches in der Regel durch einen Varusstress-/Innenrotationsmechanismus entsteht, führt nicht selten auch zu initialen Verletzungen der Menisken und des Gelenkknorpels. Die Inzidenz der primären Meniskusverletzung begleitend zur VKB-Ruptur wird in der Literatur mit 15–50% angegeben [Levy und Meier 2003, Lohmander et al. 2007]. Bezogen auf die Lokalisation fanden Spindler et al. [1993] in 56% ihrer Patienten laterale Meniskusverletzungen und in 37% mediale Meniskusverletzungen.

Chondrale Defekte können in 23% bei akuter VKB-Ruptur und in 54% bei chronischer vorderer Instabilität gefunden werden [Shelbourne et al. 2003]. Diese Defekte bestehen v.a. an der lateralen Femurkondyle. Die Studienergebnisse bezüglich des Outcomes der Patienten mit begleitendem chondralen Defekt im Rahmen der VKB-Ruptur sind widersprüchlich. Während Shelbourne et al. 2003 einen signifikant schlechteren IKDC-Score 6 Jahre nach Trauma im Vergleich zu einer Kontrollgruppe sieht, konnte Wu et al. 2002 keine Differenz in einem 10-Jahres-Follow-up feststellen. Ge-

zeigt werden konnte jedoch durch mehrere Autoren, dass ein initialer posttraumatischer Knorpelschaden im Follow-up zu einer vermehrten Osteoarthrosebildung führt.

Diese Arthroseentwicklung lässt sich auch durch eine erfolgreiche VKB-Ersatzplastik nicht vollends verhindern. Wie Johma et al. 1999 in einem prospektiven 7-Jahres-Follow-up gezeigt hat bestanden bei 66% der Patienten mit VKB-Rekonstruktion und Menisektomie eine Arthrose. Im Vergleich hierzu lag die Rate bei VKB-Rekonstruktion und intaktem Meniskus in selbiger Publikation bei 11%.

Ein häufiges Sekundärzeichen im MRT bei akuter traumatischer VKB-Ruptur ist das Bone bruise im posterolateralen Tibiaplateau und der anterolateralen Femurkondyle. Die Inzidenz wird in der Literatur mit über 80% angegeben [Speer et al. 1992]. Dieses Bone bruise ist in einem Zeitraum von Monaten bis zu 6 Jahren rückläufig. Im mittelfristigen Verlauf von bis zu 6 Jahren zeigen sich bei 57–66% der Fälle im Bereich der lateralen Femurkondyle eine lokalisierte Chondromalazie [Faber et al. 1999, Vellet et al. 1991]. Ein Einfluss des Bone bruise oder der nachfolgenden

chondralen Veränderungen auf das klinische Outcome konnten nicht gezeigt werden.

Petersen et al. veröffentlichten 2005 eine vordere Kreuzband-Verletzungskaskade, welche den Verlauf zwischen primärer VKB-Ruptur und der Entwicklung einer Osteoarthrose deutlich machen soll (Abb. 1).

Risikofaktoren der Instabilität und Osteoarthrose

Die größte Gefahr unter konservativer Therapie liegt in der Entwicklung einer Instabilität sowie einer Osteoarthrose. Anhand einiger Studien wurden Risikofaktoren erarbeitet, welche die Entwicklung dieser beiden Folgen negativ beeinflussen.

Daniel et al. (1994) führten 3 Risikofaktoren an, welche im Follow-up vermehrt zu einer operativen Versorgung führen. Dies sind die passive Instabilität (gemessen mit dem KT-1000), die sportliche und berufliche Aktivität sowie das Alter (Abb. 2). Hieraus wurde die surgical risk factor (SURF)-Einteilung (Abb. 3) entwickelt. Diese hilft anhand der passiven Instabilität und der Sportaktivität das Risiko für eine operative

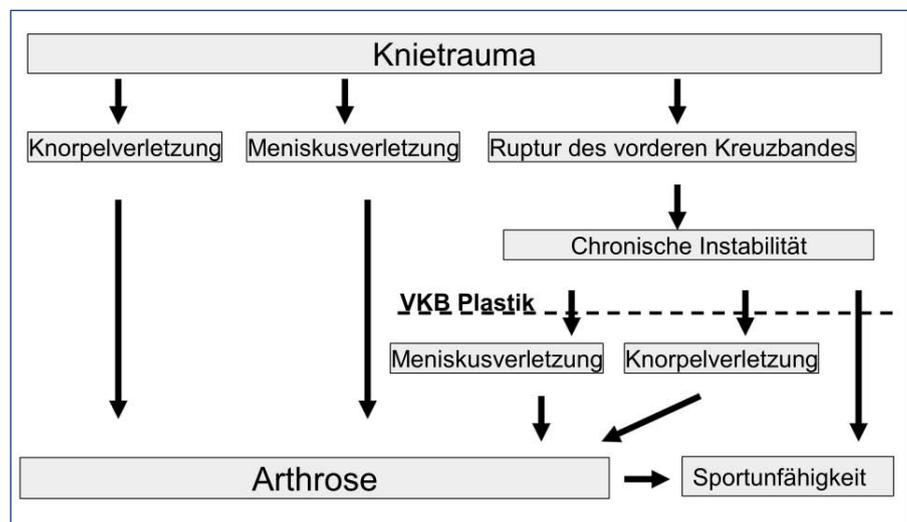


Abbildung 1 Vordere Kreuzband-Verletzungskaskade [aus Petersen/Zantop 2010].

Risikofaktoren für spätere operative Intervention	
■ passive Stabilität (KT 1000)	
■ sportliche Aktivität	
Level I	Sprungsportarten, schnelle Richtungswechsel
Level II	Seitbewegungen
Level III	Andere Sportarten – Jogging, Schwimmen
■ berufliche Aktivität	
Level I	Wie Level I Sport
Level II	Schwere körperliche Arbeit, unebene Böden
Level III	Leichte körperliche Arbeit
■ Alter	

Abbildung 2 Risikofaktoren für eine spätere operative Intervention [modifiziert nach Daniel et al. 1994].

Meniskus- oder VKB-Versorgung im Verlauf anzuzeigen. Wie einige Autoren gezeigt haben liegt kein Zusammenhang zwischen der passiven ap-Laxität und den meisten klinischen Scores vor [Hrubesch et al. 2000, Leitze et al. 2005]. Auszunehmen ist hier der IKDC-Score, da dieser die ap-Laxität als Komponente enthält. Der Pivot shift hingegen zeigt eine sehr gute Korrelation mit der subjektiven Patientenzufriedenheit [Kocher et al. 2002, Leitze et al. 2005]. Leitze et al. (2005) konnten jedoch auch zeigen, dass zwischen Pivot-shift und der Osteoarthrose-

Progression bei Patienten nach VKB-Rekonstruktion kein signifikanter Zusammenhang besteht.

Coper vs non-coper

Individuen mit VKB-Ruptur lassen sich auch in sogenannte Copers und Non-copers einteilen. Hierzu existieren verschiedene Definitionen. Snyder-Mackler et al. (1997) definierten erstmalig Copers als Pat. mit vordegener Instabilität die ohne chirurgische Intervention zu voller sportlicher Leistungsfähigkeit zurückkehrten.

KT 1000	Sportstunden pro Jahr (Level I und II)		
	<50	50–199	>200
<5	<i>Gering</i>	<i>Gering</i>	<i>Mittel</i>
5–7	<i>Gering</i>	<i>Mittel</i>	<i>Hoch</i>
>7	<i>Mittel</i>	<i>Hoch</i>	<i>Hoch</i>

Abbildung 3 SURF-Einteilung [Daniel et al. 1994].

Daniel et al. (1994) erweiterten den Begriff auf Patienten, die eine im Seitenvergleich vermehrte ap-Laxität von >3 mm ohne subjektive Instabilität hatten.

In einer klinischen Studie konnte man für die Coper im Vergleich signifikant höhere Werte im Global knee rating score, Lysholm, KOS-ADL und KOS-Sport zeigen [Eastlack et al. 1999]. Ebenfalls zeigte sich ein besserer Quadrizeps Index und bessere Einbeinsprungtests. Lediglich in der ap-Laxität und im IKDC konnte keine Differenz gefunden werden.

Die dynamische Stabilität gemessen mittels dynamisch klinischer Tests zeigt als objektives Testverfahren die beste Korrelation mit der subjektiven Stabilität. Hierzu sind insbesondere die Sprungtests (Hop-test) zu erwähnen. Die Arbeitsgruppe um Noyes et al. zeigten in ihren beiden Studien (1987 und 1991) hohe Spezifitäten für den single-leg hop test (97%) und den timed hop test (94%). Für diese Tests konnte ebenfalls eine gute Korrelation zu isometrischen Laxitätstests festgestellt werden. Ein pathologischer Hop-test wurde von der Arbeitsgruppe bei <85% im Seitenvergleich festgelegt. Beim single-leg hop-test wird die Strecke gemessen die mit einem Einbeinsprung mit Absprung und Landung auf dem selben Bein zurückgelegt werden kann. Beim timed-hop-test werden in selbiger Art und Weise 6 m mit Sprüngen in Serie überwunden und die Zeit gemessen. Erweitert werden können die Sprungtests noch um einen Triple hop-test und einen Cross-over hop-test.

Die Sprungtests zeigen sich als geeignetes klinisches Instrument, um die dynamische Stabilität zu evaluieren.

Fitzgerald et al. (2000) legten anhand einer prospektiven Studie 4 Indikatoren für ein operatives Vorgehen fest (Abb. 4). Ist nur einer dieser Indikatoren vorliegend ist ein

Indikatoren für operative Intervention
Timed hop-test <80% der Gegenseite
>1 Giving way Ereignis
<80% im Activities of Daily Living Scale
Global rating knee scale <60%

Abbildung 4
Indikatoren für operatives Vorgehen [Fitzgerald et al. 2000].

schlechteres Outcome bei konservativer Therapie zu erwarten.

Einflussfaktoren für konservatives vs operatives Vorgehen

Anhand der bekannten und gesicherten Risikofaktoren für ein schlechteres Outcome nach VKB-Ruptur unter konservativer Therapie haben die Autoren einen einfachen klinischen Score entwickelt, um die Entscheidungsfindung zwischen operativer und konservativer Therapie zu erleichtern (Abb. 5).

Hierin enthalten ist die ausgeübte Sportart. Patienten, welche Sportarten mit erhöhtem Risiko für Rotationsstress wie z. B. Football, Fußball oder Basketball ausüben, sollten eher einer operativen Versorgung zugeführt werden, da es hier eher zu Begleitverletzungen bei instabilem Kniegelenk kommen kann [Daniel et al. 1994]. Neben der Sportart wurde auch der Valderrabano-Score für das Sportlevel einbezogen. Das Risiko für Sekundärläsionen im instabilen Knie ist bei Leistungssportlern mit hoher sportlicher Aktivität deutlich gegenüber dem Freizeitsportler erhöht. Initiale Begleitverletzungen, wie in Abbildung 4 aufgelistet, sind dringliche OP-Indikationen, zu denen begleitend auch die Versorgung der VKB-Ruptur erfolgen sollte. Weiter-

hin eingehend in den Score sind die subjektive und objektive Instabilität. Die subjektive Instabilität in Form von Giving-way-Phänomenen, welche vom Patienten geäußert werden, und die objektive Instabilität in Form der ap-Laxität und des Auftretens eines Pivot-shift. Die subjektive Instabilität ist hierbei höher zu bewerten, da sie wie bereits erwähnt vermehrt mit der Entwicklung von Sekundärläsionen assoziiert ist.

Die berufliche Belastung zählt ebenso wie die sportliche Belastung zu den Bewertungskriterien, wobei Patienten mit kniebelastenden Berufen tendenziell eher operativ versorgt werden sollten [Daniel et al. 1994].

Des Weiteren finden internistische Faktoren wie der BMI, die Compliance sowie der Gelenkstatus Beachtung. Fehlende internistische Probleme und eine gute Compliance beeinflussen das Ergebnis positiv [Lohmander et al. 2007]. Achsdeformitäten oder Bandlaxitäten unabhängig von der Verletzung wirken sich nachgewiesen auf die Entwicklung einer Osteoarthrose bei konservativer Therapie aus und müssen bei operativer Versorgung mit berücksichtigt werden.

Nicht-operative Therapie

Ist die Entscheidung zur konservativen Therapie gefallen, ist die Durch-

führung einer suffizienten Behandlung eminent für das Outcome. Hierzu gehören initial nach Trauma abschwellende Maßnahmen wie Manuelle Lymphdrainage und Cryotherapie. Im weiteren Verlauf sollte ein gezieltes koordinatives sowie muskelaufbauendes physiotherapeutisches Training erfolgen, um eine suffiziente muskuläre Kompensation der vorderen ligamentären Instabilität zu erreichen. Abhängig von der individuellen Belastung kann auch die Verordnung einer stabilisierenden Orthese ohne Bewegungslimitierung erfolgen.

Sehr wichtig erscheint auch die regelmäßige klinische fachspezifische Kontrolluntersuchung. Wir empfehlen dies nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und dann jährlich durchzuführen. Bei Auffälligkeiten ist selbstverständlich auch eine Kontrolle zwischen diesen Intervallen ratsam. Im Rahmen dieser Nachuntersuchungen sollte jeweils eine Reevaluation der Einteilung (operativ vs nicht-operativ) erfolgen. Bei Befundänderung sollte auch nach längerem Zeitraum die Zuführung zur operativen Therapie erfolgen.

OP-Zeitpunkt/Voraussetzungen

Für den Zeitpunkt post-trauma, zu dem die operative Versorgung erfolgen sollte, gibt es keine exakten Zeitvorgaben. Der OP-Zeitpunkt kann individuell mit dem Patienten abgestimmt werden. Sollte sich jedoch für eine Akutversorgung entschieden werden, ist zur Minimierung des Arthrofibrosierisikos ein Zeitraum von 48 h anzusetzen. Danach sollte frühestens nach 4–6 Wochen bei reizlosem Lokalbefund ein Eingriff statt finden.

Ein wichtiger Faktor für den frühesten möglichen OP-Zeitpunkt ist der lokale Reizzustand des Gelenkes. Zeigt sich das Knie ohne Schwellung und mit einer Beweglichkeit nahe der des

GOTS VKB Indikationswert				
	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt	0 Punkte
Initiale Begleitverletzung	Per se OP-Indikation		Per se keine OP-Indikation	Keine Begleitverletzung
Sportart (Innsbruck scale)		High risk pivot	Pivot	Low risk pivot
Zeit sportliche Aktivität/Woche (Valderrabano scale)		Hoch, Leistungssport, (>5 Std.)	Normal (1–5 Std.)	Gering (<1 Std.)
Subjektive Instabilität		ja		nein
Objektive Instabilität			ja	nein
Gelenkstatus: Beinachse, Degeneration, Bandlaxizität			Pathologien vorhanden	unauffällig
Internistische Risikofaktoren			ja (BMI hoch)	Nein (BMI normal)
Berufliche Aktivität			Kniebelastend	Nicht kniebelastend
Compliance			ja	nein
Punktwert	> 9 Punkte OP-Indikation 6–8 Punkte Individuelle Gewichtung 0–5 Punkte Tendenz konservativ			

Abbildung 5
GOTS VKB Indikationswert.

kontralateralen Beines ist das postoperative Arthrofibrosierisiko deutlich reduziert [Mayr et al. 2004]. In manchen Fällen ist aufgrund einer Begleitverletzung ebenfalls eine zeitnahe operative Versorgung anzustreben. Diese Indikationen sind Abbildung 6 zu entnehmen. Soweit dies möglich ist, ist bei Kombinationsverletzungen eine „All in One Surgery“ anzustreben. Hierbei sollte der Patient jedoch ausdrücklich auf das erhöhte Arthrofibrosierisiko sowie möglich Folgeoperationen aufgeklärt werden.

Indikatoren für frühe operative Intervention
Komplexe Bandläsion (hochgradige Seitenbandläsion)
Dislozierte Menisken
Neurovaskuläre Problematik
Fragmentfrakturen

Abbildung 6
Indikatoren für frühes operatives Vorgehen.

Zusammenfassung

Prinzipiell ist auch nach heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen nicht bei jedem Individuum mit einer VKB-Ruptur die operative Versorgung notwendig. Jedoch sollten die Patienten, welche konservativ therapiert werden, genau ausgesucht werden. Einige Faktoren, wie die Aktivität des Patienten können bei konservativer Therapie zu schlechterem Outcome führen.

Die VKB-Ruptur an für sich stellt schon ein Risikofaktor für die Entstehung einer Osteoarthritis dar. Verschlechtert wird diese Entwicklung insbesondere durch initiale Meniskus- und Knorpelläsionen. Auch eine operative Versorgung der VKB-Ruptur kann die Osteoarthritisbildung letzten Endes nicht verhindern.

Die Entscheidung zwischen operativer und konservativer Therapie bleibt eine individuelle Entscheidung und erfordert vom Behandler eine genaue Erhebung und Analyse der Verletzung sowie der Anamnese. Auch eine rezidivierende Reevaluation kann v. a. bei konservativer Therapie von Nöten sein. Zur Unterstützung der Therapieentscheidung bestehen Scores, wie z. B. der in dieser Publikation veröffentlichte.

Literatur

- Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med* (2005); 33(10): 1579–1602.
- Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured patient: a prospective outcome study. *Am J Sports Med* (1994); 22: 632–644.
- Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med* (1985); 13: 401–407.
- Drogset JO, Grøntvedt T. Anterior cruciate ligament reconstruction with and without a ligament augmentation device. *Am J Sports Med* (2002); 30: 851–856.
- Faber KJ, Dill JR, Amendola A, Thain L, Spouge A, Fowler PJ. Occult osteochondral lesions after anterior cruciate ligament rupture: six-year magnetic resonance imaging follow-up study. *Am J Sports Med* (1999); 27: 489–494.
- Fairbanks TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* (1948); 30-Br: 664–670.
- Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP. Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture: is sports activity a determining variable? *Int J Sports Med* (2001); 22: 304–309.
- Fink C, Hoser C, Benedetto KP. Development of arthrosis after rupture of the anterior cruciate ligament: a comparison of surgical and conservative therapy. *Unfallchirurg* (1994); 97: 357–361.
- Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2000); 8(2): 76–82.
- Hrubesch R, Rangger C, Reichkendl M, Sailer RF, Gloetzer W, Eibl G. Comparison of score evaluations and instrumented measurement after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* (2000); 28: 850–856.
- Johnson DL, Urban WP, Caborn DNM, Vanarhos WJ, Carlson CS. Articular cartilage changes seen with magnetic resonance imaging detected bone bruises associated with acute anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* (1998); 26: 409–414.
- Jomha NM, Borton DC, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA. Long-term osteoarthritic changes in anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Clin Orthop Relat Res* (1999); 358: 188–193.
- Leitze Z, Losee RE, Jokl P, Johnson TR, Feagin JA. Implications of the pivot shift in the ACL-deficient knee. *Clin Orthop Relat Res* (2005); 436: 229–236.
- Levy AS, Meier SW. Approach to cartilage injury in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Orthop Clin North Am* (2003); 34: 149–157.
- Linko E, Harilainen A, Malmivaara A, Seitsalo S. Surgical versus conservative interventions for anterior cruciate ligament ruptures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* (2005); 2: CD001356.
- Lohmander LS, Östenberg A, Englund M, Roos H. High Prevalence of Knee Osteoarthritis, Pain, and Functional Limitations in Female Soccer Players Twelve Years After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Arthritis & Rheumatism* (2004); 50: 3145–3152.
- Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* (2007); 35(10): 1756–1769.
- Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS, Butler DL. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee, part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am* (1983); 65: 154–162.
- Noyes FR, Matthews DS, Mooar PA, Grood ES. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee, part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *J Bone Joint Surg* (1983); 65: 163–174.
- Noyes FR, Barber SD, Mangine RE. Abnormal lower limb symmetry. *Am J Sports Med* (1991); 19: 513–518.
- Noyes FR, Barber-Westin SD. Anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft in patients with articular cartilage damage. *Am J Sports Med* (1997); 25: 626–634.
- Petersen W, Zantop T, Rosenbaum D, Raschke M. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 2: Präventionsstrategien und Präventionsprogramme. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2005); 56: 156–164.
- Petersen W, Zantop T. Das vordere Kreuzband. Deutscher Ärzteverlag, Köln 2010.
- Roos H, Adalberth T, Dahlberg L, Lohmander LS. Osteoarthritis of the knee after injury to the anterior cruciate ligament or meniscus: the influence of time and age. *Osteoarthritis Cartilage* (1995); 3: 261–267.
- Shelbourne KD, Wilkens JH. Intraarticular anterior cruciate ligament reconstruction in the symptomatic arthritic knee. *Am J Sports Med* (1993); 21: 685–688.
- Shelbourne KD, Stube KC. Anterior cruciate ligament (ACL)-deficient knee with degenerative arthrosis: treatment with an isolated autogenous patellar tendon ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (1997); 5: 150–156.
- Shelbourne KD, Gray T. Results of anterior cruciate ligament reconstruction based on meniscus and articular cartilage status at the time of surgery. *Am J Sports Med* (2000); 28: 446–452.
- Shelbourne KD, Jari S, Gray T. Outcome of untreated traumatic articular cartilage defects of the knee. *J Bone Joint Surg Am* (2003); 85(suppl2): 8–16.
- Speer KP, Spritzer CE, Bassett FH, Feagin JA Jr, Garrett WE Jr. Osseous injury associated with acute tears of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* (1992); 20: 382–389.
- Wu WH, Hackett T, Richmond JC. Effects of meniscal and articular surface status on knee stability, function, and symptoms after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* (2002); 30: 845–850.

VORDERES KREUZBAND

Transplantatwahl

Matthias Buchner, Gerhard Bauer, Karl-Peter Benedetto, Klaus Dann, Andree Ellermann, Hermann Mayr, Holger Schmitt

Die Frage der Transplantatwahl stellt einen zentralen Punkt in der operativen Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur dar.

Der folgende Artikel gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Transplantatmöglichkeiten, ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Ergebnisse in der Literatur. Weiterhin soll die Entscheidungsfindung, welches Transplantat bei welchem kreuzbandinsuffizienten Patienten/Sportler gewählt werden kann, erleichtert werden.

Ideale Anforderungen an das VKB Transplantat beim Sportler

Prinzipiell wäre an das zu implantierende Transplantat zu fordern, dass es dem nativen vorderen Kreuzband (VKB) ähnliche Struktureigenschaften aufweist (Tab. 1). Problematisch ist, dass die vorhandenen Daten sich ausschließlich auf Versuche bei Leichen oder Tieren beziehen und somit die in vivo Situation beim operierten Patienten nicht widerspiegeln. Woo et al. (1991) beschrieben die Struktureigenschaften des Femur-VKB-Tibia Komplexes mit maximaler VKB

Last bei jüngeren Körperspendern bei 2160 N bei einer Steifigkeit von 242 N/mm, wobei die Transplantatstruktureigenschaften in hohem Maße vom Querschnitt des Transplantates abhängig sind.

Weiterhin wünschenswert ist eine schnelle Inkorporation bzw. Einheilung des Transplantates ohne größere Fremdreaktionen mit der Konsequenz der möglichst schnellen Wiederaufnahme der Belastbarkeit und Koordination.

Ein weiterer elementarer Punkt ist, dass die Entnahme der Sehne(n) sowohl zu einer möglichst geringen

Tabelle 1
Anforderungen an das Transplantat (s. Text).

Anforderungen VKB Transplantat
Ähnliche Struktureigenschaften im Vergleich zum nativen VKB
Schnelle Inkorporation des Transplantates
Geringe Entnahmemorbidität bezüglich <ul style="list-style-type: none"> ■ lokaler Probleme an der Entnahmestelle ■ funktioneller Einschränkungen aufgrund der Entnahme

Morbidität als auch Einschränkung durch den Verlust der ursprünglichen Funktion der Sehne selbst führt, auch abhängig vom ausgeübten Sport (Kartus et al. 2001). Hierunter fallen

- die Morbidität an der Entnahmestelle wie z. B. Taubheit (Verletzung des R. infrapatellaris des N. saphenus), lokaler Schmerz oder Probleme beim Knien und
- Funktionsverlust wie zum Beispiel Muskelschwäche/Kraftverlust oder postoperative Bewegungseinschränkung.

Zur Verfügung stehende Transplantate

Als Ersatzmöglichkeiten des VKBs stehen folgende Transplantate zur Verfügung:

- Patellarsehne
- Semitendinosus
- Semitendinosus/Gracilis
- Quadrizepssehne
- Allografts

Für alle weiteren autologen Transplantate (z. B. Fascia lata Streifen – bessere Alternativen) wie auch für den Einsatz von Kunstbändern (zu hohe Komplikationsrate) wie zum Gore-Tex, Dacron, Kohlefaserband oder LARS sehen wir für den Primärersatz des vorderen Kreuzbandes derzeit keine Indikation.

Im Folgenden sollen die am häufigsten verwendeten Transplantatmöglichkeiten, deren Eigenschaften sowie ihre wesentlichen Vor- und Nachteile dargestellt werden.

Patellarsehne (Bone-tendon-bone) (Abb. 1)

Die mit zwei Knochenblöcken aus der Patella und Tibia gewonnene Patellarsehne (Bone-tendon-bone) galt

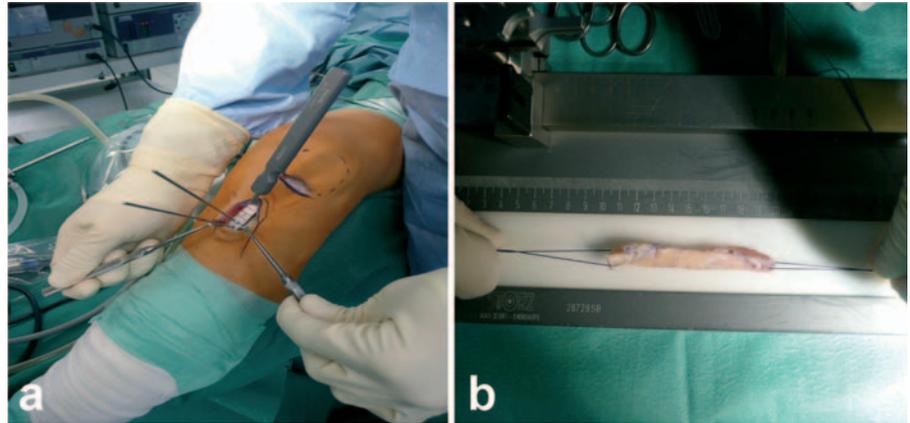


Abbildung 1
Patellarsehnen-Transplantat. Die Morbidität kann durch zwei horizontale Inzisionen reduziert werden (a). Das Transplantat wird mit patellar- und tibialseitigen Knochenblock entnommen (b). [Mit freundlicher Genehmigung aus Petersen, Zantop, Das vordere Kreuzband, © Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.]

lange Zeit und gilt bei vielen operativ tätigen Kreuzbandchirurgen auch heute noch als Goldstandard der VKB-Chirurgie.

Sie weist dem nativen VKB vergleichbare Struktureigenschaften auf [max. Last 1784 N und 1997 N, Steifigkeit 210 N/mm (Woo et al. 1991)], bietet eine Vielzahl von Fixationsmöglichkeiten (Pressfit/implantatfrei, Schrauben, transfemorale, extrakortikal) und gewährleistet die sichere Einheilung der anhängenden Knochenblöcke. Tierstudien (Papageorgiou et al. 2001, Park et al. 2001) zeigen, dass die Knochenblöcke nach 6 Wochen komplett inkorporiert sind, was den Vorteil einer schnelleren und aggressiveren Nachbehandlung im Vergleich zu den Weichteiltransplantaten mit sich bringt.

Dennoch bringt die Entnahme der Patellarsehne durchaus auch klinisch relevante Nachteile mit sich. Intra- bzw. postoperative Komplikationsmöglichkeiten beinhalten Verletzungen des Streckapparates (Patellafraktur, Patellarsehnenruptur). Weiterhin weist die Patellarsehnenplastik eine erhöhte Entnahmemorbidität auf, die zu Nar-

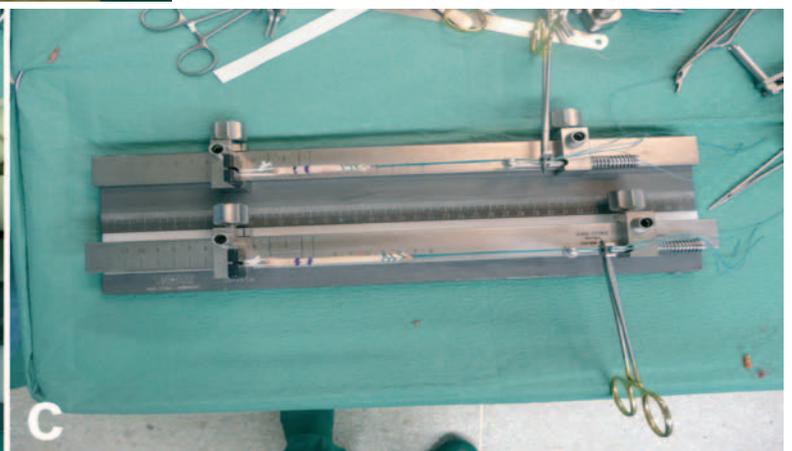
benbildung, Sensibilitätsstörungen im Bereich des N. saphenus und vor allem zu verstärkter Schmerzsymptomatik beim Knien, patellofemorale Krepitationen, sowie zu Reizungen/Tendinitiden der Patellarsehne führen kann, was man in der Gesamtheit unter dem Begriff des vorderen Knieschmerzes subsummiert. Diese Entnahmemorbidität lässt sich durch Optimierung der Entnahmetechnik (z. B. Entnahme durch 2 Minischnitte) reduzieren, dennoch muss man die Patellarsehne als Transplantat der Wahl bei Patienten mit knieender Position im Sport oder Beruf oder bei Sportlern, die auf die Unversehrtheit ihres Extensorenmechanismus angewiesen sind, zurückhaltend beurteilen. Zudem scheint es nach Entnahme der Patellarsehne im Langzeitverlauf zu erhöhten degenerativen Veränderungen im Vergleich zu Hamstringtransplantaten zu kommen (s. Studienlage).

Kniebeugesehnen (Hamstrings: Semitendinosus/Gracilis) (Abb. 2)

Die alleine oder zusammen mit der Gracilissehne entnommene Semitendinosussehne stellt derzeit neben



Abbildung 2
Hamstringtransplantat. Bei korrekter Entnahmetechnik ergibt sich eine lange Semitendinosussehne, so dass keine Notwendigkeit besteht die Gracilissehne zu entnehmen (a). Die Semitendinosussehne kann zu einem Einzelbündel- (vierfach Strang, b) oder Doppelbündeltransplantat präpariert werden (c).
 [Mit freundlicher Genehmigung von Thore Zantop.]



der Patellarsehne das am häufigsten benutzte Transplantat für die Ersatzplastik des VKB dar.

Auch hier sind die Struktureigenschaften vergleichbar dem nativen VKB (max. Last 2442 N und Steifigkeit 238 N/mm (Woo et al. 1991)), je nach Präparationstechnik sind 3-, 4- oder 5-strängige Transplantate mit unterschiedlichem Durchmesser möglich, die eine hohe Anzahl von Fixationsstrategien (extra-kortikal, Interferenzschraube, Crosspins, Hybrid Techniken, implantatfrei) und auch Doppelbündelrekonstruktionen ermöglichen.

Die Morbidität (vorderer Knie-schmerz, Schmerzen beim Knien, Sensibilitätsstörungen) nach Ent-

nahme der Beugesehnen ist geringer als nach Entnahme der Patellarsehne, ebenso scheint bei vergleichbarer Langzeitstabilität und vergleichbaren klinischen Ergebnissen die Anzahl degenerativer Veränderungen im Vergleich zur Patellarsehne verringert (s. Studienlage).

Nachteil dieser Weichteiltechnik ist die im Vergleich zu den Knochenblöcken der Patellarsehne im Tierversuch langsamere Inkorporation (Heilungsprozess) der Sehne postoperativ, die theoretisch zu einem vorsichtigeren Nachbehandlungsregime führen sollte. Entnahmemorbiditäten wie Hämatombildung und Sensibilitätsstörungen sind auch bei dieser Technik beschrieben und kön-

nen unter Umständen durch Veränderung der Entnahmetechnik (z. B. Entnahme in der Kniekehle) reduziert werden. Ein wichtiger Punkt ist neben der Schwächung der Flexionskraft (deep flexion) vor allem die signifikant reduzierte Innenrotationskraft nach der Entnahme der Hamstrings, die vor allem bei Entnahme beider Sehnen (Semitendinosus und Gracilis, Burks et al. 2005, Segawa et al. 2002, Tashiro et al. 2003) zum Tragen kommt, so dass es vor allem bei Sportlern, die auf letztere Muskelfunktion besonders angewiesen sind (z. B. Tänzer), vermieden werden sollte, beide Sehnen zu entnehmen. Generell, aber vor allem in diesem Patientenkollektiv, sollte

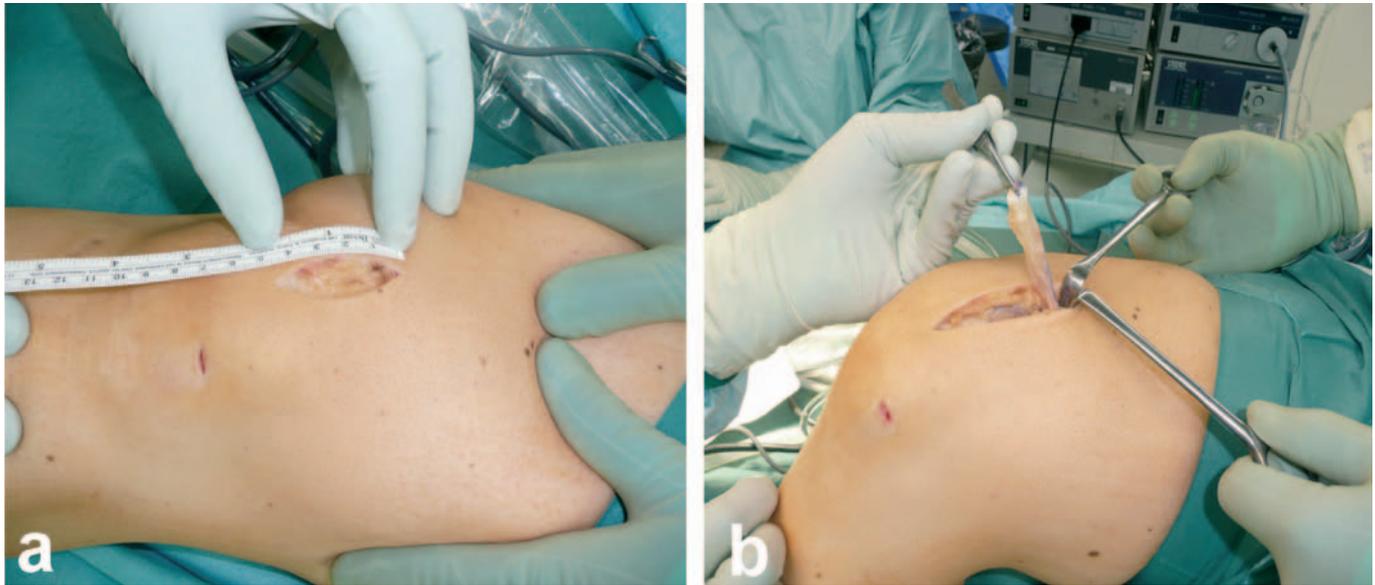


Abbildung 3

Quadrizepssehnen-Transplantat. Über eine kleine Inzision (a) kann die Sehne mit oder ohne patellarseitigen Knochenblock entnommen werden (b). [Mit freundlicher Genehmigung von Thore Zantop.]

man sich – wenn möglich – auf die alleinige Entnahme der Semitendinossehne beschränken (in der Regel 28 cm lange Sehne ausreichend) und die Sehne des Musculus gracilis schonen.

Quadrizepssehne (Abb. 3)

Die Quadrizepssehne erfreut sich, obwohl zahlenmäßig noch deutlich hinter den obengenannten Verfahren zurückliegend, zunehmender Beliebtheit als Transplantatmöglichkeit. Mittelfristige Ergebnisse zeigen den etablierten Verfahren gleichwertige mittelfristige (3–5 Jahre) klinische Resultate, längerfristige Ergebnisse stehen allerdings noch aus (Chen et al. 2006, Geib et al. 2009, Gorschewski et al. 2007, Lee et al. 2004).

Auch hier sind die Struktureigenschaften vergleichbar dem nativen VKB und dem Patellarsehnen-Transplantat (max. Last 2173 N; Stäubli et al. 1999), eine Entnahme ist mit und ohne Knochenblock möglich, so dass die Quadrizepssehne sich auch gut

bei Revisionsrekonstruktionen eignet.

Neben der noch fehlenden Langzeiterfahrung ist hier allerdings auch die Beeinträchtigung des Streckapparates (z. B. Gewichtheber) zu berücksichtigen, obwohl die Entnahmemorbidität geringer zu sein scheint als bei den Patellarsehnen-Transplantaten (Chen et al. 2006, Lee et al. 2004, Gorschewski et al. 2007).

Allografts

Allografts spielen im klinischen Alltag eine untergeordnete Rolle. Vorteile sind die fehlende Entnahmemorbidität und die Vermeidung der direkten Affektion der Muskelkraft. Zu berücksichtigen sind allerdings die Möglichkeit der Übertragung viraler oder bakterieller Infektionen (im Falle einer Infektion liegt die Beweislast immer beim Arzt!), die Schwierigkeit und der Aufwand der Transplantatbeschaffung (europäische Gesetzgebung, Arzneimittelgesetz; Nachweis, dass Allograft die einzige Möglichkeit war) sowie der

langsamere Remodelings (Heilungs-)prozess im Vergleich zu den autologen Transplantaten.

Aus diesen Gründen sind Allografts nicht für die Primärversorgung der isolierten VKB-Ruptur indiziert, ihre Indikation sollte aber in Ausnahmefällen überprüft werden (multiligamentäre Instabilität, multiple Revision).

Metaanalysen zeigen, dass Allografts ähnliche mittelfristige (3–5 Jahre) klinische Ergebnisse erzielen können wie autologe Sehnen, solange Sterilisierungsprozesse vermieden werden, die das allogene Transplantat irreversibel schädigen (Krych et al. 2008, Peterson et al. 2001).

Studienlage

Neuere Studien zeigen, dass die Ergebnisse nach operativ versorgter isolierter vorderer Kreuzbandruptur im langfristigen 10-Jahresverlauf gut und überzeugend sind. Begleitverletzungen bei der initialen Schädigung des Kniegelenkes, wie z. B. Meniskusverletzungen oder Knorpel-

schäden, limitieren das klinische und radiologische Outcome teilweise signifikant (Holm et al. 2010, Liden et al. 2007, Pinczewski et al. 2007, Pässler 2010).

Die operative Versorgung der isolierten Ruptur des VKB führt nach 10 Jahren in 90–95% zu sehr guten und guten subjektiven und funktionellen Ergebnissen bei einer Versagensrate bzw. Rerupturrate von ca. 10%. Die objektive Stabilitätsrate (Pivot shift, Lachman, KT 1000 – instrumentelle Stabilitätsmessungen beziehen sich in den vorhandenen Langzeitstudien derzeit ausschließlich auf die ventrale Instabilität und nicht auf die Rotationsinstabilität) liegt bei ca. 80%, ebenso die klinischen Ergebnisse (IKDC A und B). 80% der operierten Patienten kehren nach der OP wieder zu ihrem prä-traumatischen sportlichen Ausgangsniveau zurück, nach 10 Jahren betreiben ca. 50% der operierten Patienten noch einen Level I- oder II-Sport, wobei die Aktivitätsminderung zumeist nicht auf kniespezifische Probleme, sondern eher auf allgemeine Aktivitätsreduktion zurückzuführen ist. 60–80% der Patienten weisen nach 10 Jahren keine signifikanten radiologischen degenerativen Veränderungen auf, der Anteil an ausgeprägten degenerativen Schädigungen (Stadium III und IV nach Kellgren und Lawrence) ist in den vorhandenen prospektiven Studien (bei der isolierten VKB-Ruptur) gering. Bezüglich der isokinetisch gemessenen Muskelkraft weisen allerdings Patienten auch nach 3–5 Jahren noch Defizite sowohl hinsichtlich Flexions- und Extensionskraft auf (durchschnittlich ca. 90% der Kraft der Gegenseite) – und dies offensichtlich ungeachtet des benutzten Transplantates (Ageberg et al. 2009, Lautamies et al. 2008). Die Studienlage in der Literatur hinsichtlich der Transplantatwahl bezieht sich nahezu ausschließlich auf

Tabelle 2

Vergleich Patellarsehne/Hamstring bei der Transplantatwahl: derzeitige Studienlage (Limitationen und Erläuterung siehe Text); mittelfristig: 2–5 Jahre; langfristig: 10 Jahre.

Studienlage zum Vergleich Patellarsehne/Hamstrings	
Keine signifikanten Unterschiede	
Mittel-/Langfristig	Subjektive Ergebnisse klinische Funktion Versagens-/Rerupturrate
Langfristig	Subjektive Ergebnisse objektive Stabilität
Patellarsehne	Kurz-/Mittelfristig: tendenziell erhöhte Stabilität (KT 1000, Pivot shift)
Hamstrings	Mittel-/Langfristig: geringere Entnahmemorbidität Langfristig: geringere degenerative Veränderungen

den Vergleich der beiden am häufigsten durchgeführten OP-Techniken, Patellarsehne und Semitendinosus/Gracilis-Sehne, so dass der folgende Literaturüberblick sich auf diesen Vergleich fokussiert.

Die Probleme der Studien sind bekannt und mannigfaltig: wenig Level I-Studien, inhomogenes Patientengut (Begleitverletzungen, unterschiedliche Fixationstechniken, unterschiedliche, teils nicht mehr aktuelle OP-Techniken, unterschiedliche Nachuntersuchungstechniken), hohes lost of follow-up, geringe Patientenzahlen, usw.

Dennoch lassen sich in den wenigen vorhandenen Level I- und II-Studien mit einem Follow-up von 7–10 Jahren (Holm et al. 2010, Liden et al. 2007, Pinczewski et al. 2007) und in den aktuelleren Metaanalysen (Biau et al. 2009, Goldblatt et al. 2005, Reinhardt et al. 2010), welche v. a. mittelfristige 2–6-Jahresergebnisse be-

leuchten, Tendenzen erkennen, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen (Zusammenfassung, Tab. 2).

Entnahmemorbidität

Die Morbidität aufgrund der Transplantatentnahme zeigt sowohl im mittel- als auch im langfristigen (10 Jahre) Verlauf eine signifikant erhöhte Rate bei Patienten nach Patellarsehnenplastik im Vergleich zu den Patienten mit Hamstringtransplantaten, vor allem auch hinsichtlich patellofemoraler Probleme und Schmerzen beim Knien. Insgesamt beläuft sich je nach Studie und Definition die Häufigkeit der aufgrund der Sehnenentnahme entstandenen Probleme in beiden Gruppen auch langfristig zwischen 20 und 40%.

Subjektive und klinische Funktion

Hinsichtlich dieser Parameter zeigen sich bei fast allen Studien sowohl

im mittel- als auch im langfristigen Verlauf keine signifikanten Unterschiede in den beiden Vergleichsgruppen.

Objektive Stabilität (KT 1000, Lachman, Pivot shift), Versagensrate

Im kurz- bis mittelfristigen Verlauf (2–4 Jahre) zeigen sich hinsichtlich der objektiven Stabilität (KT1000 Messung, Pivot shift, Lachman) tendenziell, teilweise auch signifikant, bessere Werte für die Patellarsehnenplastik im Vergleich zu den Hamstrings, wobei die Gesamtstabilitätsrate in beiden Gruppen, d. h. z. B. bei der KT 1000-Messungen mit weniger als 3 mm Unterschied im Seitenvergleich, insgesamt mit ca. 90% sehr hoch ist. Im Langzeitverlauf über 5 Jahre sind diesbezüglich und auch hinsichtlich der Versagens- und Rupturrate in allen vorhandenen Studien keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich dieser Parameter mehr in den beiden Vergleichsgruppen nachweisbar.

Sportliche Aktivität

Die Teilnahme an Level I- und II-Sportarten beläuft sich auf 80%, 65% und 50% nach 2, 5 bzw. 10 Jahren postoperativ, wobei sich ähnliche Ergebnisse zeigen wie bei der objektiven Stabilität: in den kurz- bis mittelfristigen Ergebnissen (2–5 Jahre) eine tendenziell erhöhte sportliche Aktivitätsrate in der Patellarsehnenplastik, während im Langzeitverlauf keine signifikanten Unterschiede mehr bestehen bei einer unmittelbaren (nach Abschluss der Rekonvaleszenz) postoperativen Gesamtrückkehr zum präoperativen sportlichen Ausgangsniveau von ca. 80%.

Radiologische Veränderungen

Hier berichten beide Langzeitstudien über 10 Jahre über eine tendenziell

bzw. signifikant erhöhte Rate an degenerativen radiologischen Veränderungen in der Patellarsehnenplastik im Vergleich zu den Hamstrings. Insgesamt ist das Ausmaß der degenerativen Veränderungen in beiden Gruppen bei der isolierten VKB-Plastik ohne Begleitverletzungen allerdings gering, die meisten Patienten mit radiologischen Veränderungen weisen allenfalls Veränderungen im Stadium St. I oder II auf, nur wenige Patienten zeigen mittelgradige (St. III; ca. 10%) oder sogar schwere degenerative Veränderungen.

Zusammenfassung / Entscheidungsfindung (Tab. 3)

Prinzipiell sind als Ersatzmaterial bei der vorderen Kreuzbandplastik mehrere autologe Transplantate gleichwertig einsetzbar.

Bei der Entscheidungsfindung sollte individuell dem Anforderungsprofil sowohl des Patienten als auch des Operateurs Rechnung getragen wer-

den. Folgende Faktoren können Richtlinien sein, sollen aber keinesfalls als zwingend angesehen werden und müssen im Einzelfall geprüft werden.

Zu berücksichtigenden sind sportartspezifische Faktoren; Anforderungen des Patienten im Beruf (z. B. kniende Tätigkeit sowohl im Beruf – Fliesenleger- als auch im Sport); präoperativ bereits bestehende Morbidität im Sehnenentnahmebereich (z. B. chronische Entzündungen/Tendinitiden der Patellarsehne); Sportarten, die zu bestimmten Morbiditäten prädisponieren (z. B. vorderer Knieschmerz bei Sprungsportarten); Sportarten, die speziell intakte Muskelgruppen voraussetzen (Streckapparat; Rotatoren/Flexoren); Ausmaß und Art der körperlichen Aktivität des Patienten.

Weitere zu berücksichtigende Faktoren sind neben der Erfahrung des Operateurs auch der Wunsch des heute gut informierten und aufgeklärten Patienten.

Tabelle 3
Entscheidungsfindung zur Transplantatwahl (s. Text).

Entscheidungsfindung zur Transplantatwahl
<p>Sportartspezifische Faktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Sportarten, die eine Unversehrtheit des Streckapparates oder der Rotationsfähigkeit voraussetzen ■ Sportarten mit häufiger Entnahmemorbidität (z. B. Tendinitiden der Patellarsehne, vorderer Knieschmerz) ■ Kniende Sportart
Berufliche Anforderungen: z. B. knieender Beruf
Art und Ausmaß der körperlichen Aktivität
Präoperative Morbidität im Bereich der Entnahmestelle
Erfahrung Operateur
Patientenwunsch

Die Entnahme des Transplantates von der Gegenseite kann in bestimmten Fällen in die Operationsplanung miteinbezogen werden.

In der Nachbehandlung (s. auch Kapitel Rückkehr zum Sport) ist die vulnerable Phase der Transplantateinheilung zu berücksichtigen, wobei die knöcherne Integration der Patellarsehne zeitlich schneller erfolgt. Über den Punkt, ob eine postoperative Orthese bei der isolierten VKB-Plastik bessere postoperative Ergebnisse bewirkt als die orthesenfreie Nachbehandlung, kann derzeit keine wissenschaftlich fundierte Aussage getroffen werden. Weitestgehend Konsens besteht darin, Patienten nach vorderer Kreuzbandplastik mit Begleitverletzungen und -therapien (Kollateralbandverletzungen, Meniskusnaht) mit Orthese zu versorgen.

Auf zusätzlich zu berücksichtigende Faktoren in der OP-Technik der VKB-Plastik wird in diesem Rahmen nicht weiter (Fixations-/Verankerungstechnik, Transplantatspannung) bzw. ausführlicher in anderen Kapiteln (Doppelbündeltechnik, Platzierung der Bohrkanäle, Nachbehandlung; return to sport) eingegangen.

Literatur

- Ageberg E, Roos HP, Sdilbernagel KG, Thomee R, Roos EM. Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 162–169.
- Biau DJ, Katsahian S, Kartus J, Harilainen A, Feller JA, Sajovic M, Ejerhed L, Zaffagnini S, Röpke M, Nizard RS. Patellar tendon versus hamstring autografts for reconstructing the anterior cruciate ligament: a meta-analysis based on individual patient data. *Am J Sports Med* 2009; 37(12): 2470–2478.
- Burks RT, Crim J, Fink BP, Boylan DN, Greis PE. The effects of semitendinosus and gracilis harvest in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2005; 21(10): 1177–1185.
- Chen CH, Chuang TY, Wang KC, Chen WJ, Shih CH. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon autograft: clinical outcome in 4-7 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14(11): 1077–1085.
- Geib TM, Shelton WR, Phelps RA, Clark L. Anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft: intermediate-term outcome. *Arthroscopy* 2009; 25(12): 1408–1414.
- Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy* 2005; 21(7): 791–803.
- Gorschewsky O, Klakow A, Pütz A, Mahn H, Neumann W. Clinical comparison of the Autologous Quadriceps Tendon (BQT) and the Autologous Patella Tendon (BPTB) for the reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007; 15(11): 1284–1292.
- Holm I, Oiestad BE, Risberg MA, Aune AK. No difference in knee function or prevalence of osteoarthritis after reconstruction of the anterior cruciate ligament with 4-strand hamstring autograft versus patellar tendon-bone autograft. *Am J Sports Med* 2010; 38(3): 448–454.
- Kartus J, Movin T, Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy* 2001; 17(9): 971–980.
- Krych AJ, Jackson JD, Hoskin TL, Dahm DL. A meta-analysis of patellar tendon autograft versus patellar tendon allograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008; 24(3): 292–298.
- Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, Sandelin J, Kujala U. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16: 1009–1016.
- Lee S, Seong SC, Jo H, Park YK, Lee MC. Outcome of anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft. *Arthroscopy* 2004; 20(8): 795–802.
- Liden M, Ejerhed L, Sernert N, Laxdal G, Kartus J. Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2007; 35(5): 740–748.
- Pässler HH. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings using press-fit fixation without hardware: Operative technique and long-term results of a prospective and randomized study. *Unfallchirurg* 2010; 113 (7): 555–560.
- Papageorgiou CD, Ma CB, Abramowitch SD, Clin-eff TD, Woo SL. A multidisciplinary study of the healing of an intraarticular anterior cruciate ligament graft in a goat model. *Am J Sports Med* 2001; 29(5): 620–626.
- Park MJ, Lee MC, Seong SC. A comparative study of the healing of tendon autograft and tendon-bone autograft using patellar tendon in rabbits. *Int Orthop* 2001; 25(1): 35–39.
- Peterson RK, Shelton WR, Bomboy AL. Allograft versus autograft patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction: A 5-year follow-up. *Arthroscopy* 2001 Jan; 17(1): 9–13.
- Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med* 2007; 35(4): 564–574.
- Reinhardt KR, Hetsroni I, Marx RG. Graft selection for anterior cruciate ligament reconstruction: a level I systematic review comparing failure rates and functional outcome. *Orthop Clin N Am* 2010; 41: 249–262.
- Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M. Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. *Arthroscopy* 2002 Feb; 18(2):177–182.
- Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, Rincón L, Nolte LP. Mechanical tensile properties of the quadriceps tendon and patellar ligament in young adults. *Am J Sports Med* 1999; 27(1): 27–34.
- Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N. Tashiro Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med* 2003; 31(4): 522.
- Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med* 1991; 19(3): 217–225.

VORDERES KREUZBAND

TUNNELPOSITION BEI VKB-REKONSTRUKTION

*Hermann Mayr, Matthias Buchner, Oliver Miltner, Michael Krüger-Franke,
Andree Ellermann, Thore Zantop*

Mehrere klinische Studien konnten zeigen, dass die Tunnelpositionierung der VKB-Rekonstruktion einer der wichtigsten Faktoren ist, die das klinische Ergebnis bestimmen. Eine Tunnelposition außerhalb der anatomischen Insertionspunkte kann als Fehlplatzierung definiert werden. Diese Fehlplatzierungen sind der häufigste Grund der Revisionschirurgie bei Patienten mit persistierender Instabilität. Um postoperative Bewegungseinschränkungen im Sinne von Extensions- oder Flexionsdefiziten oder Störungen der Gelenkskinematik mit verbleibender Instabilität zu vermeiden, sollte das Ziel des VKB-Ersatzes eine möglichst anatomiegerechte Wiederherstellung der zerstörten Strukturen sein.

Anatomie des femoralen Ursprunges und der tibialen Insertion wurden bereits vor Jahrzehnten beschrieben (Werner Müller, Das Knie; Jakob und Stäubli, Kniegelenk und Kreuzbänder; Dale Daniels, Knee ligaments), die Erkenntnisse wurden jedoch nur teilweise in die klinische Praxis umgesetzt. Schwerpunkte der wissenschaftlichen Aktivitäten lagen lange Zeit auf dem Gebiet möglicher Fixationstechniken, Transplantatwahl oder OP-Zeitpunkt. Die erreichte Stabilität ist allerdings ein wesentliches Kriterium für den Erfolg der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes und bei stark kniebelastenden Sportarten (sog. Level I- Sportarten, siehe Kapitel Epidemiologie) von größter Bedeutung. Da Studien von Kocher et al. und Johnsson et al. zeigen konnten, dass diese von der Tunnelpositionierung abhängt, ist die Anatomie der Insertionsareale des VKBs wieder in den Mittelpunkt der Wissenschaft und chirurgischen Technik gerückt.

Ziel dieses Kapitels ist es, die notwendigen Grundlagen für eine anatomiegerechte femorale und tibiale Tunnelpositionierung darzustellen. Abhängig von der Größe der Insertionsareale können diese mit einem (Einzelbündelrekonstruktion) oder mit zwei Tunneln (Doppelbündeltechnik) ausgefüllt werden. Die Technik der Anlage des oder der femoralen Tunnel (mediale Portal-Bohrung, transtibiale Bohrung, outside-in-Bohrung) kann die Position beeinflussen. Bewusst wird in diesem Kapitel auf die Diskussion der femoralen und tibialen Fixation verzichtet.

Anatomie der Fossa intercondylaris

Die Anatomie der Fossa intercondylaris ist einfach zu beschreiben. Der Transfer der anatomischen Beschreibung in die klinische Tunnelpositionierung ist jedoch komplex. Der Raum zwischen der Innenseite der medialen und lateralen Femurkondyle wird als intercondyläre Notch oder Fossa intercondylaris bezeichnet. Das in der Notch verlaufende VKB besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Faserbündel, die unter funktionellen Gesichtspunkten in zwei Bündel, das anteromediale (AM) und posterolaterale Bündel (PL) unterteilt werden. Die Form der Fossa kann eher halbkreisförmig (sogenannte römische Bogenform) oder spitzzulaufend (sogenannte gotische Form) sein (Abb. 1). Die Weite der femoralen Notch kann mit Hilfe eines Weitenindex angegeben werden (notch width index, siehe Kapitel Epidemiologie).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen anatomischer Beschreibung und klinischer Betrachtungsweise der Fossa intercondylaris ist die Beugung in der sich das Kniegelenk beim Eingriff befindet. Anatomische Darstellungen beziehen sich häufig auf die Extensionstellung (Abb. 2).



Abbildung 1
Das VKB erstreckt sich innerhalb der intercondylären Notch vom der tibialen Eminenz zur Innenseite des laterale Femurkondyls. Die Notch kann unterschiedliche witen und Formen aufweisen.

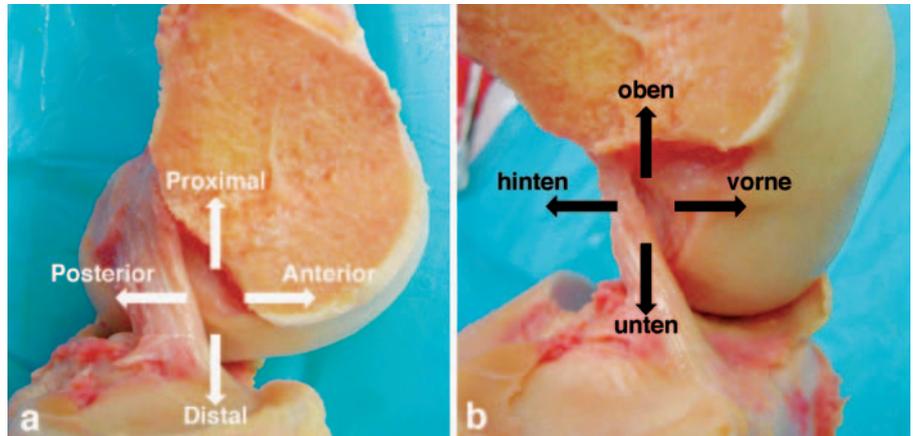


Abbildung 2
Darstellung des VKB-Ursprunges in Extension (anatomische Sichtweise) und in Knieflexion von ca. 90° (klinische Sichtweise). Durch die Änderung der Flexion ändern sich auch die positionen innerhalb der Fossa intercondylaris. Um die Lage von Tunnelpositionen im klinischen Alltag innerhalb der Fossa intercondylaris zu beschreiben, werden die Begriffe vorne oder hinten und oben oder unten verwandt.

Bei arthroskopischen Eingriffen ist die Fossa intercondylaris nur in Beugung zugänglich. Dadurch ist die Übertragung der anatomischen Bezeichnungen proximal/distal und anterior/posterior relativiert. Diese Bezeichnung entspricht in 90°-Flexion nicht dem Aspekt. Denn der posteriore Punkt der Extension liegt in Flexion distal. Aus diesem Grund sollte bei der Beschreibung der femoralen Tunnelposition die klinische Terminologie oben/unten und vorne/hinten verwandt werden (Abb. 2). Da sich die Tibia bei zunehmender Flexion nicht um die Sagittalebene dreht, ergeben sich bei der Beschreibung der tibialen Insertion diese Probleme nicht.

Femorale Tunnelpositionierung

Visualisation und anatomische Landmarken

In der klinischen Praxis wird dieser Tunnel als erstes angelegt (Ausnahme ist die transtibiale Technik). Um eine anatomische und reproduzierbare Tunnelposition zu ermöglichen,

ist die Darstellung und Visualisation des femoralen Ursprunges von essentieller Bedeutung. Hierfür ist das Ablösen der am hinteren Femurkondylus inserierenden Kapsel notwendig. Die Kapselverwachsung und ggf. bestehende vordere oder hintere Osteophyten können zu ungewollter Abweichung von der geplanten Tunnelposition führen. Lange Zeit galt die hintere Begrenzung der Fossa intercondylaris als einzige anatomische Landmarke. Im anglo-amerikanischen Bereich wird dieser Punkt häufig als „over the top“ Position bezeichnet und dient als Widerlager, um Zielgeräte zur femoralen Positionierung zu verwenden (Abb. 3). Eine häufig anzutreffende ossäre Erhebung vor der Linea intercondylaris ist die sogenannte „residents ridge“. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um die hintere Begrenzung der Fossa intercondylaris sondern im einen Punkt deutlich davor. Wird dieser Punkt aufgrund von schlechter Visualisation oder nicht ausreichenden Debridement der Kapsel als Widerlager für das Zielgerät genutzt, resultiert dies in einer anterioren femoralen Fehllage.

Zusätzlich spiegelt die Anheftung der VKB Fasern an der Linea intercondylaris nur die hintere obere Begrenzung des VKB Ursprunges wider. Dieser Punkt korreliert mit dem Ursprung der Fasern die dem anteromedialen (AM) VKB-Bündel zugeordnet werden können. Das funktionell zweite VKB-Bündel, das posterolaterale (PL) Bündel, kann nur schwer von der Linea intercondylaris referenziert werden. Grund dafür ist die Ausdehnung der VKB Insertion entlang des Knorpel-Knochenüberganges nach *vorne unten* erstreckt und (Zantop und Petersen 2007, 2008, Siebold et al. 2008). Diese 3-dimensionale Ausdehnung kann durch die Visualisation mit Hilfe des Arthroskopes im anterolateralen Portal nicht ausreichend beurteilt werden (Abb. 4). Aus diesem Grund sollte die Visualisation der femoralen VKB-Insertion mit Hilfe des medialen Portalblickes benutzt werden. Mit dem Arthroskop im anteromedialen Portal, das primärer als Instrumentenzugang dient, kann die gesamte Ausdehnung der Insertion gut dargestellt werden (Abb. 4). Auch die Beschreibung der femoralen Tunnelposition z. B. im Operationsbericht sollte die 3-dimensionale Entität des Ursprunges beinhalten. In diesem Zusammenhang erscheint auch die häufig verwandte Uhr-Position als problematisch, da es sich um eine strikte 2-dimensionale Beschreibung handelt. Da die Uhr-Position nur die Frontalebene und nicht die Sagittalebene beschreiben kann, sollte eine Tunnelbeschreibung isoliert basierend auf der Uhr-Position nicht erfolgen.

Die femorale Insertionszone des vorderen Kreuzbandes hat eine ovale bis halbmondartige Form mit einem Längsdurchmesser von ca. 18 mm und einem Querdurchmesser von ca. 11 mm (Girgis et al. 1975). Die Insertion kann im Rahmen einer Einzelbündelrekonstruktion mit einem

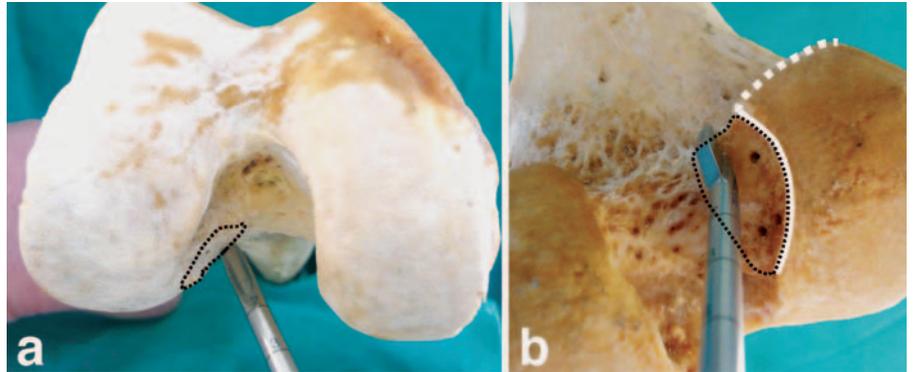


Abbildung 3
Zielgeräte zur Platzierung des femoralen Tunnels nutzen häufig die hintere Begrenzung der Fossa intercondylaris als Widerlager (a). Hiermit kann der Ursprung allerdings nur nach hinten referenziert werden. Zusätzlich hat sich der Übergang der Knochen-Knorpel-Grenze (weiß durchgehende Linie) zur Linea intercondylaris (weiß gestrichelt) als Landmarke nützlich gemacht (b).

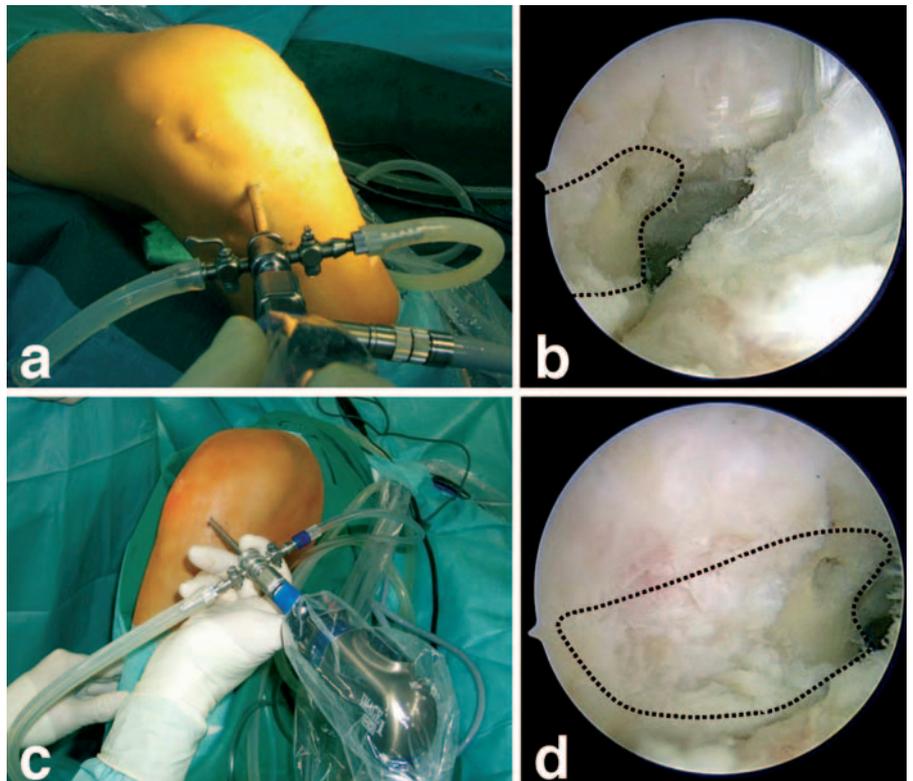


Abbildung 4
Mit der Standardvisualisierung durch das hohe anterolaterale Portal (a) kann die Dreidimensionalität des Ursprunges nur teilweise dargestellt werden (b). Der Blick über das anteromediale Portal (c) erlaubt eine wesentlich bessere Übersicht über das VKB-Ursprungsgebiet. Insbesondere die Insertion des PL-Bündels ist erst darstellbar, wenn die Optik im medialen Portal platziert wird (d). Die Probebohrung scheint beim Blick durch das laterale Portal aus ausreichend, bei der Visualisierung durch das mediale Portal zeigt sich jedoch, dass der Tunnel streng im AM-Gebiet liegen würde und die Fasern des PL-Bündels nicht berücksichtigt werden würden. Die Probebohrung erfolgte mit einem 5,5 mm-offset-Guide.

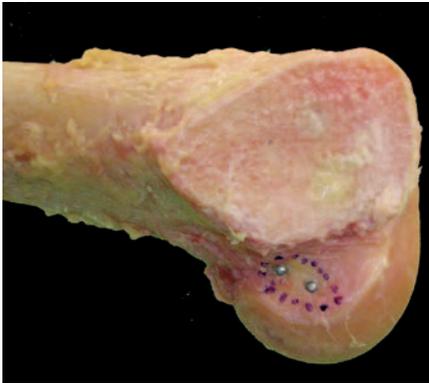


Abbildung 5
Femorale Ursprung des VKBs in 90°-Flexion (gestrichelte Linie). Das Zentrum des AM- und PL-Bündels ist mit einem K-Draht markiert (AM hinten oben, PL vorne unten).

einfachen Tunnel von ca. 8–10 mm oder im Rahmen einer Doppelbündelrekonstruktion mit 2 Tunneln mit Durchmessern von 6–7 mm für das AM-Bündel und 5–6 mm für das PL-Bündel ausgefüllt werden. Das Zentrum des AM Bündels ist in der femoralen Notch oben und hinten gelegen, während das PL Bündel unten und vorne inseriert (Abb. 5).

Technik der femoralen Bohrkanalanlage

Der femorale Tunnel kann in arthroskopischer Technik in drei unterschiedlichen Ansätzen angelegt werden:

- Transtibiale Technik
- Outside/in Technik
- Mediale Portaltechnik

Bei der transtibialen Technik wird der femorale Tunnel durch den zuvor angelegten tibialen Tunnel lokalisiert (Abb. 6). Diese Technik birgt die Gefahr einer steilen femoralen Fehlplatzierung wenn der tibiale Tunnel nicht streng horizontal angelegt wird. Diese Problematik ist insbesondere bei der Verwendung von Patellarsehnentransplantaten und medianer Hautinzision zur Transplan-

Technik	Vorteile	Nachteile
Trans-tibiale Technik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Große klinische Erfahrung ■ Schnelle Technik ■ Transfemorale femorale Fixationstechnik anwendbar ■ geringere Interferenz mit Hoffa'schen Gelenkkörper 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gefahr der steilen femoralen Tunnelposition (high noon-Position) ■ Flüssigkeitsverlust nach Anlage des tibialen Tunnels ■ Gefahr der primären Tunnelweite bei Einführen des femoralen Bohrers und exzentrischen K-Drahtverlauf im tibialen Tunnel ■ posteriore tibiale Tunnelposition ■ Divergenz Interferenzschraube (mediale Portaltechnik) und femoraler Tunnel (transtibial) ■ häufig Notwendigkeit einer notch-Plastik ■ Schädigung der subchondralen tibialen Knochenlamelle bei stark horizontalen tibialen Tunnel

Abbildung 6
Vor- und Nachteile der transtibialen Technik.

Technik	Vorteile	Nachteile
Outside-in-Technik	<ul style="list-style-type: none"> ■ unabhängige femorale und tibiale Tunnelplatzierung ■ Implantatfreie Hamstringtechnik anwendbar ■ Einsatz in der Revisionschirurgie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gefahr des femoralen blow out ■ laterale Zusatzinzision ■ mögliche Tractus Irritation ■ spezielle Zielgeräte notwendig

Abbildung 7
Vor- und Nachteile der outside-in-Technik.

tation gegeben. Bei stark horizontal angelegten tibialen Tunnel besteht jedoch die Gefahr einer Läsion der Gelenkfläche des mediale Tibiaplateaus und ein großflächiger ovaler intra-artikulärer Tunnelausgang. Die transtibiale Technik ist

für die femorale Tunnelplatzierung heute nicht mehr zu empfehlen. Bei der sogenannten „outside-in“-Technik erfolgt die femorale Tunnelpositionierung über Zusatzinzision im Bereich des Tractus iliotibialis von proximal-lateral nach distal-

Technik	Vorteile	Nachteile
Mediale Portal-Technik	<ul style="list-style-type: none"> ■ unabhängige femorale und tibiale Tunnelplatzierung ■ keine Flüssigkeitsverlust ■ einfache Korrekturmöglichkeiten der femoralen Tunnelposition ■ Tunneldurchmesser tibial und femoral individuell anpassbar ■ geringere Notwendigkeit einer Notchplastik ■ Vermeidung einer steilen femoralen Tunnelposition (high noon Position) ■ anatomische tibiale Position ■ gut geeignet für Revisionseingriffe ■ keine Divergenz bei Interferenzschraubenfixation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ schlechte Visualisation beim Bohrvorgang in maximaler Flexion ■ Gefahr von Knorpelläsionen am medialen Femurkondylus bei zu medialer Portallage ■ limitierter Einsatz von transfemorale Fixationssystemen ■ kürzere femorale Tunnellänge

Abbildung 8
Vor- und Nachteile der medialen Portal-Technik.

medial. Hierfür wird ein spezielles verwendet. Ein Vorteil ist die unabhängige femorale und tibiale Tunnelposition (Abb. 7).

Bei der zur Zeit favorisierten medialen Portaltechnik erfolgt die femorale Tunnellokalisation durch den speziell angelegten Instrumentenzugang (Abb. 8). Hierdurch kann eine steile femorale Tunnelposition vermieden werden. Zusätzlich ist der femorale Tunnel unabhängig von der tibialen Tunnelposition. Ein wichtiger Vorteil ist die sichere und einfache Korrekturmöglichkeit der femoralen Tunnelposition mit der K-Draht-Positionierung durch das mediale Portal. Das Portal sollte medial und knapp über dem Innenmeniskusvorderhorn angelegt werden. Eine vorausgehende Sondierung mit der Kanüle ist wichtig, um eine zu hohe (Gefahr kurzer femoraler Tunnel), zu

tiefe (Gefahr der Schädigung des Innenmeniskusvorderhornes) und zu mediale Portallokalisation (Gefahr iatrogenen Knorpelläsion am medialen Femurkondylus beim Bohrvorgang) zu vermeiden. Da die Nachteile, wie schlechtere Visualisation bei hoher Knieflexion und der limitierte Einsatz älterer transfemorale Fixationssystemen im Vergleich zu den Vorteilen dieser Technik nur von untergeordnet erscheinen, ist die mediale Portaltechnik die zur Zeit zu empfehlende Technik.

Femorale Kanalanlage bei Einzelbündelrekonstruktion

Ziel der femoralen Kanalanlage bei Einzelbündelrekonstruktion sollte eine Platzierung im Zentrum der femoralen Insertion sein. Da der Punkt der größten Isometrie außerhalb der

femorale Insertion lokalisiert ist und somit nicht anatomisch, wird das Konzept der Isometrie orientierten femoralen Tunnelplatzierung nicht verfolgt. Vielmehr wird eine die Anatomie respektierende Tunnelposition mit Berücksichtigung der funktionellen Bündelstruktur angestrebt. Der Tunnel sollte zur Sicherung der Rotationsstabilität neben Fasern des sogenannten AM-Bündels auch Fasern des PL-Bündels rekonstruieren.

Ein standardisiertes Vorgehen bei VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik kann die Operationszeit reduzieren. Hierbei ist die Portalanlage ein wichtiger Faktor der den Verlauf der folgenden Operationsschritte beeinflusst. Das mediale Portal sollte in ca. 90°-Flexion angelegt werden, um ein Kulissenphänomen beim Einnehmen der Knieflexionsstellung zum Bohren (ca. 110°–130°-Flexion) zu vermeiden. Das Portal medial und tief angelegt und so eine iatrogene Knorpelläsion am medialen Femurkondylus verhindert (Abb. 10). Nach Ablösen der Kapsel und ggf. Resektion der residents ridge erfolgt das Einbringen eines geeigneten Zielgerätes erfolgt die Probebohrung mit einem K-Draht. Nach dem Ankönnen erfolgt die Kontrolle der Position über den medialen Portalblick. Eine isolierte Rekonstruktion des AM-Bündels sollte vermieden werden, da dadurch nicht die Fasern des PL-Bündels und somit nicht die bestehende Rotationsinstabilität adressiert wird (Abb. 11). Aus diesem Grund werden konventionelle Zielgeräte, die für den transtibialen Gebrauch entwickelt wurden, nicht den anatomischen Anforderungen an ein Portalzielgerät gerecht. Der femorale Tunnel sollte im Zentrum der VKB-Insertion angesetzt werden (Abb. 12). Es gilt zu bedenken, dass die Orientierung des Ursprunges in arthroskopischer Knieflexionsstellung von der Extension-

Operatives Vorgehen	Fehlermöglichkeiten
Anlage des medialen Portals in Kanülentechnik	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu hohe oder zu mediale Portallokalisation ■ Anlage des Portals in zu geringen Knieflexionsstellung
Ablösen der Kapselverwachsungen am hinteren am hinteren Femurkondylus (ggf. Resektion einer residents ridge)	<ul style="list-style-type: none"> ■ nicht ausreichende Resektion der Kapsel ■ Einhaken des Zielgerätes hinter die residents ridge
Probebohrung (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu steile und anteriore Fehlplatzierung ■ AM-Augmentation ohne Berücksichtigung der PL-Bündel-lokalisation
Kontrolle der geplanten femoralen Position durch medialen Portalblick	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine Berücksichtigung der Knieflexionsstellung
Bikortikales Platzieren des K-Drahtes (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu geringe Knieflexion beim Bohrvorgang
Bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verändern des Knieflexionswinkels
Längenbestimmung und Sacklochbohrung mit einem dem Transplantatdurchmesser angepassten Bohrer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Veränderung des Knieflexionsgrades zwischen 4,5-mm-Bohrung und Sacklochbohrung

Abbildung 9
Operationsschritte und Fehlermöglichkeiten bei der Anlage des femoralen Tunnels in medialer Portaltechnik.

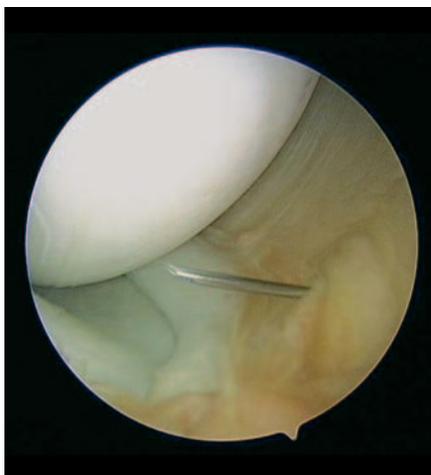


Abbildung 10
Das anteromediale Portal sollte flach, direkt über der Meniskusbasis angelegt werden.

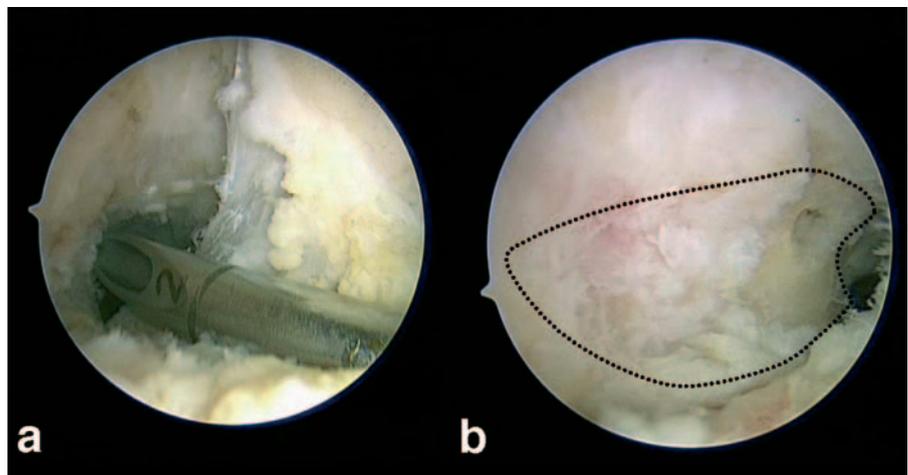


Abbildung 11
Einbringen eines femoralen Zielgerätes mit 5,5 mm offset in medialer Portaltechnik und Ausrichtung in der 10:00-h-Position (a). Der Blick durch das mediale Portal zeigt, dass das PL-Bündel nicht respektiert wird (gestrichelte Linie: VKB-Insertion) (b).

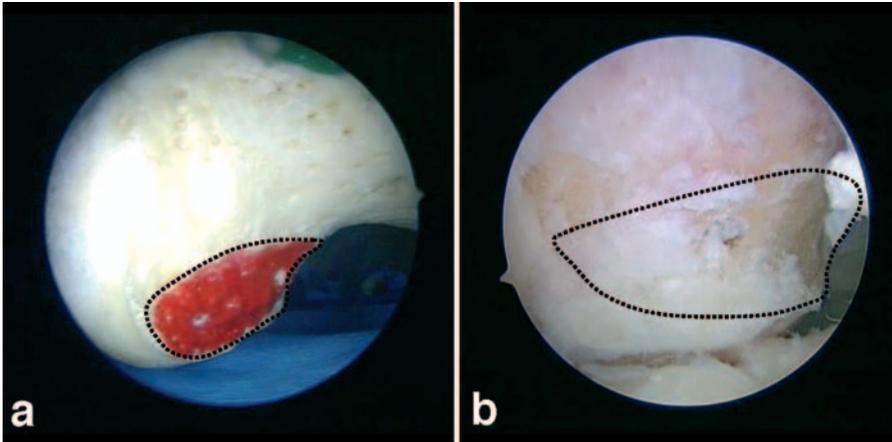


Abbildung 12
 Visualisation des Ursprunges an einem mazerierten Knochen über den medialen Portalblick. Die Probebohrungen wurden im Zentrum des AM- und des PL-Bündels durchgeführt (a). Intraoperatives Bild in medialer Portaltechnik bei anatomischer Einzelbündelrekonstruktion (b). Die Bohrung liegt in Zentrum zwischen AM- und PL-Bündel und wurde mit einem speziellen medialen Portalzielgerät mit einem offset von 10 mm angeben.



Abbildung 13
 Überbohren des K-Drahtes mit einem 4,5-mm-Bohrer.



Abbildung 14
 Darstellung der zentralen Tunnellage im VKB-Ursprung (medialer Blickwinkel). Aus didaktischen Gründen ist die Probebohrung mit einem 5,5 mm offset-Zielgerät dargestellt (hinten oben, AM Rekonstruktion).

stellung deutlich unterscheidet (siehe Abb. 2). Das bedeutet, dass eine arthroskopisch scheinbar zu weit vorne und unten gelegene Tunnelposition, sich in Extensionstellung nach proximal und posterior dreht. Ein evtl. vorhandener „Footprint“ ist für die Orientierung hilfreich. Bei anatomischer Lage der Probebohrung wird der K-Draht an-

schließend bikortikal eingebracht (Abb. 13). Hierbei muss eine hohe Knieflexion eingenommen werden, da sonst aufgrund der geringen Angulation zum lateralen Femurkondylus die Gefahr eines femoralen blow-outs besteht. Anschließend wird der Kirschnerdraht entsprechend dem Transplantatdurchmesser und abhängig von der Fixierungstechnik

überbohrt. Die femorale Tunnelposition kann durch eine Visualisation durch das mediale Portal dargestellt werden (Abb. 14).

Femorale Kanalanlage bei Doppelbündelrekonstruktion

Die Strategie der femorale Tunnelanlage bei einer Doppelbündelrekonstruktion gleicht dem Ablauf der Einzelbündeltunnelanlage und wird in der medialen Portaltechnik durchgeführt (Abb. 15). Bei einem kleinen femoralen Insertiosareal sollte keine doppelte femorale Tunnelanlage erfolgen. Bei doppelter Tunnelanlage besteht auch die erhöhte Gefahr einer Fehlplatzierung. Daher ist eine Doppelbündelrekonstruktion bei unklarer Größe der Insertion und nicht ausreichender Visualisation nicht zu empfehlen.

Bei der medialen Portalanlage ist zu entscheiden, ob eine einfache oder zweifache mediale Portaltechnik verwandt werden soll. Eine zweifache mediale Portaltechnik besitzt den Vorteil, dass die Divergenz der beiden femoralen Tunnel immer gegeben ist, wenn der anteromediale (AM) Tunnel durch das eher parapatellare Portal und der posterolaterale (PL) Bündel-Tunnel durch das weit mediale Portal angelegt wird, während bei der PL-Portal Lokalisation auch die topographische Nähe zum medialen Femurkondylus beachtet werden muss (siehe oben). Bei dieser Strategie kann das AM-Portal parazentral medial lokalisiert werden. Auch mit einer einfachen Portaltechnik kann meist die Divergenz der femoralen Tunnel erreicht werden. Diese Technik besitzt den Vorteil einer kürzeren OP-Zeit und geringeren Traumatisierung. Nach Portalanlage erfolgt das Ablösen der femoralen Kapsel und die Darstellung des Ursprungsgebietes durch das mediale Portal. Der VKB Ursprung grenzt im oberen Anteil an die Linea inter-

Operatives Vorgehen	Fehlermöglichkeiten
Probebohrung AM-Bündel (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu steile und anteriore Fehlplatzierung ■ AM-Bündel vor dem Treffpunkt Linea interkondylaris und Knochen-Knorpel-Grenze
Kontrolle der geplanten femoralen Position durch medialen Portalblick	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine Berücksichtigung der Knieflexionsstellung
Bikortikales Platzieren des AM-K-Drahtes (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu geringe Knieflexion beim Bohrvorgang
Bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verändern des Knieflexionsgrades
Probebohrung PL-Bündel (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ zu kleine Brücke und zu geringer Abstand zum AM-Bündel ■ Fehlplatzierung zu weit vorne oder zu hoch
Bikortikales Platzieren des PL-K-Drahtes (Portalzielgerät oder frei Hand)	<ul style="list-style-type: none"> ■ im Vergleich zum AM-Bündel höhere Flexion nötig
Bikortikales Überbohren mit 4,5-mm-Bohrer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verändern des Knieflexionsgrades
Längenbestimmung und Sacklochbohrung mit einem dem Transplantatdurchmesser angepassten Bohrer	<ul style="list-style-type: none"> ■ Veränderung des Knieflexionsgrades zwischen 4,5-mm-Bohrung und Sacklochbohrung

Abbildung 15

Operationsschritte und Fehlermöglichkeiten bei der Anlage der femoralen Tunnel bei Doppelbündeltechnik in medialer Portaltechnik.

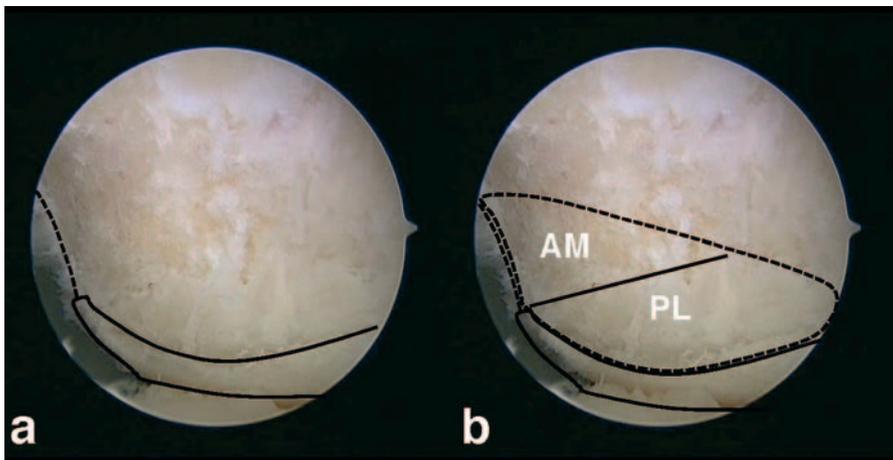


Abbildung 16

Darstellung des femoralen Ursprunges im medialen Portalblick. An dem Treffpunkt Linea interkondylaris (gestrichelt, a) und Knochen-Knorpel-Grenze (durchgehende Linie) ist der ungefähre Trennpunkt zwischen AM- und PL-Bündel (b).

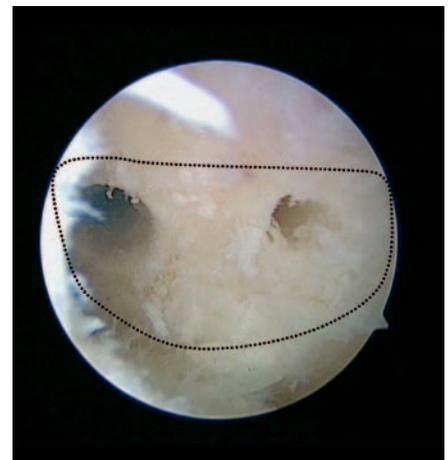


Abbildung 17

Überprüfung der PL-Bündel-Position nach Probebohrung mit Hilfe des medialen Portalblickes (Knieflexion 120°).

condylaris und erstreckt sich entlang des Knorpel-Knochenüberganges nach vorne unten und (Abb. 16). Der Übergang der Linea intercondylaris zum Knorpel-Knochen-Übergang liegt zwischen dem Insertionsgebiet des AM- und PL-Bündels und dient als Landmarke zur Orientierung in der Sagittalebene. Das AM-Bündel entspringt im oberen und hinteren Anteil; das PL-Bündel entspringt im vorderen unteren Anteil des femoralen Ursprunges (Abb. 16). Die Distanz zwischen Mitte AM-Bündel und PL-Bündel beträgt ca. 8–10 mm. Somit kann auch bei einer Tunnelgröße von 6–7 mm für das AM- und 5–6 mm für das PL-Bündel bei normaler Insertionsgröße eine gute knöcherne Brücke erhalten werden. Um ein enges Anliegen der Transplantate an der Tunnelwand zu gewährleisten, ist jedoch ein möglichst kleiner Durchmesser der Bohrkannäle zu wählen. Der Abstand des PL-Bündels vom Knorpel-Knochen-Übergang beträgt 5–6 mm. Der AM-Bündel-Tunnel wird als erstes platziert und muss im anatomischen Ursprung zu liegen kommen (hinten und oben). Hierfür kann ein Zielgerät mit geringen off-set (5,5 mm) verwandt werden. Neben speziellen AM-Zielgeräten für eine Doppelbün-

delrekonstruktion kann für das AM-Bündel auch ein herkömmliches transtibiales Zielgerät genutzt werden. Nach Ankören wird der mediale Portalblick durchgeführt. Bei anatomischer Position wird der anschließend bikortikal eingebrachte K-Draht abhängig von der geplanten Fixierungstechnik definitiv überbohrt (Abb. 17). Das Zentrum des PL-Bündel-Tunnels wird mit einer Probebohrung unter Verwendung eines speziellen PL-Bündel-Zielgerätes oder frei Hand festgelegt. Nach Kontrolle über den medialen Portalblick erfolgt wiederum das Überbohren des bikortikalen K-Drahtes. Der abschließende Blick durch das mediale Portal dokumentiert die femorale Tunnelposition (Abb. 18).

Tibiale Tunnelpositionierung

Visualisation und anatomische Landmarken

Die Visualisation der tibialen Insertion erfolgt mit dem Arthroskop über das hohe anterolaterale Portal und Blickrichtung auf die 6-Uhr-Position. Bei geringeren Flexionsgraden (60°) ist eine gute Übersicht ohne Beeinträchtigung durch den Hoffa'schen Gelenkkörper gegeben. Im Vergleich

zur intraligamentären Anteil des VKBs ist die tibiale Insertion (wie auch der femorale Ursprung) ca. um das 3-fache größer (Baeck et al.). Die Einteilung der VKB Fasern in 2 unterschiedliche funktionelle Bündel richtet sich nach dem tibiale Insertionsgebiet. Die Fasern des anteromedialen Bündels setzen im anteromedialen Insertionsgebiet an während die Fasern des posterolateralen Bündels im posterolateralen Bereich des tibialen Insertionsgebietes ansetzen. Beide Bündel zusammen bilden eine dreieckige Form. Diese aufgefächerte charakteristische Form wird im Schrifttum oft als „Entenfuß“ bezeichnet wird (Duck's foot) (Abb. 19).

Die tibiale Insertionszone befindet sich zwischen der medialen und lateralen tibialen Eminencia und deren ventralen Ausläufern. Sie hat eine Ausdehnung von durchschnittlich 17 mm in der Sagittalen und 11 mm in der Transversalen. Die anatomische Landmarke für die tibiale AM-Insertion ist die hintere Begrenzung des Außenmeniskusvorderhornes (Abb. 19). Die PL-Insertion ist dorsal durch den Vorderrand des hinteren Kreuzbandes begrenzt. Ziel der tibialen Tunnelplatzierung sollte eine anatomische Bohrkannallage

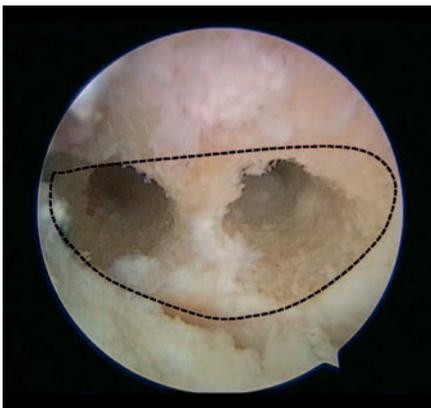


Abbildung 18
Darstellung der femoralen Tunnel nach Überbohren mit 6,5-mm- (AM) und 6,0-mm- (PL) Bohrern.

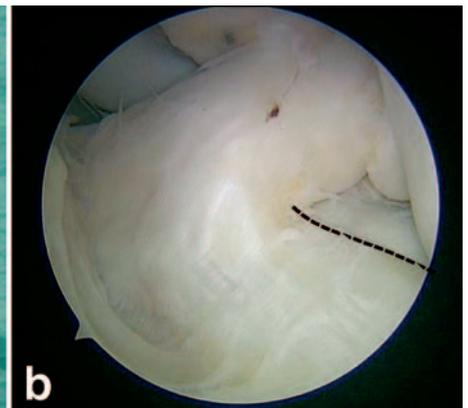


Abbildung 19
Die tibiale Insertion erstreckt sich wie ein Entenfuß (Ducks foot, a). Die VKB-Fasern inserieren auf Höhe des AM-Vorderhornes (b).

sein. Bei einer Doppelbündelrekonstruktion sollten die Tunnel möglichst exakt in diesen Zonen liegen, bei einer Einzelbündel Rekonstruktion dazwischen.

Technik der tibialen Bohrkanalanlage

Im Vergleich zu älteren Rekonstruktionstechniken erzeugt diese deutlich weiter vorn platzierte Tunnelanlage allerdings bei vielen Operateuren Zweifel in Bezug auf eine freie postoperative Beweglichkeit ohne Extensionsdefizit. Früher erfolgte die tibiale Tunnelanlage posterior mit Referenz zum HKB. Hiermit sollte ein Anstoßen des Transplantates (sogenanntes Impingement) an das Dach der Fossa interkondylaris verhindert werden. Allerdings ist ein Anstoßen von Fasern auch beim intakten VKB ohne auftretendes Streckdefizit physiologisch (Abb. 20). Deshalb muss bei der tibialen Tunnelanlage auch die femorale Position mit in Betracht gezogen werden. Häufig ist die Ursache für ein postoperatives Extensionsdefizit nicht eine tibiale sondern eine femorale Fehlplatzierung (Abb. 21).

Der tibiale Tunnel kann in zwei unterschiedlichen Ansätzen angelegt werden:

- mit Berücksichtigung des anzulegenden femoralen Tunnel (transtibiale Technik),
- unabhängig vom femoralen Tunnel (Outside/in oder mediale Portaltechnik).

Der Verlauf des Transplantates sollte den anatomischen Verlauf des VKBs imitieren. Die Analyse der Anatomie des intakten VKB zeigt, dass das Impingement (Anstoßen) zwischen VKB und vorderem Rand der Fossa intercondylaris physiologisch ist. Da das AM-Bündel mit zunehmender Streckung an Spannung verliert, kann es sich um den vorderen Anteil

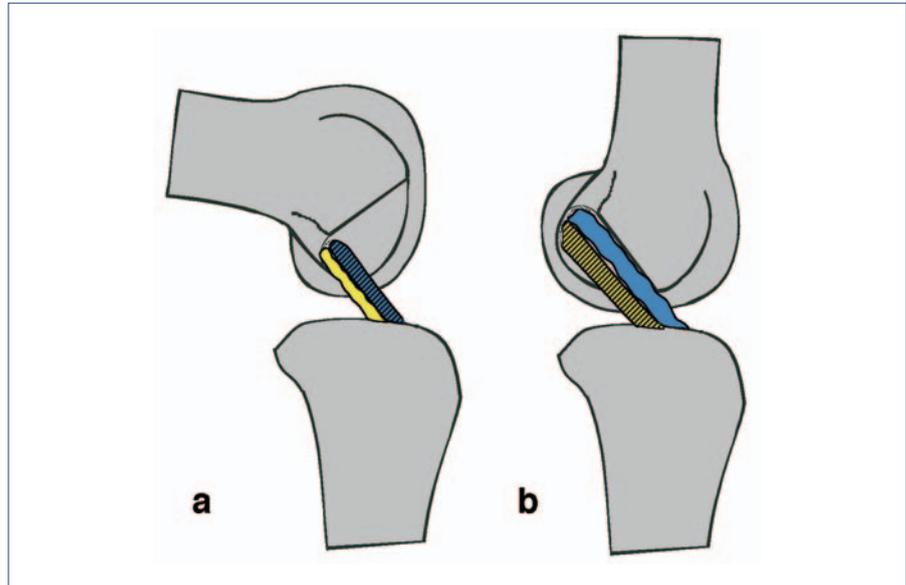


Abbildung 20

Schematische Darstellung des physiologischen Impingements. In Flexion ist das AM-Bündel (blau) angespannt und das PL (gelb) locker (a). In Extensionstellung spannt sich das PL-Bündel zunehmend mehr an, während das AM-Bündel an Spannung verliert (b). Auf diese Weise kann sich das AM-Bündel um das Dach der Fossa interkondylaris herumwinden, ohne ein Bewegungsdefizit zu verursachen.

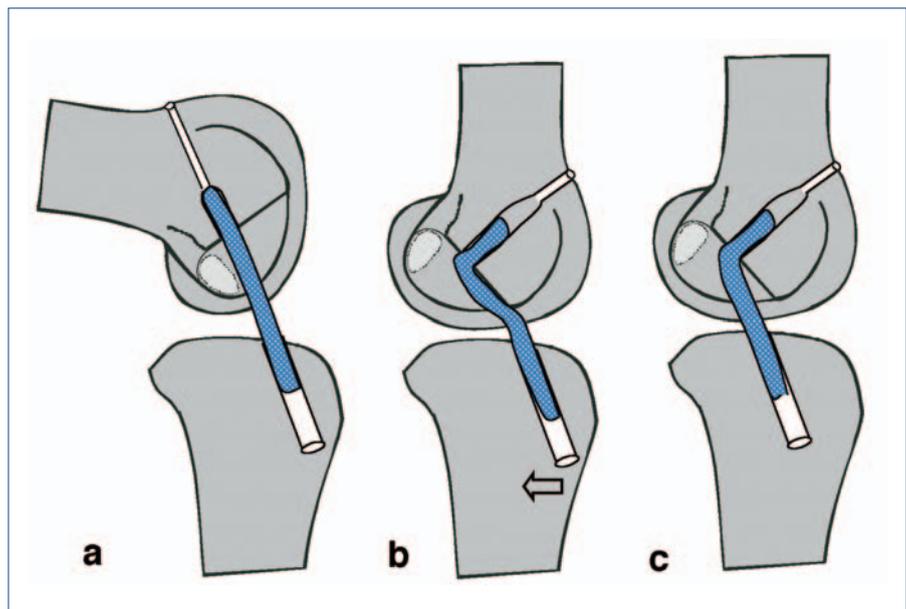


Abbildung 21

Schematische Darstellung des pathologischen Impingements. In transtibialer Technik wurde in früheren Jahren häufig der femorale Tunnel zu steil und anteriore fehlplatziert (a). In Extension kommt es dann bei anteriorer tibialer Lage zu einem Extensionsdefizit (pathologisches Impingement, b). Als Reaktion wurde empfohlen, den tibialen Tunnel posterior zu verschieben. Eine steile femorale Position in Kombination mit einem tibialen posterioren Tunnel resultiert allerdings in einem vertikalen Transplantatverlauf mit einem sehr geringen Vektor um einer anterioren tibialen Translation zu widerstehen (c).

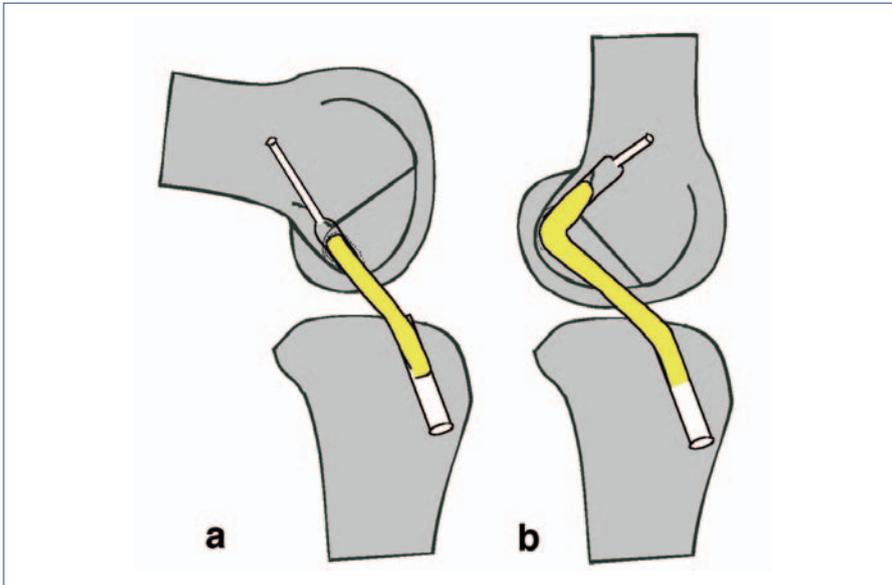


Abbildung 22
Schematische Darstellung der Imitation des physiologischen Impingements bei medialer Portaltechnik. Wird der femorale Tunnel anatomisch im Ursprungsgebiet angelegt (a), so führt auch eine anatomisch anteriore tibiale Tunnelposition nicht zu einem Bewegungsdefizit in Extension (b).

der Fossa intercondylaris winden. Somit wird ein Extensionsdefizit verhindert. Dieses „Anstoßen“ kann also als physiologisch angesehen werden (physiologisches Impingement). Bei einer transtibialen Rekonstruktionstechnik mit einem steilen femoralen Tunnel und anteriorer tibialer Tunnellage (Anlage in 90°-Knieflexion, Abb. 21) kann es zu einem vorzeitigen Anstoßen des Transplantates an das Dach der Fossa intercondylaris und somit zu einem Extensionsdefizit kommen (pathologisches Impingement). Wird der tibiale Tunnel unabhängig vom femoralen Tunnel angelegt (mediale Portaltechnik), dann kann das physiologische Impingement des intakten VKBs imitiert werden. Eine tibial anatomische (anteriore) Tunnelposition in Kombination mit einer femoral anatomischen Kanallage führt zu einem größeren resultierenden Vektor gegen eine ventralisierende tibiale Translationskraft. In dieser Kombination kommt es zu keinem

Extensionsdefizit trotz der anterioren tibialen Tunnellage (Abb. 22).

Tibiale Kanalanlage bei Einzelbündelrekonstruktion

Ziel der tibialen Kanalanlage bei Einzelbündelrekonstruktion sollte eine Platzierung im Zentrum der tibialen Insertion sein. Hierfür ist eine unab-

hängige Platzierung des tibialen Tunnels vom femoralen Tunnel vorteilhaft (mediale Portaltechnik). Zunächst kann mit Hilfe des Tasthakens die tibiale Insertion des AM- und PL-Bündels lokalisiert werden. Der tibiale Tunnel wird dann mit Hilfe eines Zielgerätes lokalisiert, das durch das mediale Portal in das Gelenk eingeschoben wird. Anhand des Zielgerätes lässt sich die Länge des tibialen Tunnels ablesen. Bei kurzem tibialen Tunnel sollte der Winkel des Zielgerätes in der Sagittalebene erhöht und somit der Tunnel verlängert werden. Die Tunnellänge kann für Knochenblocktransplantate (BPTB) oder Hamstring-Transplantate mit geplanter extra-kortikaler Fixation wichtig sein. Zunächst wird ein K-Draht im Insertionsgebiet platziert. Bei der Bohrung sollte kein übermäßiger Druck ausgeübt werden, da ansonsten der Draht abweichen kann. Ein sogenannter Impingement-Test ist bei der medialen Portaltechnik von untergeordneter Bedeutung. Hierfür wird der K-Draht weiter in das Gelenk vorgebohrt und das Kniegelenk in Extensionstellung gebracht. Sollte es hier zu einem Anschlagen des K-Drahtes an das Dach der Fossa intercondylaris kommen, so ist eine zu anteriore Tunnelplatzierung zu befürchten. Dieser

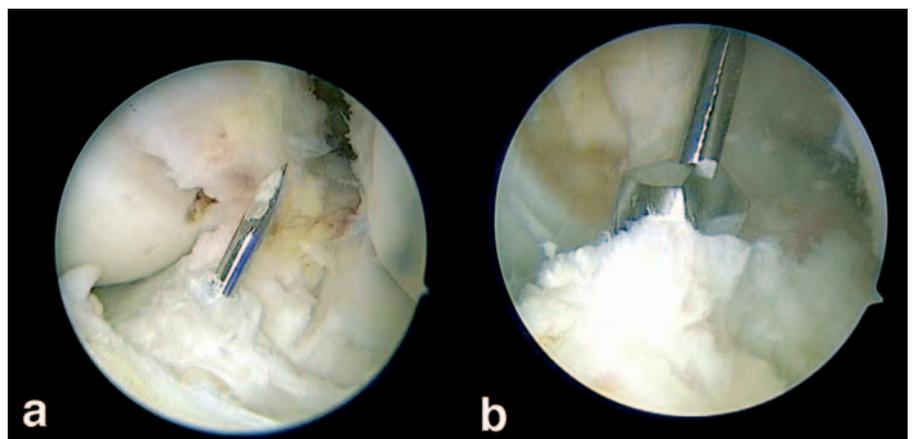


Abbildung 23
Bei anatomischer Lage des Drahtes kann ein Überbohren erfolgen.

Test war bei transtibialer Technik hilfreich. Da bei einer Portaltechnik der femorale Tunnel allerdings nicht mit dem tibialen K-Draht erreicht werden kann, ist die Aussagekraft limitiert. Bei anatomischer Position wird der Draht mit einem dem Transplantatdurchmesser angepassten Bohrer überbohrt (Abb. 23). Sollte der K-Draht nicht ideal positioniert sein, so kann mit einer Versetzlehre unter vorläufigem Belassen des Drahtes mit einem zweiten Draht korrigiert werden. Bei grober initialer Fehlplatzierung sollte der Draht allerdings mit Hilfe des Zielgerätes komplett neu platziert werden.

Tibiale Kanalanlage bei Doppelbündelrekonstruktion

Auch bei der Doppelbündelrekonstruktion sollten beide Tunnel im anatomischen Ursprung liegen. Das Zentrum des AM-Bündel Tunnels wird auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns angebracht während das Zentrum des PL-Bündel-Tunnels posterolateral knapp ventral des HKBs angelegt wird (Abb. 24). Der Abstand zwischen diesen beiden Mittelpunkten ist ca. 8–10 mm. Somit kann bei umsichtiger tibiale Platzierung auch tibial eine Brücke zwischen den beiden Tunneln erhalten werden. Im Gegensatz zur femoralen Doppelbündelstrategie ist tibial allerdings nicht immer eine Konfluenz am intraartikulären Austrittspunkt zu vermeiden. Als erstes erfolgt die Platzierung des AM-Bündel K-Drahtes. Hierfür wird ein tibiales Zielgerät verwendet. Der Draht sollte auf Höhe der Hinterkante des Außenmeniskus austreten, um eine anatomische Platzierung im Insertionsgebiet des AM-Bündels sicher zu stellen (Abb. 25). Der Eintrittspunkt an der anteromedialen Tibia wird knapp medial der Tuberositas tibiae gewählt, damit eine Divergenz der Tunnel erreicht werden kann und ausreichend

Platz für den PL-Tunnel vorhanden ist. Nach anatomischer Anlage des AM-K-Drahtes erfolgt die Platzierung des PL-Drahtes. Dieser wird abhängig von der Größe der Insertion und dem Transplantatdurchmesser 8–10 mm posterior des ersten Drahtes angelegt (Abb. 25). Eine gewisse Abweichung des Drahtes vom geplanten intraartikulären Austrittspunkt kann mit Versetzlehre korrigiert werden. Nach dem Überbohren der Drähte kann die knöcherne Brücke teilweise erhalten bleiben. Es erfolgt der Transplantateinzug beginnenden

mit dem PL-Bündel. Zunächst wird ein Draht mit Fadenschleife durch das mediale Portal in den femoralen PL-Bündel-Tunnel eingeschoben und die Fadenschleife mit einer Fasszange durch den tibialen PL-Tunnel ausgeleitet. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Fasszange nicht durch den AM-Bündel-Tunnel eingeführt wird und somit das PL-Transplantat in den tibialen AM- und den femoralen PL- Bündel-Tunnel eingezogen wird. Nach Fixation zeigt die Extensionsüberprüfung eine volle Streckung (Abb. 26).

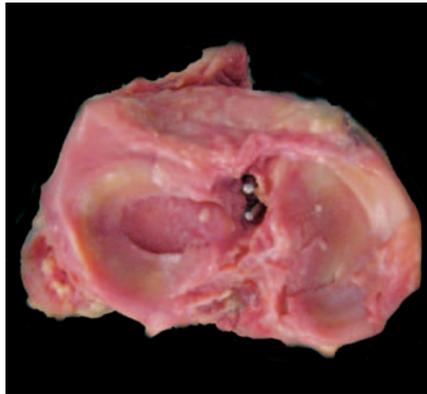


Abbildung 24
Anatomische tibiale Tunnellage beim Präparat eines Körperspenders.



Abbildung 25
Tibiale K-Draht-Position bei Doppelbündelrekonstruktion.

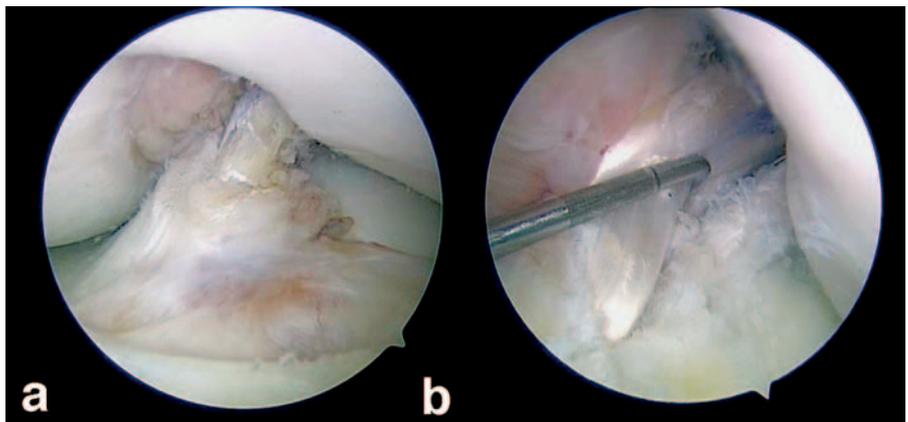


Abbildung 26
Doppelbündelrekonstruktion nach Fixation. Die arthroskopische Darstellung in Extension zeigt trotz anteriorer und anatomischer Lage des AM-Bündels kein pathologisches Impingement (a). Das PL-Bündel kann durch Retraktion des AM-Bündels sichtbar gemacht werden (b).

Rekonstruktion in Einzelbündel oder Doppelbündeltechnik

Die Fragestellung, ob eine Einzelbündel- oder Doppelbündelrekonstruktion das beste klinische Ergebnis liefert, ist zur Zeit Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. Dieses belegen die Programmhefte der Kongresse der großen Gesellschaften wie z. B. der GOTS oder der AGA. Unterstützt werden diese Daten durch die Veröffentlichungen der letzten Monate in wissenschaftlichen Journals. Eine aktuelle Recherche in Pubmed (Stichworte ACL double bundle reconstruction and prospektive randomized) ergibt 16 prospektive klinische Studien mit Kontrollgruppe über Doppel-Bündel-Techniken existieren, die in Zeitschriften mit einem peer review-Verfahren publiziert wurden.

Ein wissenschaftliches Problem dieser Studien ist häufig die verwandte Kontrollgruppe. So zeigen sich bei mehreren der Studien Doppelbündelrekonstruktionen, die dem Anspruch einer anatomiegerechten Rekonstruktion nicht gerecht werden. Teilweise erfolgte die Anlage des AM-Bündel-Tunnels transtibial und resultiert somit in einer sehr steilen AM-Bündel-Platzierung. In anderen Studien zeigt sich eine steile (transtibiale) Einzelbündelrekonstruktion, so dass auch hier ein wissenschaftliches Problem in der Kontrollgruppe zu sehen ist.

Mittelfristige oder Kurzzeitergebnisse von anatomischen Doppelbündelrekonstruktionen scheinen die biomechanisch belegten signifikanten Unterschiede in Lachman- und Pivot shift-Phenomenen für eine Doppelbündelrekonstruktion gegenüber einer Einzelbündelrekonstruktion zu belegen. Bei allen publizierten Studien handelt es sich jedoch um maximal mittelfristige Ergebnisse; Langzeitergebnisse nach Doppelbündelrekonstruktion liegen noch nicht vor.

Außerdem sind die derzeit handelsüblichen Meßinstrumente zur Objektivierung der Laxität nicht ausreichend spezifisch und sensitiv.

Aufgrund dieser Forschungsergebnisse favorisieren wir die VKB Rekonstruktion in einer anatomiegerechten VKB-Rekonstruktionstechnik. Diese kann in Einzel- oder Doppelbündeltechnik erfolgen. Doppelbündel-Rekonstruktionen sollten derzeit nur an wenigen Zentren mit sehr hohen Fallzahlen und entsprechender wissenschaftlicher Begleitung durchgeführt werden.

Literatur

- Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoke K, Kurawaka M. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: Single versus double-bundle multi-stranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86: 515–520.
- Aglietti P, Giron F, Cuomo P, Losco M, Mondanelli N. Single- and Double-incision Double-bundle ACL Reconstruction. *Clin Orthop Rel Res* 2007; 454: 108–113.
- Amis A, Bull AMJ, Lie DT (2005). Biomechanics of Rotational Instability and Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Oper Tech Orthop* 15: 29–35.
- Amis AA, Dawkins GP (1991). Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fiber bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br* 73: 260–267.
- Amis AA, Jakob RP. Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998; 6(Suppl 1): S2–12.
- Bernard M, Hertel P (1997). Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 10: 14–21.
- Beynonn B, Johnsson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE (2007). Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries. Part II. *American Journal of Sports Med* 33: 1751–1765.
- Blauth W (1984). [Restauration of the ACL with a 2-stripped quadriceps tendon graft.] *Unfallheilkunde* 87: 45–51.
- Chhabra A, Starman JS, Ferretti M, Vidal AF, Zantop T, Fu FH (2006). Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles. *J Bone Joint Surg Am* 88 Suppl 4: 2–10.
- Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Macolm L (1985). Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med* 13: 401–407.
- Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Raschke MJ, Petersen W, Zantop T (2009). Rotational instability of the knee: internal tibial rotation under a simulated pivot shift test. *Arch Orthop Trauma Surg* 29(3): 353–358.
- Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE (2004). Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res* 22: 85–89.
- Hamada M, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Miyama T, Shiozaki T (2001). Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endobutton femoral fixation: A prospective study. *Arthroscopy* 17: 801–807.
- Harner CD, Poehling GG (2004). Double bundle or double trouble? *Arthroscopy* 20(10): 1013–1014.
- Howell SM (1998). Principles for placing the tibial tunnel and avoiding roof impingement during reconstruction of a torn anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol. Arthrosc* 6: S49–S55.
- Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T (2008). Prospective clinical comparisons of anatomic double bundle versus single bundle ACL reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports med* 36: 1675–1687.
- Järvelä T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 May; 15(5): 500–507.
- Järvelä T, Molsala AS, Paakkala T, Paakkala A (2008). Tunnel enlargement after double bundle ACL reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Arthroscopy* 24: 1349–1357.
- Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T (2008). Prospective Clinical comparisons of Anatomic Double-Bundle Versus Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Procedures in 328 Consecutive Patients. *Am J Sports Med Epub* May 19, 2008.
- Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM (1995). Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 11: 275–288.
- Mott HW (1983). Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop* 75: 90–92.
- Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bun-

- dle techniques. *Arthroscopy*. 2007 Jun; 23(6): 618–628.
- Musahl V, Plakseychuk A, VanScyoc A, Sasaki T, Debski RE, McMahon PJ, Fu FH (2005). Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee. *Am J Sports Med* 33(5): 712–718.
- Petersen W, Tillmann B. Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol (Berl)*. 1999; 200: 325–334.
- Petersen W, Tretow H, Weimann A, Herbort M, Fu FH, Raschke MJ, Zantop T (2007). Biomechanical Evaluation of Two Techniques for Double Bundle ACL Reconstruction using a Robotic/UFS Testing System. *Am J Sports Med* 35: 228–234.
- Petersen W, Zantop T (2007). Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament with Regard to Its Two Bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454: 35–47.
- Petersen W, Zantop T (2007). Technik der Doppelbündelrekonstruktion. *Arthroskopie* 2: 132–138.
- Siebold R (2007). Observations on bone tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 23(3): 291–298.
- Siebold R, Dehler C, Ellert T (2008). Prospective randomized comparison of double bundle versus single bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 24: 137–145.
- Weiler A, Schmeling A, Stöhr I, Kääh M, Wagner M (2007). Primary versus single stage revision ACL reconstruction using autologous hamstring grafts. A prospective matched-group analysis. *Am J Sports Med* E-pub June 15, 2007.
- Woo SL, Kanamori A, Zeminski J, Yagi M, Papatgeorgiou C, Fu FH (2002). The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am* 84: 907–914.
- Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo SL (2002). Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 30: 660–666.
- Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y (2004). Tohyama H, Minami A. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 20: 1015–1025.
- Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H (2006). Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 22: 240–251.
- Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W (2007). 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): 223–227.
- Zantop T, Petersen W (2007). Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 2: 94–104.
- Zantop T, Petersen W (2007). Double bundle Revision of a malplaced single bundle vertical ACL reconstruction: ACL revision surgery using a two femoral tunnel technique. *Arch Orthop Trauma Surg* Nov 13.
- Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH (2006). Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14: 982–992.
- Zantop T, Schumacher T, Diermann N, Schanz S, Raschke MJ, Petersen W (2006). Anterolateral rotational knee instability: role of posterolateral structures. *Arch Orthop Trauma Surg*. Oct 28.
- Zantop T, Wellmann M, Fu FH, Petersen W (2007). Tunnel positioning of AM and PL bundle in anatomical ACL reconstructions: Anatomic and radiographic findings. *Am J Sports Med* in press.
- Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W (2007). Anatomic and non-anatomic double-bundle ACL reconstruction: Importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med* in press.

VORDERES KREUZBAND

RUPTUREN DES VORDEREN KREUZBANDES BEIM KIND

Romain Seil, Jürgen Freiwald, Thomas Jöllenbeck, Gerhard Bauer, Holger Schmitt, Alli Gokeler, Martin Engelhardt, Klaus Dann, Karl-Peter Benedetto

Bei vorderen Kreuzbandläsionen im Kindes – und Jugendalter unterscheidet man zwischen knöchernen Ausrissen und reinen Bandläsionen. Erstere werden eher bei präpubertären Kindern beschrieben (Vaquero 2005), während ligamentäre Läsionen häufiger bei pubertären Jugendlichen auftreten (Williams 1996). Letztere betreffen etwa 3–4% aller Rupturen des VKB und ihre jährliche Inzidenz wird auf etwa 1/100.000 Einwohner geschätzt (Janarv 2000). Sie treten selten vor dem 9. Lebensjahr auf und in etwa 3 von 4 Fällen liegt der Verletzung ein Sportunfall zugrunde (Bonnard 2007). Aufgrund der verbesserten klinischen und apparativen diagnostischen Maßnahmen, bei gleichzeitiger Zunahme von Risikosportarten im Kindesalter, werden sie zunehmend diagnostiziert (Aichroth 2002; Mohtadi 2006; Seil 2000).

Anteriore Eminentiafrakturen

Knöcherne VKB-Ausrisse werden normalerweise an der Tibia beobachtet und treten auch bei Erwachsenen auf. Femoral sind sie eine Seltenheit. Bei Kindern unter 12 Jahren treten sie häufiger auf als Bandläsionen (Kellenberger 1990). Entsprechend dem Dislokationsgrad und der Fragmentation der Fraktur werden sie nach Meyers und MacKeever in 4 Gruppen unterteilt (Meyers 1970) (siehe Kapitel Diagnostik). Nicht oder kaum dislozierte Grad-1- und -2-Läsionen können konservativ über eine 4-wöchige Ruhigstellung in Extension behandelt werden. Grad-2-Läsionen mit Weichteileinklemmung [fand sich bei 26% der Fälle, (Kocher 2003)] oder die dislozierten Grad-3- und -4-Läsionen stellen eine Indikation zur arthroskopischen Reposition und Osteosynthese dar. Hierbei muss

die häufige Interposition des Ligamentum transversum genus systematisch ausgeschlossen werden, da sie ein Repositionshindernis darstellt [in 26% der Grad-2- und 65% der Grad-3-Läsionen: (Kocher 2003), (Senekovic 2003)]. Es wurden verschiedene Arten der Fragmentrefixation beschrieben: Schrauben- und Drahtrepositionen sowie Repositionen mit transossären Nähten (z. B. PDS, Vicryl, Ethibond). Fugenüberbrückende Schraubenfixationen sollten vermieden oder nur temporär belassen werden. Nahtrepositionen haben den Vorteil, dass sie insbesondere bei Fragmentation der Eminentia eine gute Reposition der häufig intakten tibialen ligamentären Insertionsfläche erlauben. Diese Refixationen führen in der Regel zu guten Ergebnissen. Dennoch sind sekundäre Instabilitäten auch bei durchgeführter Reposition und Osteo-

synthese möglich, da mit der Fraktur oft eine starke Dehnung und plastische Deformierung des Ligamentes assoziiert sind. In solchen Fällen ist es möglich, das elongierte Band durch ein Ausfräsen der ligamentären Bruchstelle etwas tiefer im Knochen zu verankern. Verbleibt postoperativ oder nach der konservativen Behandlung ein Streckdefizit muss eine inkomplette Reposition ausgeschlossen und im Falle einer Bestätigung (re)arthroskopiert werden. Vor Narkosemobilisationen bei solchen Arthrofibrosen muss gewarnt werden, da sie zu gravierenden Frakturen führen können (Vander Have 2009).

Bandläsionen

Bis vor wenigen Jahren wurden Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bis zum Wachstumsabschluss überwiegend konservativ behandelt. In Folge der resultierenden pathologischen Laxität und Instabilität des Kniegelenks wurden bei diesen Kindern und Jugendlichen häufig frühzeitige sekundäre Meniskusläsionen und bereits Arthrosezeichen beobachtet. In einer frühen Studie zum Thema berichtete Aichroth (Aichroth 2002) über eine schlechte Kniefunktion und eine schwere Instabilität bei 23 Kindern und Jugendlichen mit konservativer Behandlung nach VKB-Ruptur. Bei 15 Patienten wurde eine sekundäre Meniskusläsion, bei 3 eine osteochondrale Fraktur und bei 10 eine beginnende Arthrose festgestellt. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Streich u. Mitarb., die bei 58% ihrer initial konservativ behandelten Patienten eine sekundäre VKB-Plastik durchführen mussten. In einer frühen Literaturanalyse (Seil 2000) fassten wir die Ergebnisse aus 17 Arbeiten mit konservativ behandelten Patienten bzw. Bandnähten und extraartikulären Bandplastiken

zusammen und konnten feststellen, dass es mit diesen Therapiemaßnahmen in 91% bzw. 73% und 64% der zum damaligen Zeitpunkt in der Literatur beschriebenen Fälle zu einer Kniegelenksinstabilität kam. Intraartikuläre Bandplastiken hingegen führten in 86% der Fälle zu stabilen Kniegelenken.

Problematisch wurde bislang die Tatsache angesehen, dass man die körperliche Aktivität der Kinder nach überwandener akuter Verletzungsphase nur begrenzt einschränken kann. Deswegen erscheint auch die Verwendung von Orthesen bei Kindern häufig problematisch, zumal derzeit noch kaum Stabilisierungsorthesen für dieses Patientenkollektiv auf dem Markt angeboten werden.

Konservative Therapie, Sekundärschäden und Funktionstests

Auch wenn der natürliche Verlauf von VKB-Rupturen bei Kindern noch nicht vollständig geklärt werden konnte, gibt es zahlreiche Hinweise dafür, dass die hieraus resultierende pathologische Laxität eine präarthrotische Bedingung darstellt (Aichroth 2002; Bracq 1996; Engebretsen 1988; Kannus 1988; Mizuta 1995). Der degenerative Prozess beginnt häufig mit sekundären Meniskusläsionen. Initiale Meniskusverletzungen wurden bei 36–100% der intraligamentären VKB-Rupturen bei Kindern beschrieben (Andrews 1994; Bracq 1996; Lipscomb 1986), sekundäre Meniskusverletzungen fanden sich in 75% der Fälle innerhalb des 1. Jahres nach VKB-Ruptur (Bracq 1996). Hierbei ist es vor allem der mediale Meniskus, der bei chronischer vorderer Instabilität Sekundärschäden erleidet (Henry 2009; Millett 2002). Neueste Daten von Lawrence et al. (Lawrence 2009) erga-

ben, dass eine konservative Therapie von mehr als 12 Wochen das Risiko eines irreparablen medialen Meniskus Schadens vervierfachte, während die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens eines Knorpelschadens im lateralen Kompartiment um 11-mal und die eines patellotrochlearen Knorpelschadens um 3-mal höher im Vergleich zu einem frühzeitig operierten Patientenkollektiv lag. Nach stattgefundener „giving-way“-Episode stieg das Risiko eines irreparablen medialen Meniskus Schadens sogar auf das 11fache an. Diese Angaben bestätigen den Trend früherer Arbeiten, in denen die Entwicklung einer Früharthrose bei diesem jungen Patientenkollektiv beschrieben wurde (Aichroth 2002; Kannus 1988; Mizuta 1995). Sie stehen allerdings im Gegensatz zu den Beobachtungen von Woods u. O'Connor (Woods 2004), die möglicherweise als Folge eines zu kleinen Patientenkollektivs (13 Jugendliche) keine erhöhte Rate an Kniebinnenschäden bei verzögerter VKB-Plastik fanden. Es gab aber dennoch einen Trend zu einer höheren Zahl an Innenmeniskusläsionen im Falle einer chronischen VKB-Insuffizienz von mehr als 6 Monaten (Woods 2004).

Weiter oben zitierten wir die Arbeit von Streich und Mitarb., die ergab, dass 58% der initial konservativ behandelten Patienten sekundär stabilisiert werden mussten. Dies bedeutet aber auch gleichzeitig, dass 42% der Patienten ohne Operation zu recht kamen. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch die Arbeitsgruppe um Engebretsen aus Norwegen (Moksnes 2008) mit ihren Funktionsanalysen und Sprungtests nach VKB-Ruptur bei Kindern. In Abhängigkeit der Tatsache, ob Patienten ihre VKB-Insuffizienz funktionell kompensieren konnten oder nicht, wurden sie in „copers“ (Kompensierer) oder „non-copers“ unterteilt. Vier verschiedene Einbeinsprungtests, isokinetische

Muskelkraftmessungen und 3 Funktionsscores (IKDC 2000, KOS-ADLS und Lysholm) wurden hierzu verwendet. Nachuntersucht wurden 26 Kinder (20 nichtoperierte und 6 operierte). Von den nichtoperierten Patienten kehrten 65% zum Aktivitätsniveau vor der Verletzung zurück, 50% wurden als „Kompensierer“ eingestuft; bei 9,5% traten sekundäre Meniskusläsionen auf. In der Gruppe der operierten Patienten wurden 67% als „copers“ eingestuft (Moksnes 2008). Auch wenn diese funktionellen Untersuchungen ein erhebliches Potenzial haben, welches sowohl bei der Operationsindikation als auch in der Nachbehandlung bei der Frage der Wiederaufnahme des Sports nützlich sein könnte, so erscheint es derzeit noch nicht möglich, prospektiv die Patienten mit einer funktionellen Instabilität von sogenannten Kompensierern zu unterscheiden.

Noch nicht abschließend geklärt sind Verlauf und Vorgehensweise bei VKB Partialrupturen. Kocher und Mitarb. untersuchten 45 Patienten mit offenen Wachstumsfugen und arthroskopisch gesicherten Partialrupturen bei denen initial kein VKB-Ersatz durchgeführt wurde. In einem Zeitraum von 2 Jahren nach der Diagnose musste bei 31% eine VKB-Plastik durchgeführt werden. Dies insbesondere dann, wenn eine Ruptur von mehr als 50% des VKB-Durchmessers oder eine Läsion des posterolateralen Bündels vorlag. Die Empfehlung der Autoren war bei Kindern und Jugendlichen unter 14 Jahren mit VKB-Partialrupturen zunächst eine konservative Behandlung einzuleiten.

Die therapeutische Herausforderung besteht demnach darin, die Balance zwischen operativer Behandlung, mit dem Risiko von Wachstumsdeformitäten bei Epiphysenfugenverletzung, und konservativer Therapie, mit der Möglichkeit von sekundären

Meniskusläsionen und folglich der Entwicklung einer Früharthrose, zu finden.

Differentialdiagnose, Wachstum und kapsuloligamentäre Reifung des Kniegelenks

Es erscheint uns wichtig darauf hinzuweisen, dass die Diagnose der Kreuzbandläsion bei Kindern trotz des heutigen Kenntnisstandes leider noch allzu häufig mit Verspätung gestellt wird [durchschnittlich 1 Jahr

nach dem Erstunfall (Chotel 2007)]. Dies ist dadurch bedingt, dass die Diagnosestellung schwieriger als beim erwachsenen Patienten ist. Im Akutstadium tritt häufig ein Hämarthros ein, der jeweils zu etwa einem Drittel durch die Kreuzbandläsion, eine Patellaluxation oder eine Meniskusläsion bedingt sein kann (Luhmann 2003). Liegt eine Kniegelenksblockade vor, so ist sie meist durch eine osteochondrale Läsion oder einen eingeschlagenen Meniskuslappen oder Korbhenkel bedingt (Abb. 1). Wegen der vermehr-

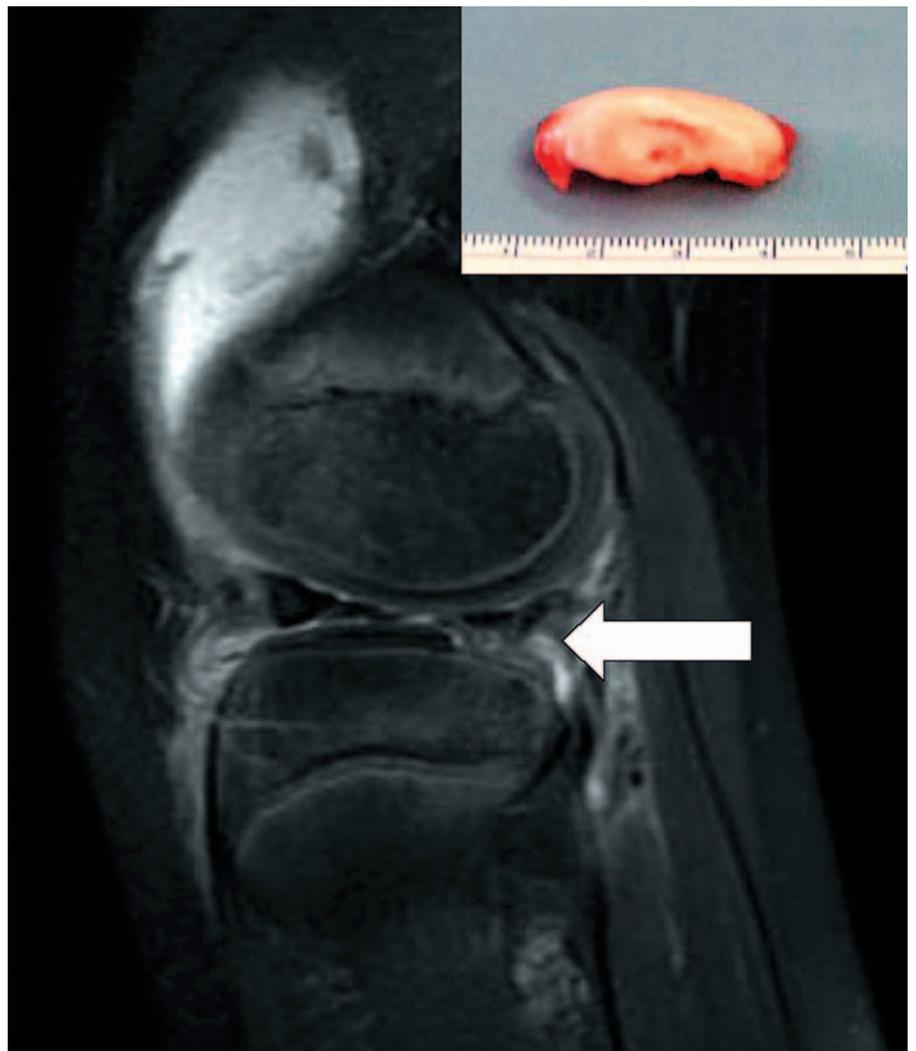


Abbildung 1

MRT eines 12-jährigen Jungen mit VKB-Läsion, Läsion des Außenmeniskushinterhornes und chondrale Absprengung der posterolateralen Tibiakante (Pfeil); oben rechts: das nicht mehr zu refixierende Knorpelfragment.

ten Laxität ist die Diagnosestellung bei Kindern schwieriger als bei Erwachsenen. Deswegen sollte die klinische Untersuchung immer im Seitenvergleich erfolgen.

Das kindliche Kniegelenk hat eine größere physiologische Laxität als das Kniegelenk des Erwachsenen. Bei 10-Jährigen ist eine anteriore Laxität von 4 mm normal (Baxter 1988). Hierdurch ist auch der Pivot-Shift-Test trotz intaktem VKB häufig abnormal. Moksnes et al. (Moksnes 2008) beschrieben einen pathologischen Pivot-Shift-Test Grad C und D bei 85% der von ihnen untersuchten unverletzten Kinderkniegelenke. Mit zunehmender Reifung nimmt diese Laxität etwa ab dem 12. (Mädchen) bzw. 13. Lebensjahr (Jungen) ab. Dies verläuft parallel zur Ausreifung der Wachstumsfugen.

Das Wachstum am Kniegelenk wird von 3 Wachstumsfugen bestimmt: die Fuge am distalen Femur, die Fuge der proximalen Tibia und ihre ventrale Ausschwingung nach distal, die Apophyse der Tuberositas tibiae. Sie haben das höchste Wachstumspotenzial im menschlichen Körper und machen 2/3 des Längenwachstums der unteren Extremität aus (im Schnitt 34 cm bei Frauen und 38 cm bei Männern). 60% des Wachstums der unteren Extremität kommen aus der femoralen, 40% aus der tibialen Fuge. Das Wachstumspotenzial des Kniegelenks beträgt zwischen dem 10. und dem 16. Lebensjahr 7,3 cm bei Mädchen und 12,3 cm bei Jungen. Der Fugenverschluss ist bei Mädchen bei einem Skeletalter von 14–15 Jahren zu erwarten. Bei Jungen kommt es etwa 2 Jahre später zum physiologischen Fugenverschluss (Seil 2004) (Abb. 2). Von Bedeutung bei dieser Jahresangabe ist, dass es sich hierbei nicht um das chronologische, sondern um das interindividuell vergleichbarere Skeletalter handelt. Im Hinblick auf die operative Versorgung sind folgende Faktoren von Be-

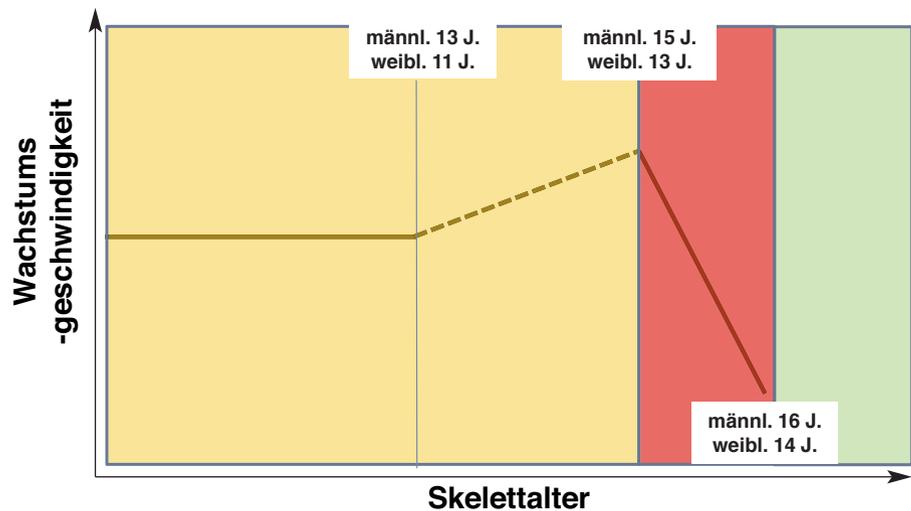


Abbildung 2 Wachstums-geschwindigkeit der kniegelenknahen Fugen in Abhängigkeit vom Skeletalter. In Phase 1 (orange) wachsen die Fugen ca. 2 cm/Jahr. In der ersten Phase steigt zum Zeitpunkt des Wachstumsschubes die Geschwindigkeit an. In der Phase 2 (rot) kommt es zu einer Abnahme der Wachstums-geschwindigkeit (Jungen ca. 15 Jahre, Mädchen ca. 13 Jahre). Hier ist das Risiko eines vorzeitigen Fugenschlusses höher. Ggf. sollte hier eine abwartende Strategie verfolgt werden und die Rekonstruktion nach Abschluss des Wachstums erfolgen (Phase 3, grün) (modifiziert nach Gicquel et al. 2007).

deutung: Vor der Pubertät beträgt die Wachstums-geschwindigkeit der kniegelenknahen Fugen ca. 2 cm/Jahr. Der pubertäre Wachstumsschub ist an der unteren Extremität geringer ausgeprägt als am Rumpf. Es kommt zu einem leichten Anstieg der Wachstums-geschwindigkeit bei einem Skeletalter von 11 Jahren bei Mädchen und 13 Jahren bei Jungen. Ab dem 13. Jahr bei Mädchen und dem 15. Jahr bei Jungen nimmt sie rapide ab, um ein Jahr später zum Stillstand zu kommen [Abb. 2; (Gicquel 2007)]. Es ist nahe liegend, dass während dieser langsameren Wachstumsphase die Gefahr eines frühzeitigen iatrogenen Fugenverschlusses am höchsten ist, da die Wachstumsfuge nur noch eine ungenügende Distraktionskraft aufbringen kann, um eine permanente Knochenbrückenbildung zu verhindern (Chotel 2010; Wilmes 2009). Der Verschluss der Fugen beginnt zentral und verläuft zentrifugal. Bei transphysisären Bohrkanälen ist dies v. a. für den femoralen Tun-

nel von Bedeutung, da er exzentrisch im posterolateralen Fugenbereich liegt. Demnach ist die Fuge hier noch länger offen als im zentraler gelegenen Bereich des tibialen Bohrkanals. Die Apophyse der Tuberositas tibiae schließt sich erst zwischen dem 16. und 18. Lebensjahr (Sasaki 2002). Auch diese sollte bei der Präparation des tibialen Bohrkanaleingangs oder der Entnahme der Pes anserinus-Sehnen geschützt werden.

Präoperative Diagnostik und Operationsplanung

Zur standardmäßigen Röntgendiagnostik empfehlen wir eine a.p.-, seitliche und patellofemorale Aufnahmen sowie eine a.p.-Aufnahme in 45° Beugstellung zum Ausschluss der sehr seltenen knöchernen Ausrisse der femoralen Bandinsertion. Die MRT-Diagnostik gehört ebenfalls zu den Standarduntersuchungen bei VKB-Läsionen im Kindes- und Ju-

gentalter, zum einen zur Beurteilung des VKB selbst, zum anderen zur Abklärung von Begleitverletzungen am Knorpel und Meniskus. Hierzu bedarf es eines Kernspintomogramms von guter Qualität, da die Beurteilung der Kreuzbandläsion bei Kindern schwieriger ist als bei Erwachsenen. Insbesondere in der Altersgruppe unter 12 Jahren konnte gezeigt werden, dass die Sensitivität der MRT zur Diagnostik von Kniebinnenschäden lediglich 62% bei einer Spezifität von 90%, betrug. In der Alterskategorie von 12–16 Jahren verbesserten sich Sensitivität und Spezifität auf 78 bzw. 96% (Kocher 2001).

Bei gesicherter VKB-Ruptur bei offenen Wachstumsfugen sollten eine Bestimmung des Skeletalters und eine Wachstumsprognose anhand einer Röntgenaufnahme der linken Hand und z. B. der Tabellen von Greulich und Pyle durchgeführt werden. Diese Bestimmung ist präziser als die physiologische Reifebestimmung mit Hilfe der Tanner Stadien. Zur Objektivierung des Restwachstums im Knie können die Patienten dann in eine der 3 „Wachstums-kategorien“ des Kniegelenks unterteilt werden (Abb. 2). Diese Vorgehensweise hat sich bei Kindern vor oder während der Pubertät im klinischen Alltag bestätigt (Wilmes 2009). Eine präoperative Ganzbeinaufnahme dient zur Objektivierung der Achsverhältnisse und bereits bestehender Beinlängendifferenzen.

Indikationsstellung

Die Indikation zur operativen Therapie bei Kindern und Jugendlichen wird zunehmend großzügiger gestellt (Beynon 2005).

Auf eine Kreuzbandrekonstruktion im Akutstadium sollte dennoch, wenn möglich, verzichtet werden. Kam es bei der Kniedistorsion zu einer osteo-

chondralen Absprengung oder einem eingeschlagenen Korbhenkelriss bzw. einer durch die Meniskusläsion hervorgerufene Blockade, wird deren arthroskopische Versorgung im Frühstadium empfohlen. Beim derzeitigen Stand der Meniskusreparationen müssen Korbhenkelresektionen bei Kindern und Jugendlichen der Vergangenheit angehören. Beherrscht man die Technik der Meniskusreparation nicht, sollte das eingeschlagene Gewebe reponiert, das Kniegelenk ruhig gestellt und der junge Patient in ein ausgewiesenes Zentrum zur Sekundärversorgung überwiesen werden. Wird der Meniskus repariert, sollte die VKB-Plastik nur dann gleichzeitig erfolgen, wenn der Operateur Erfahrung mit diesen Eingriffen bei Kindern besitzt und wenn die Eltern im Vorfeld eingehend auf die spezifischen Komplikationsmöglichkeiten des Eingriffs hingewiesen wurden. Das Risiko der Arthrofibrose nach Kniegelenkseingriffen im Akutstadium ist nach unserer Erfahrung bei Kindern geringer ausgeprägt als beim Erwachsenen. Meniskusrekonstruktionen ohne gleichzeitigen bzw. sekundären Bandersatz sollten aufgrund der sehr hohen Rerupturrate der Menisken vermieden werden. Wie bereits erwähnt, sollte im Akutstadium differentialdiagnostisch die Möglichkeit der Patellaluxation nicht außer Acht gelassen werden, da sie für etwa ein Drittel der Fälle eines im Rahmen einer Kniedistorsionen auftretenden Hämarthros verantwortlich ist (Luhmann 2003). Liegt keine Meniskus- oder Knorpelläsion vor, die einer akuten Versorgung bedarf, empfehlen wir in den ersten Wochen nach der Kniegelenkdistorsion eine konservative Behandlung einzuleiten. Anschließend schlagen wir ein strukturiertes Rehabilitationsprogramm über einen Zeitraum von 3–6 Monaten vor, mit engmaschigen klinischen Kontrollen. Eine normale physische Aktivität sollte erlaubt

werden mit der Einschränkung, dass die Teilnahme an so genannten „Pivoting“-Sportarten wenn möglich nur mit einer stabilisierenden Orthese erlaubt werden sollte – auch wenn diese häufig nur ungenutzten getragen werden. Diese Zeit sollte ebenfalls genutzt werden, um die jungen Patienten und ihre Eltern auf die bei Kindern schwierigere Problematik als bei Erwachsenen zu sensibilisieren.

Im chronischen Stadium bzw. bei verspäteter Diagnosestellung hängt die Indikation zum VKB-Ersatz von den funktionellen Symptomen und den Begleitläsionen ab. Der Eingriff ist dann absolut indiziert, wenn es bereits zu instabilitätsbedingten Meniskusläsionen gekommen ist. Ziel ist in solchen Fällen die Prävention der Früharthrose. Aufgrund der häufig beobachteten sekundären Meniskusläsionen nach konservativ versorgter kindlicher VKB-Ruptur (75% innerhalb des 1. Jahres (Bracq 1996) erscheint besonders bei sehr jungen Kindern ein frühzeitiger Bandersatz gerechtfertigt. Dieser soll den Kindern ein normales Leben ohne Einschränkung ihrer körperlichen Alltagsaktivitäten ermöglichen. Die bei Erwachsenen sehr leicht zu erfragenden subjektiven Instabilitätszeichen (sog. „Giving-way“-Phänomene) können bei Kindern häufig nur nach längerem, präzisen Nachfragen in Erfahrung gebracht werden.

Seit wenigen Jahren stehen mit der Hilfe von Funktionstests und besseren Kenntnissen des kniegelenknahen Wachstums neue Instrumente zur Verfügung, die bei der Indikationsstellung und Operationsplanung behilflich sein können. Ihre Auswertung ist wissenschaftlich noch nicht abgeschlossen, sie verfügen aber über ein großes Potential zur objektiven Klärung der Notwendigkeit der Operationsindikation. Funktionstests können außerhalb

des Akutstadiums über die subjektive Instabilität Auskunft geben (Moksnes 2008). Es ist bekannt, dass Kinder bei der Rezeption eines Sprunges ein valgisches Landungsmuster aufweisen, ähnlich dem das man bei Frauen beobachten kann. Dieses ist mit einem erhöhten Risiko von Kreuzbandverletzungen vergesellschaftet. Mit zunehmendem Reifeprozess nehmen die Jungen dann ein eher varisches Landungsmuster ein (Hewett 2006). Solche Sprungtests lassen sich unkompliziert in den Behandlungsprozess einbauen und stellen eine einfache Orientierungshilfe bei der späteren Entscheidungsfindung dar (Moksnes 2008). Hinweise auf das verbleibende Wachstumspotential des Kniegelenks liefert die Skeletalterbestimmung in Kombination mit Abb. 2. Diese Methode verdeutlicht auf eine sehr einfache Art und Weise die verbleibende Zeit bis zum Fugenverschluss und ist insbesondere dann hilfreich, wenn Skeletalter und biologisches Alter nicht übereinstimmen.

Die Autoren schlagen demnach folgenden Behandlungsalgorithmus vor: bei einer isolierten VKB-Ruptur sollte zugunsten einer konservativen Behandlung mit sehr engmaschiger Betreuung zunächst auf eine frühzeitige Rekonstruktion verzichtet werden. Eine Operationsindikation liegt bei sekundären Meniskusläsionen und einem oder mehreren „Giving-way“-Phänomenen vor (Moksnes 2008). Nach Abschluss des Längenwachstums kann wie bei Erwachsenen vorgegangen werden.

Operative Technik

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Techniken zur VKB-Plastik bei Kindern. Sie unterscheiden sich in Bezug auf Art, Verlauf und Fixation des Sehnentransplantats. Es wird unterschieden zwischen Verfah-

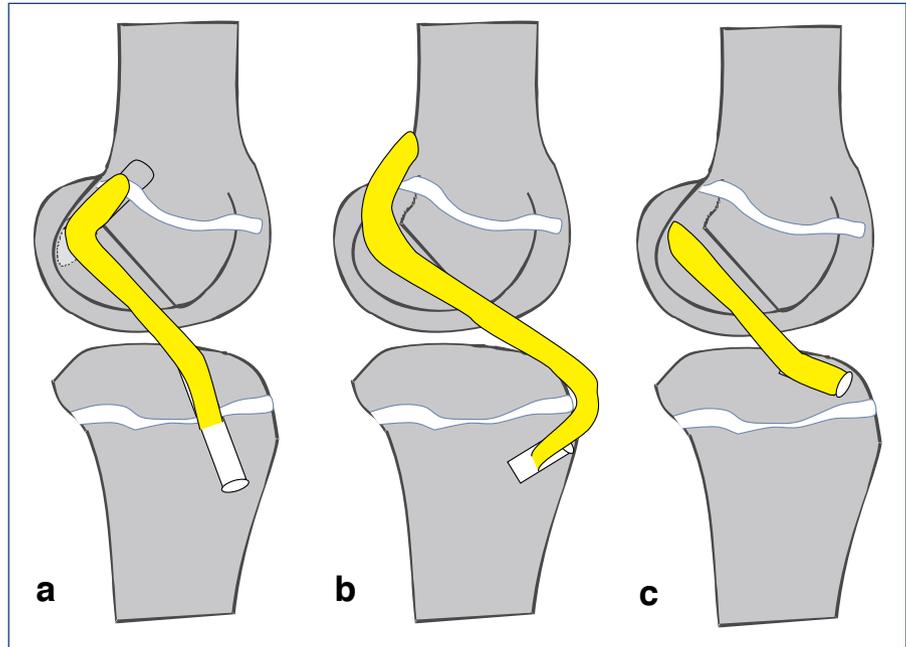


Abbildung 3

Zusammenfassung der verschiedenen Operationstechniken zum VKB-Ersatz bei offenen Wachstumsfugen. Man unterscheidet zwischen transepiphysären (bei denen die Bohrkanäle die femorale und die tibiale Wachstumsfuge kreuzen, a), extraepiphysären (bei denen das Transplantat um die Wachstumsfuge herumgeleitet wird, b) und epiphysären Techniken (bei denen die Bohrkanäle ausschließlich durch die Epiphyse führen, c). Darüber hinaus gibt es noch Mischformen bei denen an Tibia und Femur mit unterschiedlicher Technik operiert wurde.

ren, bei denen die Bohrkanäle die femorale und die tibiale Wachstumsfuge kreuzen (transepiphysäre Techniken), und solchen, bei denen weder die tibiale noch die femorale Fuge verletzt wird (Abb. 3). Bei letzteren differenziert man Eingriffe, bei denen das Transplantat um die Wachstumsfuge herumgeleitet werden kann (extraepiphysäre Techniken), von solchen, bei denen die Bohrkanäle ausschließlich durch die Epiphyse führen (epiphysäre Techniken). Beide sind technisch anspruchsvoller als die transepiphysäre Technik. Während die extraepiphysäre VKB-Plastik keinen anatomischen VKB-Ersatz ermöglicht, bergen epiphysäre VKB-Plastiken ein größeres Verletzungsrisiko für die Wachstumsfugen.

Die früher bei Kindern häufig verwendeten extraartikulären Bandplas-

tiken werden heute nur noch vereinzelt durchgeführt (Gebhard 2006). Wie bei Erwachsenen werden auch bei Kindern heute überwiegend intraartikuläre Bandplastiken empfohlen. Im deutschen Sprachraum scheint die arthroskopische transepiphysäre Einkanalrekonstruktion die am weitesten verbreitete Technik zu sein (Abb. 4). Sie wird mit einem 3- oder 4-bündeligen Semitendinosussehnentransplantat durchgeführt. Die Transplantatfixation erfolgt gelenkfern und extrakortikal (femoraler Kippknopf, z. B. Endobutton, Smith & Nephew oder Retrobutton, Arthrex; tibialer Nahtknopf, z. B. Suture Disc, Aesculap bzw. über eine Pollerschraube). Eine direkte Sehnenfixation mit einer biodegradierbaren tibialen Interferenzschraube wurde von Jäger und Mitarb. (Ulmer 2008) beschrieben wenn die Distanz zwi-



Abbildung 4

A.p.- und Seitenaufnahme eines Jungen, der im Alter von 11 Jahren mit einer transepiphysären 4-fach-Semitendinosus-Grazilisplastik und gelenkferner, extrakortikaler Fixation versorgt wurde (links). Fünf Jahre später, bei fast abgeschlossenem Längenwachstum (20 cm seit der Operation) (rechts), fanden sich weder Beinlängendifferenz noch Achsabweichung. Der femorale Fixationsknopf hat sich durch das Wachstum nach proximal verschoben. Bei der letzten klinischen Untersuchung fanden sich ein negatives Lachman-Zeichen sowie ein negativer Pivot-shift-Test.

schen tibialen Tunneleingang und tibialer Wachstumsfuge groß genug war um die Schraube zu verankern. Mit Ausnahme der spezifischen Berücksichtigung der Anatomie des kindlichen Kniegelenks unterscheidet das Verfahren sich nur unwesentlich von der gleichen Technik beim Erwachsenen. Der Durchmesser des Transplantats beträgt in der Regel 6–7 mm (maximal 8 mm). Obwohl die Sehnen gewöhnlich dünner als beim Erwachsenen sind, gelingt es meistens dennoch, den gewünschten Transplantatdurchmesser zu erhalten. Sollte dies nicht der Fall sein, oder im Falle einer inkompletten Sehnenstrangentnahme, kann alternativ oder zusätzlich auf einen Sehnenstreifen ohne Knochenblöckchen aus der Patellar- oder Quadrizepssehne zurückgegriffen werden. Zur Vermeidung einer möglichen Kno-

chenbrückenbildung wird empfohlen, das Transplantat dem Kanaldurchmesser anzupassen („press-fit“). Um die tibiale Fugenverletzung zu minimieren, wird der tibiale Bohrkana (Abb. 5) etwas vertikaler positioniert als beim Erwachsenen und der Tunneleingang etwas weiter medial, um die Apophyse der Tuberositas tibiae nicht zu verletzen. Zur Minimierung des Risikos einer sekundären Wachstumsstimulierung sollte versucht werden, möglichst weichteilschonend zu operieren. So sollte beispielsweise auf eine aggressive Deperiostierung des tibialen Tunneleingangs verzichtet werden (Chotel 2010).

Femoral sollte das VKB möglichst anatomisch positioniert werden. Sogenannte „over-the-top“-Techniken wurden weitgehend verlassen. Zur Vermeidung einer Verletzung der pe-

richondralen Strukturen oder eines Ausbrechens der dorsalen Femurkortikalis wurde empfohlen, auch bei Kindern ein femorales Zielgerät mit einer 5-mm-Stufe („offset“) zu benutzen (Seil 2008). Bohrt man den femoralen Tunnel transtibial, kommt es in der Regel zu einer vertikaleren Positionierung des Transplantats, welches eine geringere Kontrolle der femorotibialen Rotationsstabilität zur Folge haben kann (siehe Kapitel Tunnelposition). Wird der femorale Kanal durch das anteromediale Portal angebracht, kommt es zwar zu einer horizontaleren und anatomischeren Positionierung des Transplantats und somit möglicherweise zu einer Verbesserung der Rotationsstabilität, allerdings wird hierbei die femorale Wachstumsfuge in einem schrägeren Winkel angebohrt. Hierdurch entsteht eine um ein Viel-

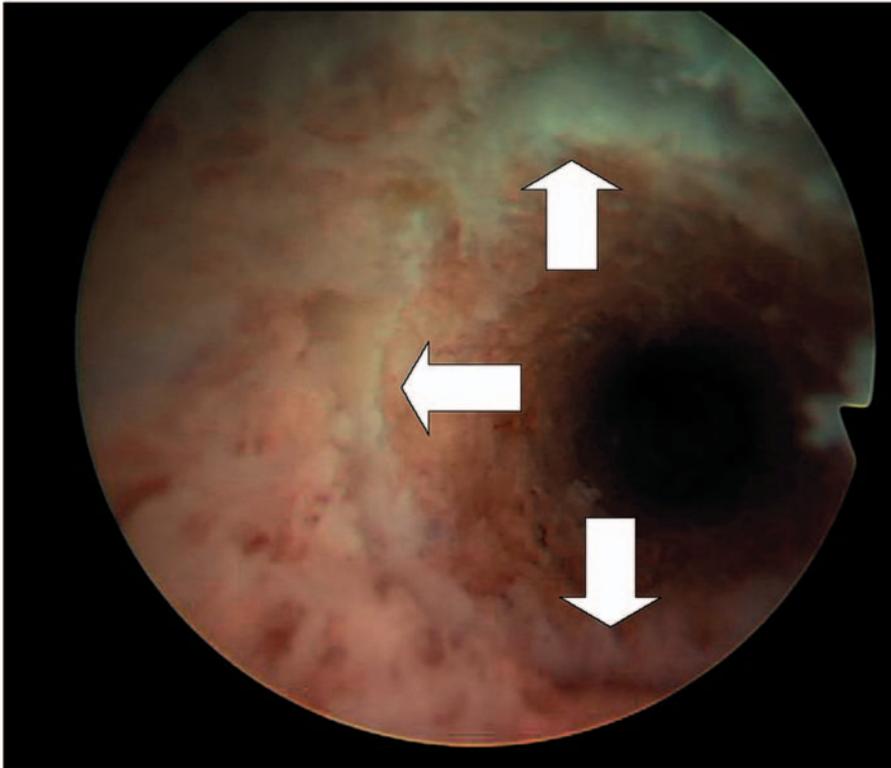


Abbildung 5
Sicht in einen tibialen Bohrkanal bei einem 12-jährigen Jungen. Die Wachstumsfuge ist gut erkennbar (Pfeile).

faches größere Fugenläsion als bei der transtibialen Tunnelanlage. Inwiefern dies zum vermehrten Auftreten von Wachstumsschäden führen kann, wurde noch nicht abschließend geklärt. Ein Mittelweg besteht darin über den Tibiakanal von parasagittal medial unter maximaler Angulation des Zielhakens im Tibiakanal und Flexion des Kniegelenks von 90–100° femoral das Sackloch zu präparieren. Alternativ kann eine rein epiphysäre Technik gewählt werden, bei der der femorale Kanal von aussen nach innen bzw. von intraartikulär nach extraartikulär mit Hilfe von neu entwickelten speziellen Bohrtechniken (z. B. Retrodrill oder Flippcutter, Arthrex) gebohrt wird. Der Bohrer muss kaudal und parallel zur Epiphysenfuge liegen. Wird letztere tangiert entsteht ein sehr grosser Fugenschaden mit hohem

Risiko einer Wachstumsstörung. Deswegen sollte bei dieser Technik die systematische intraoperative Zuhilfenahme eines Bildwandlers gefordert werden. Diese verschiedenen technischen Variationen im Zusammenhang mit dem femoralen Bohrkanal zeigen, dass diesbezüglich noch kein Konsens gefunden werden konnte und für den Operateur weiterhin Spielraum für eine individuelle Betreuung dieses sehr spezifischen Problems besteht. Die in >50% der Fälle assoziierten Meniskusläsionen (Bracq 1996; Moksnes 2008; Wilmes 2009) sollten wenn immer möglich repariert werden. Resektionen von Korbhakenläsionen sind nur noch in Ausnahmefällen zu empfehlen (lange Luxationszeit des Korbhakens mit sekundärer plastischer Deformierung des Meniskusgewebes, spontane Reluxation nach

Reposition bei 90° gebeugtem Kniegelenk) und sollten wenn möglich systematisch repariert werden.

Fugenverletzung bei arthroskopischer VKB-Plastik

Verletzungen der kniegelenknahen Wachstumsfugen können zu Epiphysiodesen und sekundären Beinverkürzungen oder Achsabweichungen führen. Die Wachstumsfugen tolerieren aber ein gewisses Grad an Traumatisierung, ohne dass es zu diesen unerwünschten Ereignissen kommt. Wird die Fuge durchbohrt, regeneriert sich der Fugenknorpel nicht und der Bohrkanal füllt sich mit Knochen. Durch das weitere Wachstum erzeugt die verbleibende Fuge eine Distraktionskraft, die dazu führt, dass die entstandene Knochenbrücke sich dem Wachstum anpasst und ständig umgebaut wird. Tierversuche haben ergeben, dass dieser knöcherne Remodellierungsprozess ab einer Verletzung von 7–10% der Wachstumsfugenfläche nicht mehr stattfinden kann und Wachstumsstörungen zu erwarten sind. Übertragen auf ein a.p.-Röntgenbild beim Kind entspricht dieser Grenzwert etwa 20% der Wachstumsfugenbreite. Wählt man eine VKB-Plastik, bei der es zu einer Durchbohrung der Fuge kommt, sollte der Durchmesser des Bohrkannals möglichst klein gewählt werden. Es konnte gezeigt werden, dass mit einem Bohrkanal von 6–8 mm bei einem 10-jährigen Kind weniger als 5% der tibialen Wachstumsfuge verletzt werden. Füllt man den Bohrkanal mit Weichteilgewebe, kann die Bildung einer vollständig ausgeprägten Knochenbrücke verhindert werden (Stadelmaier 1995; Wilmes 2009). Neuere Untersuchungen an knapp hundert VKB-Plastiken bei präpubertären Kindern haben gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen der Beinachse sowie der Beinlänge und

dem Bohrkandurchmesser gibt. Wurde ein Bohrkandurchmesser von 9 oder mehr mm angelegt kam es tendenziell zu einer Beinverlängerung und einer Valgisierung der Beinachse auf der operierten Seite (Chotel 2007). Wir empfehlen deshalb bei offenen Wachstumsfugen immer einen Bohrkandurchmesser von weniger als 9 mm Durchmesser zu wählen. Bei der transepiphysären VKB-Plastik, wie wir sie auch klassischerweise vom Erwachsenen kennen unterscheiden sich beide Bohrkandurchmesser durch ihre Lage erheblich voneinander. Während der tibiale Bohrkandurchmesser die Fuge in ihrem Zentrum durchquert, wird die femorale Fuge durch die posterolaterale Lage des Bohrkandurchmessers an ihrer Peripherie verletzt. Neuere Tierversuche am Schafmodell ergaben, dass das Risiko eines Fugenverschlusses mit Achsabweichung femoral höher ist als tibial (Wilmes 2009). Zentrale Läsionen der tibialen Wachstumsfuge hatten hier keine Wachstumsschäden zur Folge. Am peripheren Femur hingegen führten posterolaterale Fugenverletzungen bei leeren Bohrkandurchlässen zu Femurverkürzungen, Valgus- und Flexionsdeformitäten. Die histologischen Untersuchungen zeigten eine feste Knochenbrücke sowie eine Verletzung eigenständiger histologischer Strukturen an der Peripherie der Wachstumsfuge, dem Ranvierschen Schnürring und dem perichondralen Ring von LaCroix. Sofern man die Ergebnisse dieser Tierversuche auf das menschliche Knie übertragen kann, scheint es demnach empfehlenswert diese histologischen Strukturen zu schonen. Sie können durch ein Ausbrechen der dorsalen Femurkortikalis („posterior blow out“) oder durch eine zu starke Deperiostierung bei der früher häufig verwendeten sogenannten „over the Top Technik“ verletzt werden. Bei der Durchführung einer VKB-Plastik bei Kindern erscheint uns die

Tabelle 1
Technische Empfehlungen zur VKB-Rekonstruktion bei Kindern.

Technische Empfehlungen zur VKB-Rekonstruktion bei Kindern
■ Bestimmung der Wachstumsprognose des Kniegelenks
■ Berücksichtigung der spezifischen Anatomie des kindlichen Kniegelenks
■ Anpassung des Bohrkandurchmessers an die Größe des Kniegelenks (kleinstmöglicher Durchmesser)
■ Vermeidung einer Verletzung des Ranvierschen Schnürrings
■ Überbrückung der Wachstumsfugen in den Bohrkandurchlässen mit Sehnenmaterial
■ Vermeidung einer zu hohen Transplantatspannung
■ Vermeidung einer fugenüberbrückenden Transplantatfixation mit Fixationsmaterial oder Knochenblöckchen

exakte Kenntnis der spezifischen anatomischen Gegebenheiten und der hieraus resultierenden Operationsrisiken von großer Bedeutung. Eine Zusammenfassung der operationstechnischen Empfehlungen bei transepiphysärer VKB-Plastik ist in Tabelle 1 dargestellt.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung wird in der Regel vorsichtiger gehandhabt als beim Erwachsenen. Postoperativ ist eine Orthesenanlage notwendig, dies aus Gründen des Transplantatsschutzes, aber insbesondere auch zur Sensibilisierung des Kindes und seiner Mitschüler. Die Kinder dürfen das operierte Bein mit einer Orthese für 6 Wochen in Streckstellung belasten. Kontaktsportarten werden frühestens ab 6 Monaten freigegeben. Der Entscheid zur Freigabe obliegt dem Operateur in Zusammenarbeit mit den behandelnden Physiotherapeuten und Trainern. Sie sollte idealerweise erst nach erfolgreich bestandener Sprungtestreihe und Funk-

tionstests erfolgen (Risberg 1994, Gustavsson 2006, Neeter 2006, Moksnes 2008).

Ergebnisse

Die weiter oben bereits zitierte Multizenterstudie aus Frankreich stellt die derzeit größte publizierte Serie von Kreuzbandplastiken bei offenen Wachstumsfugen dar (Bonnard 2007). Von 119 operierten Kindern standen 102 (86%) zur Nachuntersuchung zur Verfügung. Der mittlere Zeitraum zwischen Verletzung und Operation betrug 10,4 (1–65) Monate. Zum Zeitpunkt der Operation betrug das mittlere Alter 12,3 (6,4–15,1) Jahre. In 3 von 4 Fällen wurde die Indikation aufgrund einer Instabilität, in einem von 4 Fällen wegen sekundärer Meniskusschäden gestellt; ein Patient wurde wegen seiner Aktivität als Hochleistungssportler operiert. Fünf unterschiedliche Techniken wurden angewendet: Technik nach Clocheville (63 Fälle), Technik nach Debrousse (14 Fälle), Over-the-top Technik mit Fascia lata (14 Fälle),

transphysäre Technik mit Semitendinosustransplantat (5 Fälle), femorale epiphysäre Technik (6 Fälle).

Zum Zeitpunkt der operativen Erstversorgung lagen 34 Meniskusläsionen (23 Außenmenisken, 11 Innenmenisken) vor, wovon 30 rekonstruiert werden konnten.

Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug $3,5 \pm 2,7$ (1–14) Jahre. Der mittlere Zufriedenheitskoeffizient betrug $8,5/10$ ($n = 101$), wobei 70% der Patienten zu keinem Zeitpunkt Schmerzen im Bereich des operierten Kniegelenks angaben. Der mittlere subjektive IKDC-Score lag bei 91 ± 13 (39–100). Die Wiederaufnahme des Sports erfolgte nach $11 \pm 4,5$ Monaten ($n = 85$), 18% der Patienten erlangten hierbei ein höheres Niveau als vor der Verletzung, 11% dagegen mussten ihr Sportniveau reduzieren bzw. die Sportausübung aufgeben.

Fünf Rupturen wurden beobachtet, wovon 2 auf technisches, eine auf biologisches Versagen und 2 auf ein erneutes Trauma zurückgeführt wurden. Bei 21 Patienten wurde eine konstitutionelle Bandlaxität festgestellt. Die Laxitätsmessungen wurden als differenzielle Werte nach Untersuchung mit dem KT-1000 bestimmt. Bezüglich der a.p.-Laxität wurden 77% der Patienten in die IKDC-Kategorie A, 18% in die Kategorie B und 2 bzw. 5% in die Kategorien C und D eingestuft. Insgesamt wurden 84% gute Ergebnisse nach dem IKDC-Score beobachtet und 9 IKDC-Werte < 72 erhoben. Die Erfolgsrate nach Meniskuserhalt betrug 83%. Lediglich eine sekundäre Meniskusläsion trat nach 3,5 Jahren auf. Diese detaillierte Darstellung zeigt, dass die Ergebnisse der VKB-Ersatzplastik bei offenen Wachstumsfugen sehr ansprechend und durchaus mit den Ergebnissen von erwachsenen Patienten vergleichbar sind.

Eine interessante Vergleichsstudie zwischen operativem und konserva-

tivem Behandlungsschema führten Streich und Mitarb. (Streich 2010) durch. In einem Zeitraum von 5 Jahren schlossen sie 31 Kinder im Tanner Stadium 1 oder 2 (mittleres Alter 11 Jahre) in ihre Studie ein. 17 Patienten, bei denen eine assoziierte intraartikuläre Pathologie (Meniskusschaden oder osteochondrale Läsion) vorlag wurden mit einer autologen, transphysären Semitendinosussehnenrekonstruktion versorgt, während die 14 verbleibenden Patienten mit einer isolierten VKB-Ruptur konservativ behandelt wurden. 28 Patienten konnten nach durchschnittlich 70 Monaten nachuntersucht werden. Es fand sich kein Patient mit einer Varus- oder Valgusdeformität oder Beinlängendifferenz. Das mittlere Körperwachstum betrug 20,3 cm. Die operativ versorgten Patienten hatten signifikant bessere klinische Ergebnisse sowohl in Bezug auf Kniestabilität (KT-1000 und „pivot shift“) als auch Funktion (IKDC median 95 gegen 87; Lysholm score median 93 gegen 84). Auch der Tegner Score erwies sich bei den operierten als signifikant besser. 58% der initial konservativ behandelten Patienten mussten bei persistierender Instabilität einer nachfolgenden Operation zugeführt werden.

Courvoisier und Mitarb. (Courvoisier 2010) untersuchten 38 Kinder und Jugendliche, welche mit einer VKB-Plastik bei offenen Wachstumsfugen und transphysärer 4-fach Semitendinosusgrazilisesehnenrekonstruktion versorgt wurden. Nach Wachstumsabschluss erreichten 28 einen IKDC score A (74%), 4 B (11%) und 5 D (13%). Es fanden sich keine Wachstumsstörungen. Fünf Patienten mussten reoperiert werden (3 wegen einer traumatischen Reruptur und 2 wegen einer verbleibenden Instabilität). Ähnlich gute klinische und röntgenologische Ergebnisse mit der trans-

epiphysären 4-fach Semitendinosus-technik wurden von Cohen et al., Liddle und McIntosh vorgestellt (Cohen 2009; Liddle 2008; McIntosh 2006). Auch bei Marx u. Mitarb. fanden sich bei 55 Patienten zwischen 8 und 16 Jahren gute klinische Ergebnisse (IKDC A und B bei 90,7% der Patienten). Die Laxitätswerte konnten von präoperativ 5,8 mm auf 1,0 mm (0–4 mm) verbessert werden. Die traumatische Rerupturrate lag bei 5,5% und in 2 Fällen konnte eine Partialruptur des Transplantats arthroskopisch gesichert werden. Wachstumsstörungen wurden keine festgestellt.

Komplikationen nach VKB-Plastik bei Kindern

Neben den allgemeinen Operationsrisiken bestehen die Hauptkomplikationen nach VKB-Plastiken bei Kindern in postoperativen Wachstumsstörungen. Chotel (Chotel 2010) unterteilte sie vor kurzem in 3 verschiedene Kategorien: A) einem definitiven Wachstumsstillstand („*Arrest*“); B) einer Wachstumsstimulierung („*Boost*“) und C) einer Verlangsamung des Wachstums („*deceleration*“) (Abb. 6). Sie verdeutlichen, dass die jungen Patienten postoperativ in regelmäßigen Abständen bis zum Abschluss ihrer Wachstumsphase klinisch und röntgenologisch untersucht werden sollten. Charakteristisch für das Auftreten einer solchen Komplikation sind die röntgenologisch leicht erkennbaren sogenannten Harris-Linien. Liegt die Wachstumsstörung in der Peripherie der Wachstumsfuge, kommt es zu einer Achsabweichung. Durch die dezentrale Lage des femoralen Bohrkannals ist dieses am ehesten am distalen Femur zu erwarten. Liegt die Ursache der Wachstumsstörung im Zentrum der Wachstumsfuge, kommt es zu einer symmetrischen Veränderung, am ehesten einer Beinverkür-

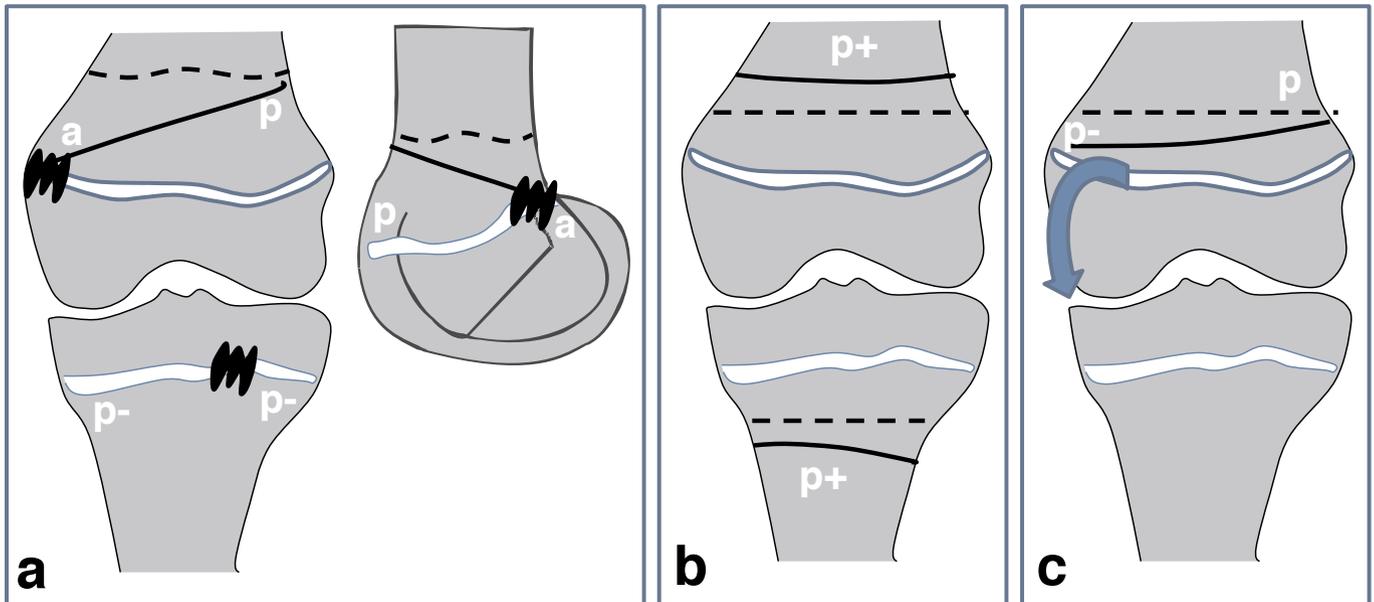


Abbildung 6

Mögliche Komplikationsarten nach VKB-Ersatz bei Kindern (modifiziert nach Chotel et al. 2010). Chotel et al. beschrieben 3 Arten der Wachstumsstörung nach VKB-Ersatzplastik bei Kindern: a) Hier kommt es zu einem kompletten Wachstumsstopp (Typ A: „Arrest“) welcher durch eine über die Wachstumsfuge reichende Knochenbrücke hervorgerufen wird. Der Wachstumsschaden ist irreversibel und entwickelt sich bis zum Abschluss des Längenwachstums. Das Ausmass der Deformität ist proportional zur Lokalisation und Grösse der initialen Fugenläsion. Bei sehr jungen Kindern kann es wegen des hohen Wachstumspotentials und der entsprechend hohen Distraktionskraft zu einer spontanen Auflösung der Knochenbrücke kommen. b) Typ B („Boost“): Eine Wachstumsbeschleunigung (p+) kann sich vermutlich in Folge einer postoperativen Hypervaskularisierung entwickeln. Sie ist häufig nur vorübergehend und entwickelt sich innerhalb der ersten 2 Jahre nach dem Eingriff. c) Typ C („DeCeleration“): Wachstumsretardierung (p-), welche durch einen Tenoepiphysedeseffekt (zu hohe Transplantatspannung) hervorgerufen werden kann. (p = physiologischer Wachstumsprozess; gestrichelte Linie = physiologische Wachstumsretardierungslinie; durchgezogene Linie = pathologische Linie welche einen kompletten Wachstumsstopp darstellt.

zung. Erstmals berichtete Chotel kürzlich über die Notwendigkeit eines Zweiteingriffs wegen einer postoperativen Beinverlängerung. Bislang wurden etwa 30 Fälle von Wachstumsstörungen nach VKB-Plastik bei Kindern in der Literatur beschrieben. Eine Umfrage unter den Mitgliedern der „Herodicus Society“ und des „ACL Study Group“ konnte 15 Fälle von Wachstumsschäden nach VKB-Plastik erheben. Diese gliederten sich in 8 Valgusdeformitäten der distalen lateralen Femurepiphyse, 3 sekundäre Rekurvatumfehlstellungen nach Verletzungen der Tuberositasapophyse, 2 Valgusfehlstellungen und 2 Beinverkürzungen auf. Die meisten Fälle waren auf operationstechnische Mängel zurückzuführen, insbesondere auf fugenüber-

brückende Transplantatfixationen mit Knochenblöcken (bei Patellar-sehnentransplantaten) oder Metallimplantaten. Andere Komplikationen traten auf bei zu großen Bohrkanälen, Verletzungen des Ranvierschen Schnürrings am Femur sowie bei gleichzeitig durchgeführten extra-artikulären Tenodesen. Bei letzteren war möglicherweise der auch experimentell nachgewiesene Tenodeseffekt bei zu großer Transplantatspannung für die Wachstumsstörung verantwortlich. Des Weiteren wurden ein aggressives Aufraspeln der femoralen „Over-the-top“-Position sowie die Naht nahe der Tuberositasapophyse als Ursachen angeführt (Kocher 2002).

In der bereits erwähnten französischen Multizenterstudie (Chotel

2007) konnten 11 Wachstumsstörungen (12%) mit verschiedenen Operationstechniken beobachtet werden. In einem Fall war eine Korrekturosteotomie in Form einer varisierenden Femurosteotomie notwendig. An der Tibia wurden eine Verkürzung (-13 mm), 2 Varus- und 3 Valgusdeformitäten erhoben, „Slope“-Veränderungen lagen nicht vor. Als Mechanismen wurden der Tenodeseffekt und die Wachstumsstimulation durch Deperiostierung beschrieben. Femoral dagegen fanden sich eine Verlängerung von 11 mm und 4 Valgusdeformitäten, wobei ein femoraler Tunneldurchmesser ≥ 9 mm mit einem femoralen Valgus korrelierte. Es fand sich ebenfalls eine eindeutige positive Korrelation zwischen der Beinlänge und dem benutzten Tunnel-

durchmesser. Mit Ausnahme einer Valgusfehlstellung von 13° waren alle anderen Störungen klinisch nicht relevant. Ihre Auswirkung auf die langfristige Ausbildung einer Sekundärarthrose bleibt offen (Bonnard 2007).

Zur Minimierung des Komplikationsrisikos sind die zu beachtenden Grundregeln bei transepiphysären VKB-Plastiken bei Kindern in Tabelle 1 zusammengefasst.

Diskussion

Bei einer isolierten VKB-Ruptur im Kindesalter sollte zunächst eine funktionelle Behandlung eingeleitet werden. Sie sollte abschwellende Maßnahmen, eine Wiedererlangung der Kniegelenkbeweglichkeit, ein Koordinationstraining und eine Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur beinhalten. Wird eine konservative Behandlung eingeleitet, sollte der Patient engmaschig kontrolliert werden. Insbesondere sollten hierbei Instabilitätsprobleme und Subluxationsphänomene erfragt werden, die von den Kindern häufig nicht als problematisch erkannt werden. In einigen Fällen kann mit der Kreuzbandplastik bis zum Ende des Wachstums der unteren Extremität abgewartet werden.

Als hilfreich hat sich in unserer Praxis die in Abb. 2 gezeigte Grafik der Wachstumsgeschwindigkeit der kniegelenknahen Fugen in Abhängigkeit vom Skeletalter ergeben. In der Phase der abnehmenden Wachstumsgeschwindigkeit kann der Operation in manchen Fällen eine mehrmonatige abwartende Haltung vorgezogen werden. Aufgrund der sehr hohen Rate an sekundären Meniskusläsionen ist ein operatives Vorgehen häufig aber bereits früher indiziert. Spätestens nach dem Auftreten einer sekundären Meniskusläsion ist die operative Stabilisierung dringend zu

empfehlen. Wegen der möglichen Wachstumsstörungen müssen der Eingriff, die postoperative Nachbehandlung und die regelmäßigen Kontrollen bis zum Wachstumsabschluss eingehend mit der Familie besprochen werden. Bei mangelnder Bereitschaft hierzu ist eine abwartende Haltung empfehlenswert.

Im Einzelfall gilt es immer die Vor- und Nachteile des konservativen und operativen Vorgehens abzuwägen. Entscheidet man sich zu Letzterem, sollte eine intraartikuläre VKB-Plastik durchgeführt werden. Die früher empfohlenen extraartikulären Bandplastiken sind nicht ausreichend (Wilmes 2009). Von den vielen intraartikulären Techniken hat sich bislang keine als wesentlich vorteilhaft erwiesen (Sasaki 2002). Seit kurzem liegen nun auch größere Fallzahlen präpubertärer Kinder vor, die gezeigt haben, dass der VKB-Ersatz beim Kind bei technisch korrekter Durchführung in ausgewählten Zentren zu guten Ergebnissen führt (Bonnard 2007). Fast alle der in der Literatur beschriebenen schwerwiegenden Wachstumsschäden waren auf operationstechnische Probleme zurückzuführen. Wachstumsstörungen, die bei technisch korrekter Durchführung der Operation auftraten, waren gering und klinisch nicht relevant. Regelmäßige postoperative Kontrollen bis zum Wachstumsabschluss sind dennoch systematisch zu empfehlen.

In den letzten 5–10 Jahren wurde zunehmend über VKB-Plastiken bei Kindern berichtet. Operationstechnisch erfreut sich die transepiphysäre 4-fach Semitendinosustechnik weltweit zunehmender Beliebtheit. Ihre Ergebnisse sind gut, Komplikationen treten – unter Berücksichtigung der anatomischen Besonderheiten bei offenen Wachstumsfugen – selten auf und die Rerupturrate erscheint gegenüber dem Erwachsenenkollektiv nicht wesentlich erhöht

zu sein. Langfristige Ergebnisse stehen aber noch aus. Inwiefern die Bandplastik bei offenen Wachstumsfugen eine Rückkehr in den Leistungssport ermöglicht oder im Hinblick auf die langfristige berufliche Prognose auch sinnvoll ist konnte noch nicht abschließend geklärt werden.

Literatur

- Aichroth P. The natural history and treatment of ACL ruptures in children and adolescents. *J Bone Joint Surg* (2002), 84-B: 38–41.
- Andrews M, Noyes FR, Barber-Westin SD. Anterior cruciate ligament allograft reconstruction in the skeletally immature athlete. *Am J Sports Med* (1994), 22(1): 48–54.
- Baxter MP. Assessment of normal pediatric knee ligament laxity using the genucom. *J Pediatr Orthop* (1988), 8(5): 546–550.
- Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med*. (2005, Oct), 33(10): 1579–602.
- Bonnard C, Chotel F. Les lésions ligamentaires et méniscales du genou de l'enfant et de l'adolescent. *Rev Chir Orthop* (2007), 93: 3595–35139.
- Bracq H, Robert H, Bonnard C et al. Anterior cruciate tears in adolescents. *Ann Soc Orthop Angers* (1996), 28: 171–194.
- Chotel F, Bonnard C, Accabled F, Gicquel P, Bergerault F, Robert H, Seil R, Hulet C, Cassard X, Garraud P. Résultats et facteurs pronostiques de la reconstruction du LCA sur genou en croissance. À propos d'une série multicentrique de 102 cas. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. (2007), 93 (Suppl): 35131–35138.
- Chotel F, Henry J, Seil R, Chouteau J, Moyen B, Bérard J. Growth disturbances without growth arrest after ACL reconstruction in children. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. (2010, Nov), 18(11): 1496–1500. Epub 2010 Feb 25.
- Cohen M, Ferretti M, Quarteiro M, Marcondes FB, de Hollanda JP, Amaro JT, Abdalla RJ. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes. *Arthroscopy*. (2009, Aug), 25(8): 831–838.
- Courvoisier A, Grimaldi M, Plaweski S. Good surgical outcome of transphyseal ACL reconstruction in skeletally immature patients using four-strand hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. (2010), Oct 2.

- Engebretsen L, Svenningsen S, Benum P. Poor results of anterior cruciate ligament repair in adolescence. *Acta Orthop Scand* (1988), 59(6): 684–686.
- Gebhard F, Ellermann A, Hoffmann F, Jaeger JH, Friederich NF. Multicenter-study of operative treatment of intraligamentous tears of the anterior cruciate ligament in children and adolescents: comparison of four different techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2006, Sep), 14(9): 797–803.
- Gicquel P, Giacomelli MC, Karger C, Clavert JM. Développement embryonnaire et croissance normale du genou. *Rev Chir Orthop* (2007), 93: 35100–35102.
- Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P, Silbernagel KG, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2006, Aug), 14(8): 778–788. Epub 2006 Mar 9.
- Henry J, Chotel F, Chouteau J, Fessy MH, Berard J, Moyen B. Rupture of the anterior cruciate ligament in children: early reconstruction with open physes or delayed reconstruction to skeletal maturity? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2009), 17: 748–755.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Slauterbeck JK. Preparticipation Physical Examination Using a Box Drop Vertical Jump Test in Young Athletes. The Effects of Puberty and Sex. *Clin J Sport Med* (2006), 16 (4): 298–304.
- Janarv PM. ACL injuries in children. Thesis. Karolinska Institute, Stockholm, Sweden, 2000.
- Kannus P, Järvinen M. Knee ligament injuries in adolescents. Eight year follow-up of conservative management. *J Bone Joint Surg (Br)* (1988), 70(5): 772–776.
- Kellenberger R, Von Laer L. Nonosseous lesions of the ACL in children and adolescents. *Prog Pediatr Surg* (1990), 25: 123–131.
- Kocher MS, DiCanzio J, Zurakowski D, Micheli LJ. Diagnostic performance of clinical examination and selective magnetic resonance imaging in the evaluation of intraarticular knee disorders in children and adolescents. *Am J Sports Med* (2001), 29(3): 292–296.
- Kocher MS, Micheli LJ, Gerbino P, Hresko MT. Tibial eminence fractures in children: prevalence of meniscal entrapment. *Am J Sports Med.* (2003, May–Jun), 31(3): 404–407.
- Kocher MS, Saxon HS, Hovis WD, Hawkins RJ. Management and complications of ACL injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and the ACL Study Group. *J Pediatr Orthop* (2002), 22: 452–457.
- Lawrence JTR, Agrawal N, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Rupture in Patients with significant Growth Remaining: What is the risk to the Meniscus and Cartilage When Treatment is Delayed? Annual meeting of the American Orthopaedic Society for Sports Medicine, Keystone, Colorado (2009).
- Liddle AD, Imbuldeniya AM, Hunt DM. Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent children. *J Bone Joint Surg Br.* (2008, Oct), 90(10): 1317–1322.
- Lipscomb AB, Anderson AF. Tears of the anterior cruciate ligament in adolescents. *J Bone Joint Surg (Am)* (1986). 68(1): 19–28.
- Luhmann SJ. Acute traumatic knee effusions in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* (2003, Mar–Apr), 23(2): 199–202.
- McIntosh AL, Dahm DL, Stuart MJ. Anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature patient. *Arthroscopy.* (2006, Dec), 22(12): 1325–1330.
- Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg – A* (1970), 52: 1677–1683.
- Milllett PJ, Willis AA, Warren RF. Associated Injuries in Pediatric and Adolescent Anterior Cruciate Ligament Tears: Does a Delay in Treatment Increase the Risk of Meniscal Tear? *Arthroscopy* (2002), 18(9): 955–959.
- Mizuta H, Kubota K, Shiraishi M et al. The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. *J Bone Joint Surg (Br)* (1995), 77(6): 890–894.
- Mohtadi N, Grant J. Managing anterior cruciate ligament deficiency in the skeletally immature individual: a systematic review of the literature. *Clin J Sport Med* (2006), 16(6): 457–464.
- Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Performance-based functional outcome for children 12 years or younger following anterior cruciate ligament injury: a two to nine-year follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2008), 16(3): 214–223.
- Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA. Individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee classified as noncopers may be candidates for nonsurgical rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* (2008), 38(10): 586–595.
- Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2006, Jun), 14(6): 571–580. Epub 2006 Feb 14.
- Risberg MA, Ekland A. Assessment of functional tests after anterior cruciate ligament surgery. *J Orthop Sports Phys Ther* (1994), 19: 212–217.
- Sasaki T, Ishibashi Y, Okamura Y et al. MRI evaluation of growth plate closure rate and pattern in the normal knee joint. *J Knee Surg* (2002), 15(2): 72–76.
- Seil R, Kohn D. Les ruptures du ligament croisé antérieur chez l'enfant. *Bull Soc Sci Med Grand Duché Luxemb* (2000), (1): 39–5327.
- Seil R, Pape D, Kohn D. The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. *Arthroscopy* (2008), 24(7): 824–833.
- Seil R, Robert H. Les ruptures complètes du ligament croisé antérieur chez l'enfant. *Rev Chir Orthop* (2004), 90 (suppl 8): 3511–3520.
- Senekovic V, Veselko M. Anterograde arthroscopic fixation of avulsion fractures of the tibial eminence with a cannulated screw: five-year results. *Arthroscopy.* (2003, Jan), 19(1): 54–61.
- Stadelmaier DM, Arnoczky SP, Dodds J, Ross H. The effect of drilling and soft tissue grafting across open growth plates. *Am J Sports Med* (1995), 23(4): 431–435.
- Streich NA, Barie A, Gotterbarm T, Keil M, Schmitt H. Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2010, Nov), 18(11): 1481–1486.
- Ulmer M, Mehling AP, Jäger A. Kindliche vordere Kreuzbandruptur. *Arthroskopie* (2008), 21: 279–282.
- Vander Have KL, Ganley TJ, Kocher MS, Price CT, Herrera-Soto JA. Arthrofibrosis after surgical fixation of tibial eminence fractures in children and adolescents. *Am J Sports Med.* (2010, Feb), 38(2): 298–301. Epub 2009 Dec 23.
- Vaquero J, Vidal C, Cubillo A. Intra-articular traumatic disorders of the knee in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* (2005), 432: 97–106.
- Williams JS Jr, Abate JA, Fadale PD et al. Meniscal and nonosseous ACL injuries in children and adolescents. *Am J Knee Surg* (1996), 9: 22–26.
- Wilmes P, Lorbach O, Chotel F, Seil R. Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes bei offenen Wachstumstufen. *Arthroskopie* (2009), 22: 35–44.
- Woods GW, O'Connor DP. Delayed anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents with open physes. *Am J Sports Med* (2004), 32(1): 201–210.

VORDERES KREUZBAND ASSOZIIERTE VERLETZUNGEN

Thore Zantop, Oliver Miltner, Martin Engelhardt, Romain Seil, Gerhard Bauer

Die Inzidenz isolierter Rupturen des vorderen Kreuzbandes ist gering. Bei assoziierten Läsionen muss zwischen akuten BegleitleSIONen und chronischen Läsionen unterschieden werden (Abb. 1). Zur Verhinderung chronischer Schäden ist die genaue Erfassung und Therapie initialer Schäden von großer Wichtigkeit. Neben initialen Knorpel- und Meniskusläsionen sind auch akute assoziierte Läsionen vorhanden, dessen Langzeitfolgen noch nicht ausreichend wissenschaftlich geklärt sind. Als Beispiel kann hier die Knochenkontusion mit subchondralen Ödem genannt werden, das sogenannte „bone bruise“.

Begleitende Meniskusläsionen

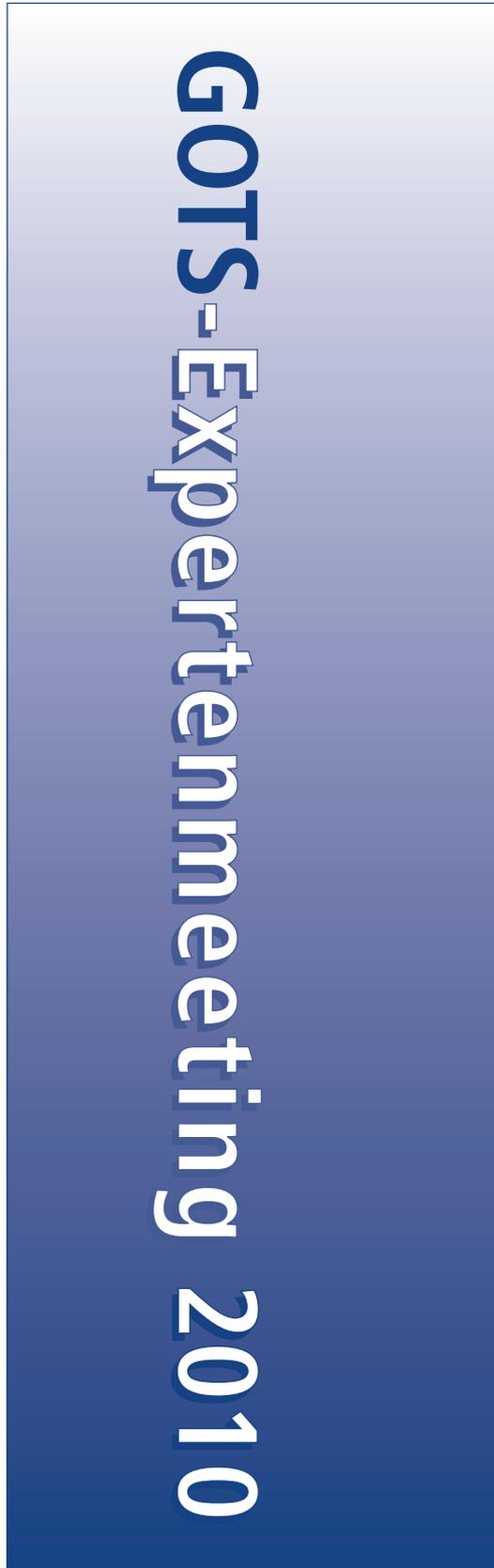
Die Inzidenz für primäre Meniskusverletzungen in Kombination mit einer VKB-Ruptur liegt zwischen 15 und 40% (Levy et al. 2003). Fairbanks konnte in einer radiologischen Studie zeigen, dass nach kompletter Entfernung der Menisken eine Osteoarthritis entsteht (Fairbanks 1948). Auch nach partieller Meniskusentfernung wurde das Auftreten degenerativer Gelenkschäden beschrieben (Veth 1985, Shelbourne et al. 2001). Aus diesem Grunde besitzt die Therapie der akuten Meniskuslä-

sion eine große Bedeutung für das Langzeitergebnis nach VKB-Rekonstruktion.

Die Entstehung der Meniskusrisse kann anhand eines der häufigsten Verletzungsmechanismen erklärt werden (Abb. 2). Beim Valgus-/Innenrotationstrauma (siehe Kapitel Epidemiologie) kommt es zu einer Ruptur des medialen Kollateralbandkomplexes. Hier ist der tiefe Anteil des MCLs über die Cooperschen Fasern mit dem medialen Meniskus verwachsen und kann zur Ruptur des Meniskusgewebes führen. Gleichzeitig kommt es zur Kompression im la-

Abbildung 1
Tabellarische Übersicht akuter und chronischer BegleitleSIONen.

Akute BegleitleSIONen	Chronische BegleitleSIONen
Meniskus: Longitudinalrisse, Korbhakenrupturen	Meniskusläsion degenerativ, Korbhakenrupturen
Knorpel: abgescherte Fragmente	Degenerative Chondromalazie
Ligamentär: Kollateralbandläsionen	Varus-/Valus Malalignment
Ossär: Segondfrakturen, Eminentia	Ligamentär: HKB, chronische Seitenbandläsion



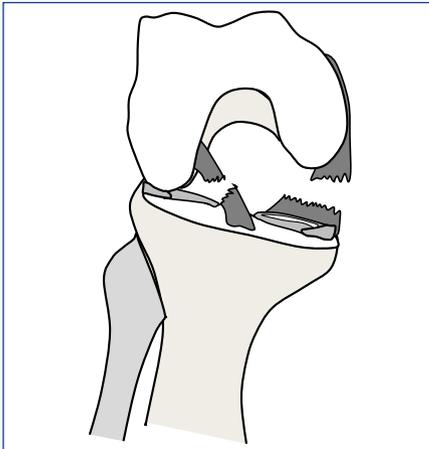


Abbildung 2
Typischer VKB-Verletzungsmechanismus. Beim Valgus/Innenrotationstrauma kann es zur MCL-Distorsion und Innenmeniskusruptur kommen. Der Aussenmeniskus weißt häufig eine starke Kontusion ohne Rißbildung auf („crush lesion“).

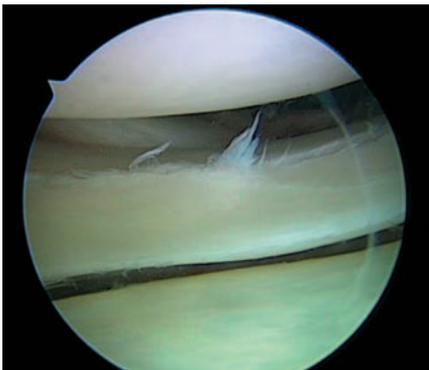


Abbildung 3
Längsriss im Aussenmeniskushinterhorn bei VKB-Ruptur.



Abbildung 4
Komplexer Längsriss. Die Ruptur hat im Hinterhorn keinen Kontakt mehr zur Meniskusbasis und ist in den Gelenkspalt luxiert.

teralen Gelenkbereich, welches mit den im MRT nachweisbaren Knochenödemen einhergeht, bevorzugt im dorsolateralen Tibiaplateaubereich (siehe Kapitel Diagnostik). Somit ist erklärlich, dass das Außenmeniskushinterhorn bei frischen VKB-Läsionen sehr häufig betroffen ist. Arthroskopisch zeigen sich Meniskusquetschungen und Zerreissungen jeglichen Ausmaßes. Daher ist das Erscheinungsbild der Meniskusläsion im akuten Stadium vielseitig. So können Längsrisse als komplette

oder inkomplett an der femoralen oder tibialen Oberfläche durchgehende Risse diagnostiziert werden (Abb. 3). Neben einfachen sind auch komplexe Längsrisse vorhanden, die ggf. sich zu einem dislozierten Korbhenkelriss entwickeln können (Abb. 4). Sollte ein dislozierter Korbhenkelriss klinisch oder im MRT diagnostiziert worden sein, so muss aufgrund des Verletzungsmechanismus und der hohen Inzidenz der Kombinationsverletzung Korbhenkelruptur und VKB-Ruptur, die Diagnostik un-

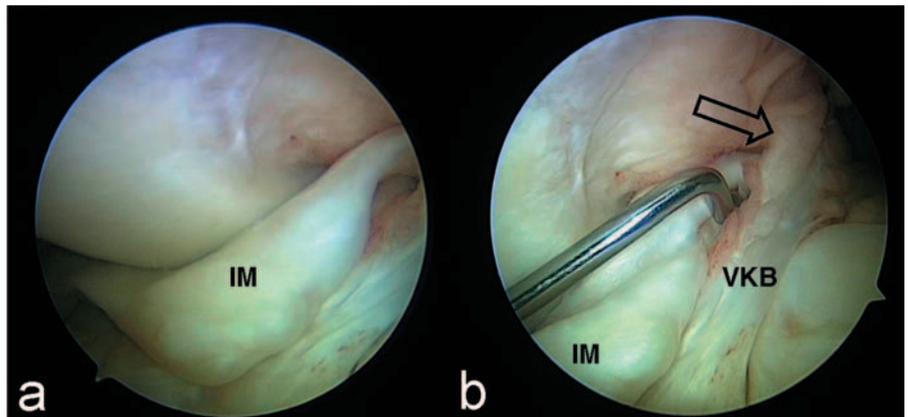


Abbildung 5
Typische Kombinationsverletzung eines dislozierten Korbhenkelriss des Innenmeniskus (IM) bei VKB-Insuffizienz. Der IM ist in die Fossa intercondylaris eingeschlagen (a). Das VKB stellt sich nur noch als schmales Faserband dar und ist auf dem hinteren Kreuzband vernarbt (sogenannte Lambda-Einheilung, Blockpfeil). Die Insertion am lateralen Femurkondylus ist frei (b).

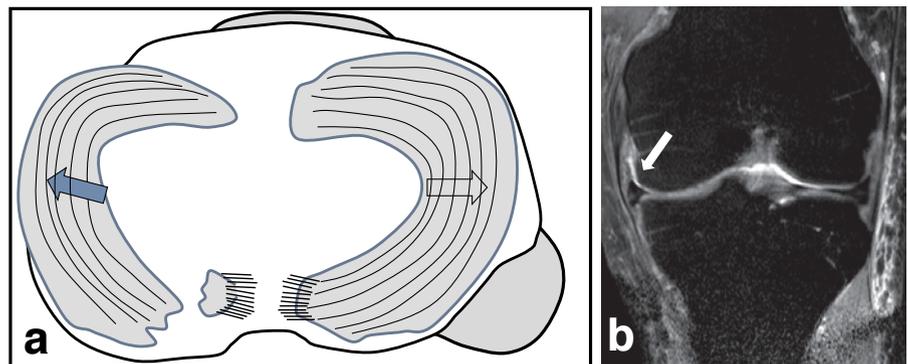


Abbildung 6
Avulsionsverletzung des medialen Meniskushinterhorns. Über die tibiale Insertion des Vorder- und Hinterhorns kann der intakte Meniskus die auftretenden Scherkräfte auf die Tibia leiten (a, lateraler Meniskus). Bei einer Avulsion ist die Überleitung der Scherkräfte nicht mehr möglich und es kommt zu einer Extrusion des Meniskus (a, medialer Meniskus). Diese ist pathologisch, wenn in den koronaren MR-Schichten die Extrusion einen Wert von 3 mm übersteigt (b, Blockpfeil).

bedingt auf das VKB ausgeweitet werden (Abb. 5). Seltener sind die akuten Begleitläsionen als Radiärrisse oder als Avulsion der Insertion, sogenannter Wurzelaustriss (Petersen und Zantop 2006, 2009). Diese beiden Rissformen weisen allerdings einen besonders desaströsen Effekt für die Meniskusfunktion auf. Aufgrund der komplexen Zerstörung der zirkumferent verlaufenden Fasern des Meniskusgewebes kann die Meniskusfunktion bei diesen Rissen komplett aufgehoben sein (Abb. 6). Eine Avulsion des Hinterhorns des Meniskus kann durch eine kombinierte Rotation- und Valgusbewegung isoliert oder in Kombination mit einer VKB-Läsion auftreten (Petersen und Zantop 2006, 2009). Auch bei posteriorer Platzierung des tibialen Tunnels bei VKB-Rekonstruktion kann die Läsion auftreten (Abb. 7). Auch bei chronischen Instabilitäten finden sich unterschiedliche Formen der Meniskuläsion. Ursächlich kann hierfür zum einen die erhöhte anteriore tibiale Translation bei VKB-Insuffizienz sein. Im VKB-intakten Kniegelenk können die Menisken die



Abbildung 7

Avulsionsverletzung des lateralen Meniskushinterhorns bei Rezidivinstabilität nach VKB-Rekonstruktion in transtibialer Technik. Durch die posterolaterale Anlage des tibialen Tunnels ist es zu einer Verletzung der tibialen Insertion gekommen. Die Stabilität des Aussenmeniskus wird nur noch durch das posteriore menisko-femorale Ligament vermittelt.

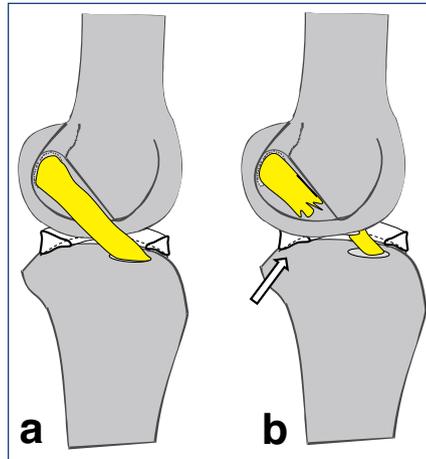


Abbildung 8

Schematische Darstellung der Belastungssituation des Meniskushinterhorns. Im intakten Kniegelenk ist das VKB ein wichtiger Bestandteil für die physiologische Belastung der Menisken (a). Bei VKB-Insuffizienz kommt es zu einer anterioren Translation und somit zu einer vermehrten Belastung des Meniskushinterhorns. Diese kann zur Überlastung und somit zu degenerativer Rißbildung führen (b).

Gelenkinkongruenz ausgleichen und werden physiologisch belastet („Hemmschuhwirkung“, Abb. 8). Kommt es zu einer Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes, so führt dies zu einer anterioren tibialen Translation und somit zu einer vermehrten Belastung oder Überlastung im Bereich der Menisken. Hierdurch kommt insbesondere das Innenmeniskushinterhorn unter Belastung und kann ein degeneratives Rissbild zeigen (Abb. 9). Durch die auftretenden Scherbelastungen kann es neben Knorpelusura auch zu Aufrauungen der Meniskusoberfläche kommen. Führen Blockadeffekte bei Vorliegen eines dislozierten Korbhakenrisses beim Patienten nicht zur umgehenden ärztlichen Konsultation, so kann es zu einem Abriss des Korbhakens am hinteren oder vorderen Fixationspunkt und Umschlagen des Rissanteiles in den Rezessus füh-

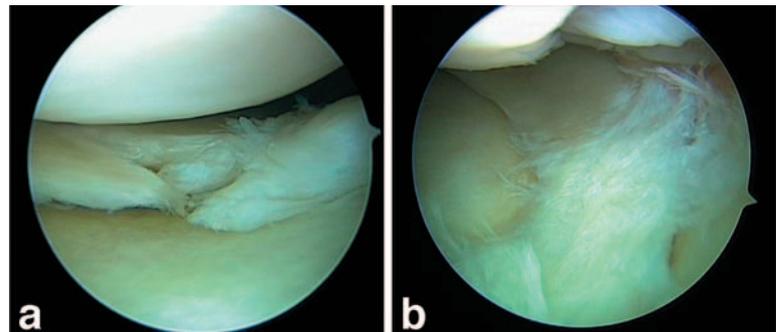


Abbildung 9

Chronische Meniskuläsionen bei VKB-Ruptur. Degenerative Rißbildung am Innenmeniskushinterhorn (a, Fischmaulriss) und Aufrauung der Pars intermedia des Aussenmeniskus (b).

Abbildung 10

Chronischer Korbhakenriss des medialen Meniskus, MRT-Diagnostik. In den sagittalen Schichten zeigt sich der Meniskus nach anterior luxiert (a, Blockpfeil). In der koronaren Schichtführung ist das Meniskusfragment nach medial luxiert (b, Blockpfeil).

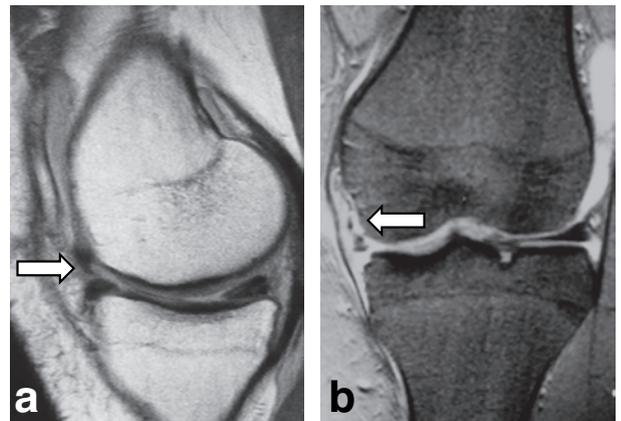




Abbildung 11
Chronischer Korbhenkelriss des medialen Meniskus (Fortsetzung Abb.10). Bei komplettem Abriss der Anheftung im Hinterhorn ist keine IM Refixation möglich.

ren (Abb. 10). Die Blockierungen und Beschwerden sind dann geringer ausgeprägt, chirurgisch besteht allerdings meist keine Refixationsmöglichkeit mehr (Abb. 11). Ziel der operativen Therapie ist es, soviel intaktes Meniskusgewebe wie möglich zu erhalten. Für eine erfolgreiche Refixation muss eine strenge Indikationsstellung berücksichtigt werden (Abb. 12). Neben der Rissform spielt auch die Lokalisation des Risses eine entscheidende Rolle bei der therapeutischen Entscheidungsfindung (Arnoczky et al. 1982, 1988, Petersen und Tillmann 1999, Peter-

Indikation zur Meniskusrefixation
Dislozierter basisnaher Korbhenkelriss mit guter Qualität des zentralen Anteils
Instabiler Längsriss mit guter Qualität des zentralen Anteils: rote und rot-weiße Zone
Medialer oder lateraler Wurzelausriss

Abbildung 12
Indikation zur Meniskusrefixation.

sen und Zantop 2006) (Abb. 13). Basisnahe Rupturen befinden sich in einem gut vasikularisierten Bereich, da die Blutgefäße von der äußeren Zirkumferenz in die Meniskusbasis eindringen (sogenannte rote Zone). Das zentrale Drittel des Meniskusgewebes ist avaskulär und besitzt deshalb eine geringe Heilungstendenz (sogenannte weiße Zone) (Abb. 14). Den Übergangsbereich zwischen roter und weißer Zone bezeichnet man als rot-weiße Zone. Da die mögliche Einheilung des refixierten Gewebes von der Vasikularisation abhängt, werden Meniskusrefixationen in der roten und in der rot-weißen Zone empfohlen (Warren 1985, Eggli et al. 1995, Rockborn et al. 2000, von Trommel 1998, Petersen und Zantop 2006) (Abb. 15, 16). Das zentrale Fragment sollte hierbei keine ausgeprägten degenerativen Schäden aufweisen. In solchen Fällen muss ggf. eine Meniskusteilresektion erfolgen. Bei einem Radiärriss ausgehend von der Basis bis hin in das zentrale Drittel (von der roten bis zur weißen Zone) sind die zirkulär verlaufenden Ringspannungen und somit die Funktion des Meniskus als transportable Gelenkfläche aufgehoben. Obwohl für solche Rupturtypem eine Refixationstechnik nicht standardisiert ist,

Indikation zur Meniskusteilresektion
Komplexe Ruptur mit Ausläufern nach zentral (Fischmaul-Form)
Instabiler Längsriss mit degenerativen Veränderungen des zentralen Anteils (ggf. partielle Resektion und Refixation)
Reruptur bei nicht eingehelter Refixation
Risse in der weißen Zone
Fehlende Compliance des Patienten

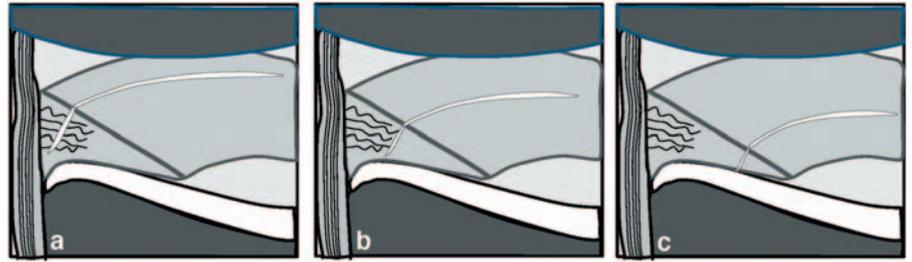
Abbildung 13
Indikation zur Meniskusresektion.

kann insbesondere im lateralen Kompartiment bei Kindern und Jugendlichen auch bei einem Radiärriss die Indikation zur Refixation gestellt werden (Siebold et al. 2007). Kurze Rissformen bei VKB-Ruptur, bei denen sich das innere Fragment nicht mit dem Tasthaken in das Gelenk luxieren lässt, werden als stabile Längsrisse bezeichnet. Diese Rupturen sollen eine gute Spontanheilungstendenz besitzen, wenn das Kniegelenk stabilisiert wurde (Pujol und Beaufils 2009).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass assoziierte Meniskusläsionen bei VKB-Ruptur häufig anzutreffen sind. Diese sollten einzeln mit einer VKB-Rekonstruktion versorgt werden. Aus medizinischer Sicht sollten beim beruflichen ambitionierten Sportler dieselben Therapiestrategien wie beim Freizeitsportler greifen. Dies beinhaltet den Leitsatz so viel Meniskusgewebe wie möglich zu erhalten. Die Einheilungsraten der Meniskusrefixation hängen von der Stabilität des Gelenkes ab. Somit ist unserer Ansicht beim beruflich ambitionierten Sportler die Meniskusrefixation im Rahmen der VKB-Rekonstruktion bei medizinischer Indikation stets durchzuführen auch wenn sich dadurch die Rehabilitationszeit und ggf. das Intervall bis zur Aufnahme der sportlichen Aktivität verlängert. Eine spätere Teilresektion (insbesondere bei lateralen Korbhenkelrupturen) bei nicht Einheilen der Refixation muss in Kauf genommen werden. Ziel dieses Artikels ist es die assoziierten Pathologien und Therapie aufzuzeigen. Zum weiteren Studium der klinischen Ergebnisse wird auf Fachliteratur verwiesen (Albrecht-Olsen et al. 1992, Cannon et al. 1992, DeHaven 1989, 1995, Eggli et al. 1995, Haas et al. 2005, Laprell et al. 2002, Rockborn et al. 2000, Siebold 2007, Warren 1985).

Abbildung 14

Schematische Darstellung der Rißlokalisation unter Berücksichtigung der Vaskularität. Basisnahe Risse können aufgrund der guten Vaskularität des äußeren Drittels refixiert werden (a). Risse im zentralen Abschnitt des Meniskus haben aufgrund der verminderten vaskulären Versorgung eine schlechte Heilungsrate (c). Hier wird eine Teilresektion durchgeführt. Zur Therapie von Rissen in der Zone zwischen den beiden



Extremen muss eine individuelle Entscheidung unter Berücksichtigung der assoziierten Verletzungen getroffen werden (b).

Abbildung 15

Dislozierter Innenmeniskuskorbhenkelriss. Das Fragment ist in die Fossa interkondylaris eingeschlagen (a). Die Reposition kann mit Hilfe eines stumpfen Trokars erfolgen (b).

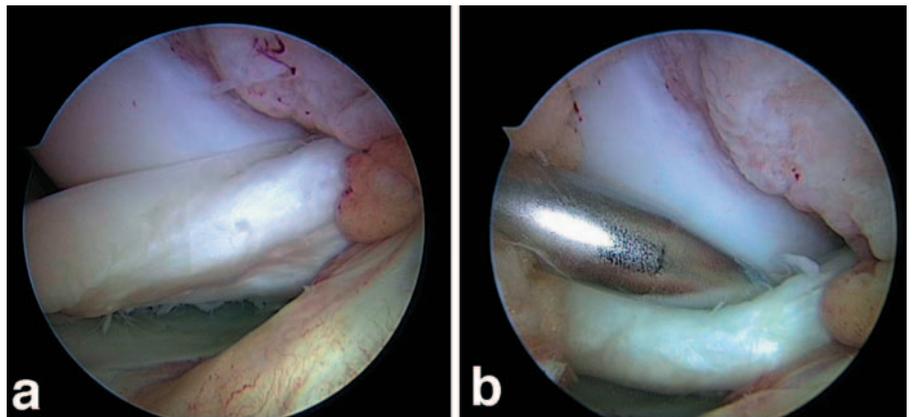
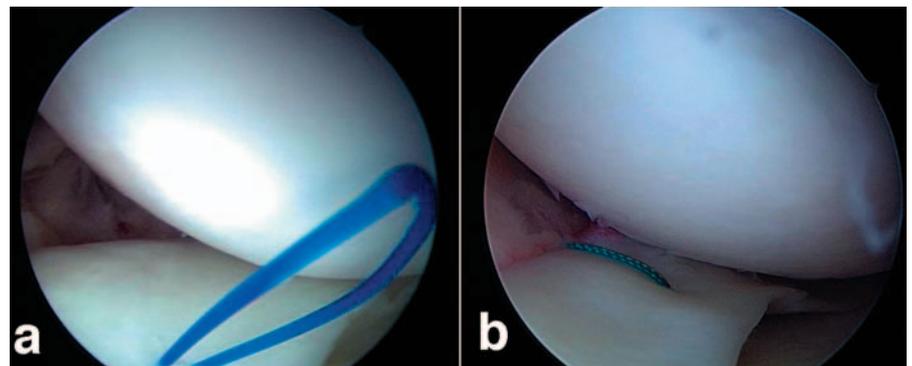


Abbildung 16

Nach Reposition erfolgt die Naht in outside-in Technik. Hierfür wird zunächst eine Fadenschleife in das Gelenk eingebracht (a). Nach Durchshutteln erfolgt die Naht mit einem nicht resorbierbaren Fadenmaterial (hier: Vertikalnaht, b).



Begleitende Knorpelläsionen

Knorpelläsionen sind eine der häufigsten assoziierten BegleitleSIONEN bei VKB-Ruptur. Aufgrund des Verletzungsmechanismus im Sinne eines Valgus/Innenrotationstrauma (siehe Abb. 2) können die Knorpelschäden akut auftreten. Chronische Knorpelschäden können durch die Instabilität bedingt sein. Bei intaktem Kniegelenk ist das Drehzentrum zwi-

schen medialer und lateraler Eminentia gelegen (Amis et al. 2005, Larson 1983, Slocum 1968). Bei einer Ruptur kommt es nun zu einer Verlagerung des Drehzentrums in das mediale Kompartiment. Hiermit kann es zum einen zu einer Überbelastung des medialen femoro-tibialen Gelenkabschnittes kommen. Zeitgleich kommt es allerdings auch zu auftretenden Scherkräften im lateralen Gelenkabschnitt (Abb. 17).

Aufgrund der vermehrten Bewegung des lateralen Kompartimentes im VKB-defizienten Zustand sind Knorpelläsionen und Meniskusläsionen lateral gehäuft zu diagnostizieren. Mafulli et al. analysierten die chondralen Oberflächen bei 378 VKB-Rekonstruktionen und konnten bei 157 Patienten Knorpelläsionen dokumentieren (Mafulli et al. 2003). Femoralseitig waren die Läsionen am häufigsten. Eine weitere Studie

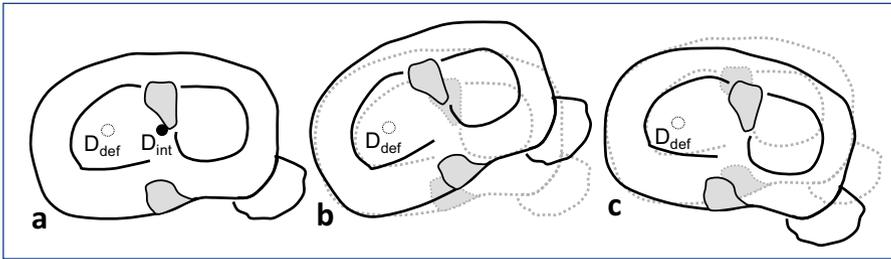


Abbildung 17

Schematische Darstellung auftretender Scherkräfte bei VKB-Ruptur. Das Drehzentrum des intakten Kniegelenkes ist im Bereich der tibialen Eminenz lokalisiert (a, D_{int}). Bei VKB-Ruptur kommt es zu einer Verlagerung des Drehzentrums in das mediale Kompartiment (D_{def}). Somit kommt es im lateralen Kompartiment zu einer vermehrten Translationsfähigkeit nach anterior (b, durchgehende Linie) und posterior und zum Auftreten von Scherkräften (c, durchgehende Linie).

berichtet eine Inzidenz 45,1% von Knorpelläsionen bei VKB Ruptur (Yüksel et al. 2007). Die Assoziation zwischen Instabilität und chronischen Knorpelschäden ist in der Literatur hinlänglich bekannt (Jonsson et al. 2004, Fink et al. 1994, Krüger-Franke et al. 1997, Shelbourne et al 1997, 2000, 2003). Dieser Zusammenhang wurde

von Daniel et al. (1994) als „ACL-Cascade“ bezeichnet (Modifikation „VKB-Trauma-Kaskade“, siehe Kapitel Indikation). Dieser Effekt scheint insbesondere bei Sportler ausgeprägt zu sein (Abb. 18). Nebelung und Wuschech haben Leistungssportler nach durchschnittlich 35 Jahren untersucht und berichten bei 13 von 19 Patienten osteoarthrotische Veränderungen (Nebelung und Wuschech 2005). Ziel der operativen Therapie ist daher neben der Verbesserung der subjektiven Instabilität auch ein Verhindern der frühen Osteoarthritis (Abb. 19). Viele Studien konnten jedoch zeigen, dass auch bei Patienten nach VKB-Rekonstruktion im Langzeitverlauf Knorpelläsionen auftreten können. Häu-

fig wurden in diesen Studien allerdings ältere OP-Methoden (offene VKB-Rekonstruktion, synthetischer Ligamentersatz, transtibiäre Rekonstruktionstechnik) und unterschiedlichste Rehabilitationsverfahren eingesetzt (Ruhigstellung mit Gipsbehandlung bis zur frühzeitigen aggressiven Rehabilitation). Wissenschaftlich objektiv muss angemerkt werden, dass nur wenige Studien beweisen konnten, dass durch eine VKB-Rekonstruktion die Osteoarthritis verhindert werden kann. Jomha et al. führten eine prospektive Studie zur Analyse der Sekundärschäden und Osteoarthritis bei Patienten mit VKB-Ruptur und Risikofaktoren durch. Die Autoren konnten zeigen, dass bei Patienten mit Risikopotential eine Kreuzbandrekonstruktion mögliche Sekundärschäden und frühzeitig beginnende Osteoarthritis verhindert (Jomha et al. 1999). Risikofaktoren für das Auftreten von Sekundärschäden sind hohe Aktivität, das Auftreten von Giving way Phänomenen im Sport, Kindes- und Jugendalter, oder Alltag, erhöhte AP Translation und ein positives Pivot shift Phänomen (Jomha et al. 1999, Petersen und Zantop 2009). Aber auch primäre Knorpelschäden (und Meniskusläsionen) können einen signifikanten Beitrag zur späteren Arthroserate haben (Abb. 20). Die



Abbildung 18

Projektionsradiographischer Verlauf bei VKB-Ruptur. Die VKB-Ruptur wurde mit einer Resektion der VKB-Stümpfe (ohne Rekonstruktion) behandelt. Radiologisch zeigt sich 1 Jahr postoperativ eine vermehrte Sklerosierung des medialen Kompartiments (a). Ca. 8 Jahre nach Stumpfresektion zeigen sich deutliche degenerative Veränderungen am medialen und lateralen Kompartiment (b). Patellofemorale Gelenkabschnitt 1 Jahr (c) und 8 Jahre nach Stumpfresektion (d).

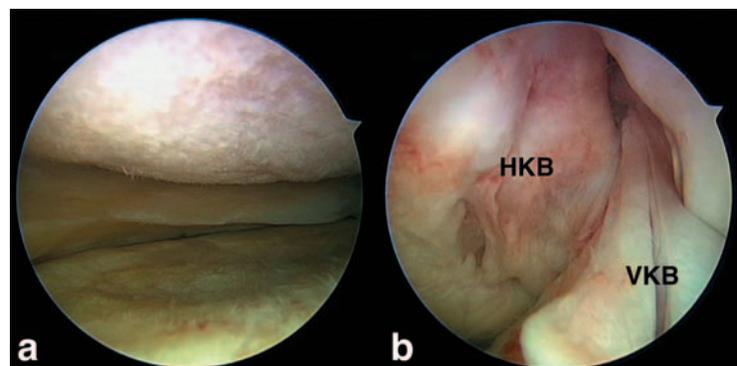


Abbildung 19

Chronische VKB-Läsion. Im medialen Kompartiment zeigt sich aufgrund der Verlagerung des Drehzentrums eine ausgeprägte Chondromalazie (a). Das VKB lässt sich nur noch als schmale Struktur abgrenzen (b). Es besteht eine subjektive und objektive Instabilität.

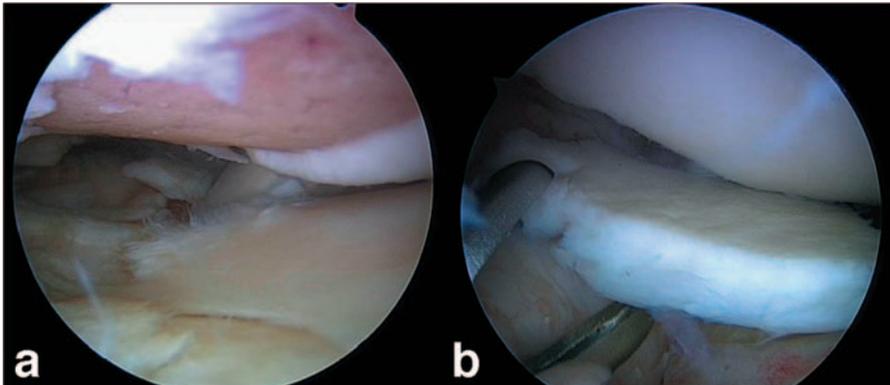


Abbildung 20

Primäre Knorpelschäden bei VKB-Ruptur. Die chondrale Oberfläche am lateralen Femurkondylus ist abgeschert (a). Die Gelenkkörper sind in den Hiatus popliteus disloziert. Nach Mobilisation der Gelenkkörper können diese entfernt werden (b).

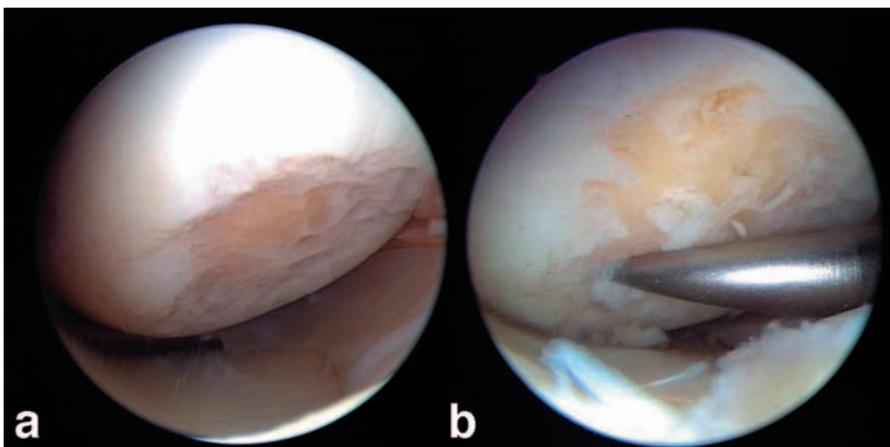


Abbildung 21

Primärer Knorpelschaden bei VKB-Ruptur. Zunächst erfolgt das Abtragen der instabilen Knorpelbezirke (a). Bei gut erhaltener Schulter und entsprechender Größe wird eine Mikrofrakturierung durchgeführt.

therapeutische Strategie sollte bei Knorpelläsionen und VKB-Insuffizienz auch beide geschädigten anatomischen Strukturen beinhalten: den Knorpel und das VKB. Eine lokale Therapie des Knorpelschadens bei instabilem Gelenk ohne eine Stabilisierung scheint weder sinnvoll noch erfolgsversprechend.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei Kniegelenkinstabilität aufgrund einer Läsion des vorderen Kreuzbandes bei einem Teil der Patienten sekundäre Meniskus- und

Knorpelschäden auftreten. Hierbei ist die Sportaktivität und das Aktivitätsniveau ein entscheidender Risikofaktor. Die therapeutischen Strategien zur Verbesserung der Regenerationsförderung des Knorpels reichen von Eröffnung des subchondralen Markraumes mit Provokation einer Blutung (z. B. Mikrofrakturierung, Pridiebohrung oder Abrasionsarthroplastik, Abb. 21) über kombinierte Verfahren mit Matrixabdeckung (autologe matrix-induzierte Chondrogenese) bis zur Knorpelzelltransplantation (autologe matrix-

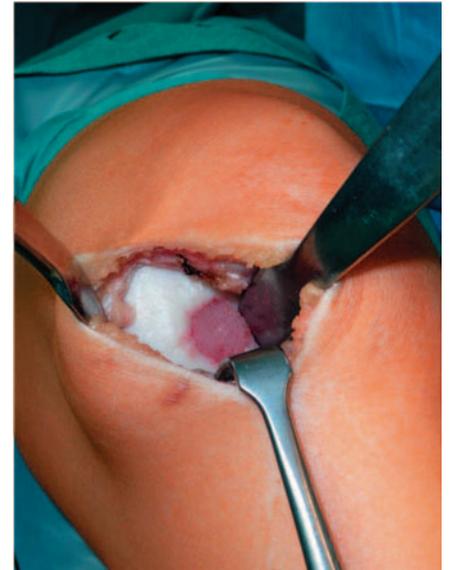


Abbildung 22

Matrix assoziierte autologe Chondrozyten-Transplantation (m-ACT). Es erfolgt die Implantation der auf die Matrix kultivierten Chondrozyten in offener Technik.



Abbildung 23

Valgisierende hohe tibiale Umstellungsosteotomie in medial eröffnender Technik zur Entlastung des medialen Kompartimentes. Bei chronischer VKB-Rezidivinstabilität (femorale high noon Positionierung) erfolgte die Umstellung bei ausgeprägter Varusdeformität und symptomatischen Knorpelschaden im medialen Kompartiment.

assoziierte Chondrozytentransplantation) (Abb. 22). Insbesondere bei diesen Verfahren ist die Gelenkstabilität eine wichtige Voraussetzung für den Therapieerfolg und somit ist bei VKB-Ruptur eine Rekonstruktion essentiell. Im chronischen Stadium der VKB-Insuffizienz spielt auch die Beinachsenbegradigung im Sinne einer Osteotomie eine wichtige Rolle im therapeutischen Regime (Abb. 23).

Begleitende knöcherne Läsionen

Auch bei den ossären Begleitläsionen kann zwischen akuten und chronischen Schäden differenziert werden. Bei den Luxationsfrakturen (Moore 1981, Moore et al. 1987), die zwangsläufig eine ligamentäre Instabilität des vorderen oder hinteren Kreuzbandes bedingen, steht die anatomische Reposition der Gelenkparameter im Vordergrund. Im Rahmen dieses Kapitels wird auf die begleitenden knöchernen Läsionen bei bestehender VKB-Ruptur eingegangen. Zum Therapiealgorithmus bei Luxationsfrakturen mit Hauptaugenmerk auf die knöchernen Reposition und Fixation wird auf weiterführende Literatur verwiesen (Lobenhoffer 1997, Hertel 1997, Petersen et al. 2006).

Zu den akuten knöchernen Begleitpathologien gehört Eminentia intercondylaris Fraktur (Meyers und McKeever 1970, Zaricznyj et al. 1977, Eggers et al. 2007). Ursache der Instabilität ist hier die Fraktur der tibialen (selten auch femoralen) VKB-Insertion (siehe Kapitel Diagnostik) (Abb. 24). Diese Form ist insbesondere bei kindlichen VKB-Instabilitäten vorhanden und wird entsprechend nach der Dislokation des Fragmentes in Stadien eingeteilt (siehe Kapitel Diagnostik, kindliche Rupturen). Während gering dislozierte Fragmente (I°), die sich ggf. in Streckstellung reponieren lassen



Abbildung 24

Anteriore Eminentiafraktur. Nach projektionsradiographischer Diagnostik wurde eine CT durchgeführt, um die Konsistenz des Fragmentes zu beurteilen. Während im sagittalen Strahlengang die Fraktur diskret disloziert erscheint (a), zeigt die Frontalebene die Fragmentierung (b).

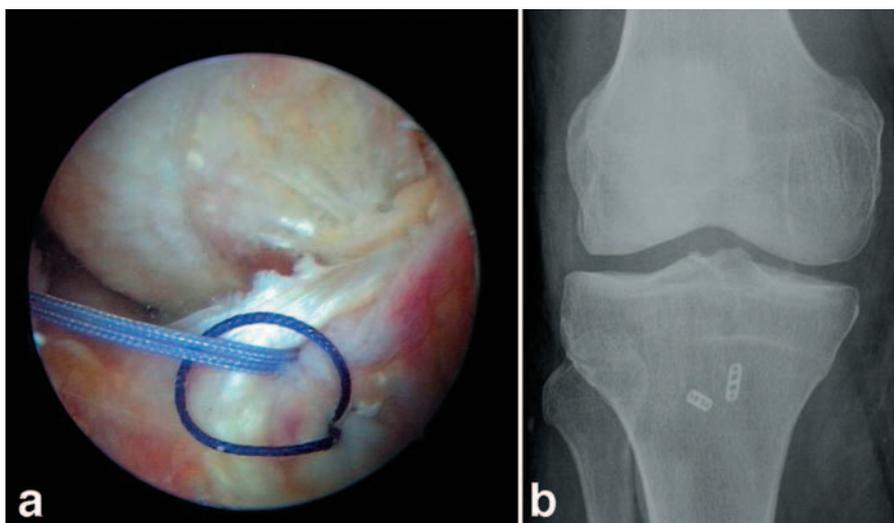


Abbildung 25

Anteriore Eminentiafraktur (Fortsetzung Abb. 24). Nach Reposition erfolgt die Fixation mit einer Nahtcerclage mit Hilfe eines 4,5 mm tibialen Tunnels. Die Fäden werden durch das VKB vorgelegt und durch den tibialen Tunnel ausgeleitet (a). Bei Fragmentierung und entsprechender Größe des Fragmentes wurde eine zweite weiter posterior gelegene Nahtcerclage angelegt. Die Fäden werden über jeweils einen femoralen Fixationsknopf fixiert (b).

und mit Hilfe einer konservativen Therapie ausheilen können, so kann bei dislozierten Fragmenten (II/III/IV°) das operative Therapieregime favorisiert werden. Ein Grund, dass höhergradig dislozierte Fragmente sich *nicht* reponieren, ist die Interposition des Ligamentum transversum genus zwischen Fragment und Frakturbett. Das Ligament kann so eine Einheilung verhindern. Zur operativen Therapie stehen neben einer retrograden oder anterograden (bei deutlich geöffneten Wachstumsfugen) Schraubenfixation, die Nahtcerclage zur Reduktion des Fragmentes zur Verfügung (siehe Kapitel kindliche VKB Ruptur) (Abb. 25) (Berg et al. 1993, Kobayashi et al. 1994, Lubowitz et al. 2005, Eggers et al. 2007). Im Rahmen der Aufklärung sollte darauf hingewiesen werden, dass neben der Fraktur auch eine ligamentäre Instabilität vorliegen kann. Trotz anatomischer Reposition und gutem Einheilen kann im Verlauf eine Instabilität bestehen, die durch die plastische Verformung der Bandanteile bedingt ist (siehe Kap. Kindliche Rupturen).

Weitere knöcherne Begleitläsionen können im Bereich des tibialen Gelenkpartners auftreten. Insbesondere zur Differentialdiagnose bei Hämarthros muss eine Fraktur ausgeschlossen werden (Abb. 26). Beim Auftreten einer lateralen Tibiplateaufrakturen (B1-3) steht zunächst die knöcherne Konsolidierung im Vordergrund. Eine Segondfraktur umschreibt einen assoziierten knöchernen Ausriss des lateralen Kapselbandapparates an seiner tibialen Insertion (*kein* knöcherner Ausriss LCL, Radiologische Darstellung siehe Kapitel Diagnostik). Selten besteht bei der Segondfraktur eine Indikation zur operativen Therapie des Fragmentes selbst; sie gilt jedoch als hinweisend für eine VKB-Ruptur. Als Sulcus Zeichen wird eine Impaktion des lateralen Femurcondylus in Höhe der Linea

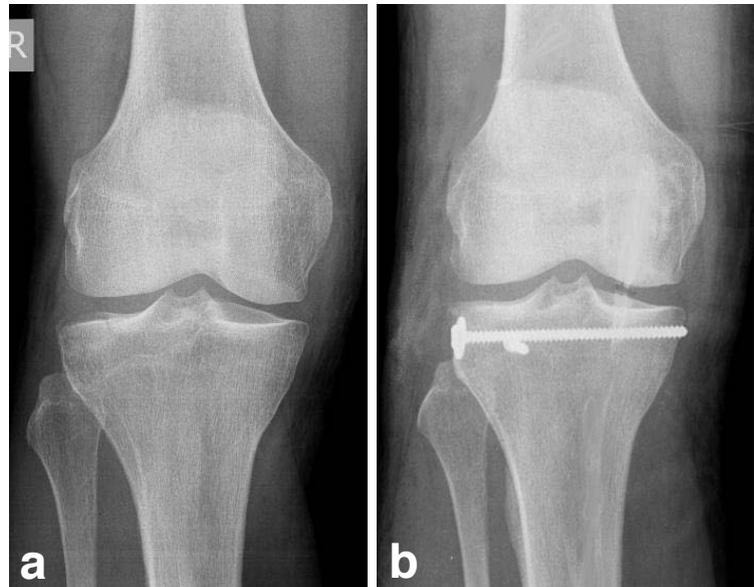


Abbildung 26

Tibiakopfraktur vom Typ AO 41 B3. Neben einer Spaltung ist es auch zu einer Impression des lateralen Fragmentes gekommen (a). Es erfolgt die arthroskopische Reposition und Fixation mit Schraubenosteosynthese in überkreuzender Technik (Jail-Technik, b).

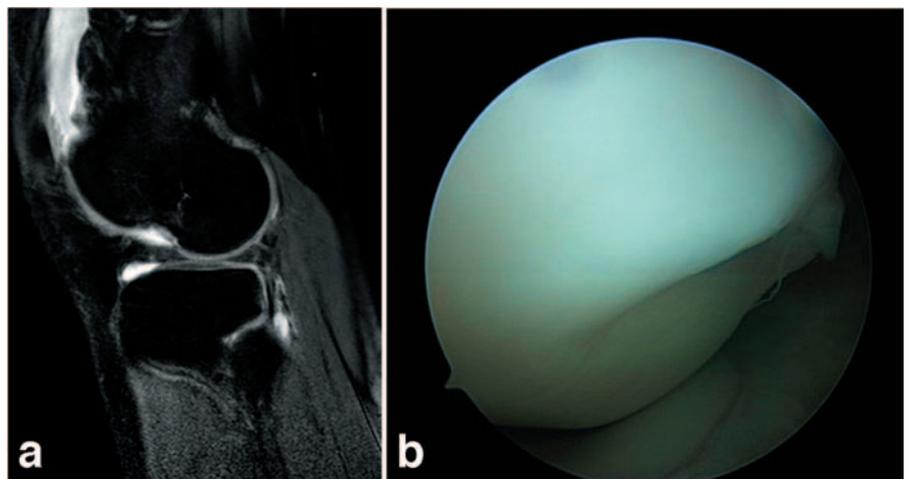


Abbildung 27

Sulcus terminalis Zeichen. Das MRT zeigt die Impaktion des lateralen Femurcondylus (femorale Impressionsfraktur, a). Arthroskopisch kann der Befund in extensionsnaher Position dargestellt werden (b). Eine Versorgung dieser Läsionen ist nur im Ausnahmefall notwendig.

terminalis definiert (Abb. 27). Eine mögliche Erklärung ist der tibiale Anschlag an den lateralen Femurcondylus zum Verletzungszeitpunkt. Auch ein Hyperextensionsmechanismus ist denkbar, dieser ist jedoch nicht nur für isolierte VKB-Läsionen ursächlich (siehe Kapitel Epidemiologie).

Die wahrscheinlich häufigste ossäre Begleitläsion ist das sogenannte bone bruise im Bereich des lateralen Femurcondylus. Ist diese Knochenkollision zeitgleich mit einem Signal im Bereich der posteriorolateralen Tibiplateaus assoziiert, wird dies als kissing lesion bezeichnet.

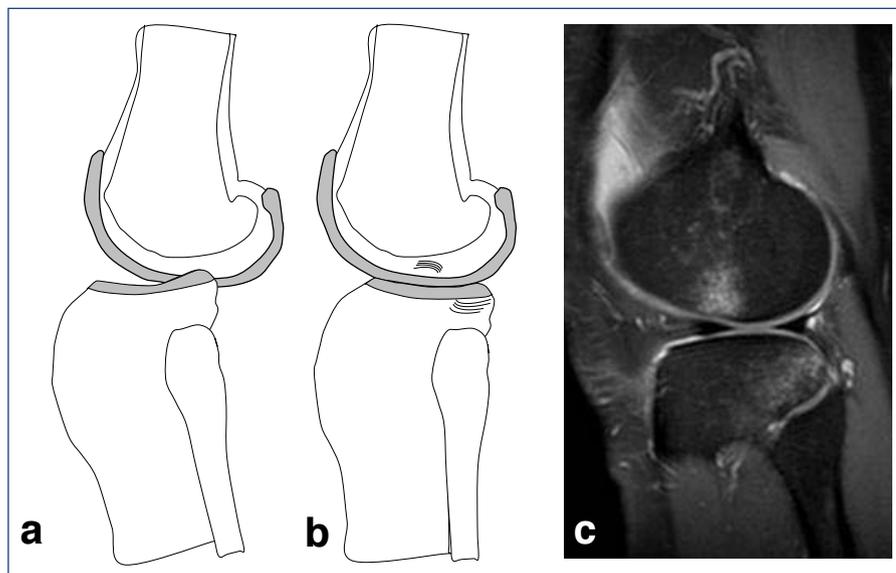


Abbildung 28

Schematische Darstellung der Entstehung des bone bruise. Bei der Subluxationsstellung zum Verletzungszeitpunkt (a) kommt es zur Impression des lateralen Femurkondylus oder dem Tibialplateau (b). Das MRT bei VKB-Ruptur zeigt die typische Signalalteration (c).

Pathobiomechanisch handelt es sich um einen Ausdruck der zum Unfallzeitpunkt bestehenden Subluxation des Kniegelenkes (Abb. 28). Eine Empfehlung, ob bei Vorhandensein einer kissing lesion zunächst eine Teilbelastung durchgeführt werden soll, kann unserer Ansicht nach aufgrund der wissenschaftlich nicht gesicherten Lage nicht ausgesprochen werden. Davies et al. untersuchten den Verlauf eines bone bruises mit Hilfe Kontroll MRI-Untersuchungen 12–14 Wochen nach Verletzungszeitpunkt. Bei ca. 80% der Patienten zeigte sich eine Reduktion um mehr als 50%, allerdings konnte bei allen 30 Patienten die Persistenz des Knochenmarködems dokumentiert werden (Davies et al. 2004). Grösse und Reduktionsrate des bone bruise waren dabei unabhängig von ligamentären Begleitläsionen. Es konnte mit dieser Studie gezeigt werden, dass das positive MRT-Signal ggf. trotz klinischer Besserung der vorhandenen Beschwerden länger bestehen bleibt als zunächst angenommen (Davies et al. 2004).

Während das Auftreten des bone bruise bei VKB-Ruptur als pathognomonisch gilt, ist die Prognose für den chondralen Überzug des Bezirkes nicht absehbar. Costa-Paz et al. (2001) haben 21 Patienten mit einer isolierten VKB-Ruptur ohne initiale Knorpelläsion im Mittel 34 Monate (24–64 Monate) nach VKB-Rekonstruktion mit einem BPTB-Transplantat erneut einer MRT-Untersuchung unterzogen und die Bilder mit der präoperativen Diagnostik verglichen. Bei allen Patienten mit Schädigung der subchondralen Platte (Typ-III-Läsion) konnte auf den Kontroll MRT-Aufnahmen eine Ausdünnung des Knorpels dokumentiert werden. Diese Läsionen waren am lateralen Femurkondylus lokalisiert. Langzeitstudien zur Verlaufskontrolle sind in der Literatur nicht beschrieben.

Zu den *chronischen* knöchernen Begleitpathologien gehören vor allem osteophytäre Anbauten. Die Knochenneubildungen in der Area intercondylaris oder am Notcheingang können als Stabilisationsversuch des

Gelenkes gewertet zu werden (Abb. 29). Bei entsprechender Größe können sie für ein Extensionsdefizit ursächlich sein. Da sie die Visualisation auf die femorale VKB-Insertion an der Wand des lateralen Femurkondylus deutlich beeinträchtigen, sollten sie bei der Rekonstruktion mit Hilfe einer Notchplastik entfernt werden (Abb. 30). Bei VKB-Rekonstruktion und bestehenden Notchosteophyten kann es zu einem Impingement des Transplantates kommen, dass bis zum Versagen führen kann (Abb. 31). Die Durchführung einer Notchplastik ist allerdings keine Methode, um eine Fehlplatzierung des Transplantates und ein pathologisches Impingement zu kompensieren (siehe Kapitel Tunnelpositionierung).

Zusammenfassend stehen bei chronischen ossären Begleitpathologien die osteophytären Anbauten in der Fossa intercondylaris oder am medialen und lateralen Femurkondylus im Vordergrund. Bei akuten ossären Begleitpathologien handelt es sich um Frakturen, die sich häufig als Kapsel-Band Abspaltungen präsentieren (Segond-/Eminentiafraktur). Eine Besonderheit bildet hier der bone bruise des lateralen Femurkondyls und des lateralen Tibialplateaus.

Begleitende ligamentäre Läsionen

Rupturen des VKBs können mit mehreren assoziierten ligamentären Läsionen einhergehen. Diese reichen von Verletzungen der peripheren Stabilisatoren des medialen und lateralen Kollateralbandes bis hin zur Mitbeteiligung des hinteren Kreuzbandes. Von einer multiligamentären Verletzung wird ab einer Beteiligung von 3 ligamentären Strukturen gesprochen. Die ligamentären Begleitläsionen lassen sich häufig durch den Verletzungsmechanismus erklären (siehe Abb. 2)

Abbildung 29
Notchstenose bei chronischer VKB-Insuffizienz (a). Die Notchosteophyten werden in der Rosenbergaufnahme deutlich (b).

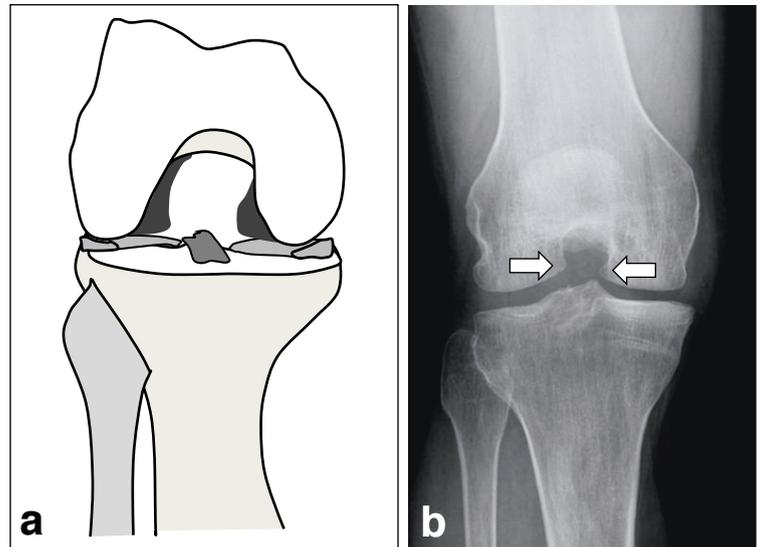


Abbildung 30
Notchstenose bei chronischer VKB-Insuffizienz. Die Osteophyten lenken den Verlauf des VKBs ab (a). Im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion sollte eine Notchplastik zur Resektion der Osteophyten erfolgen. Ansonsten besteht die Gefahr der Transplantatlazeration, die bis zur Reruptur führen kann (b).

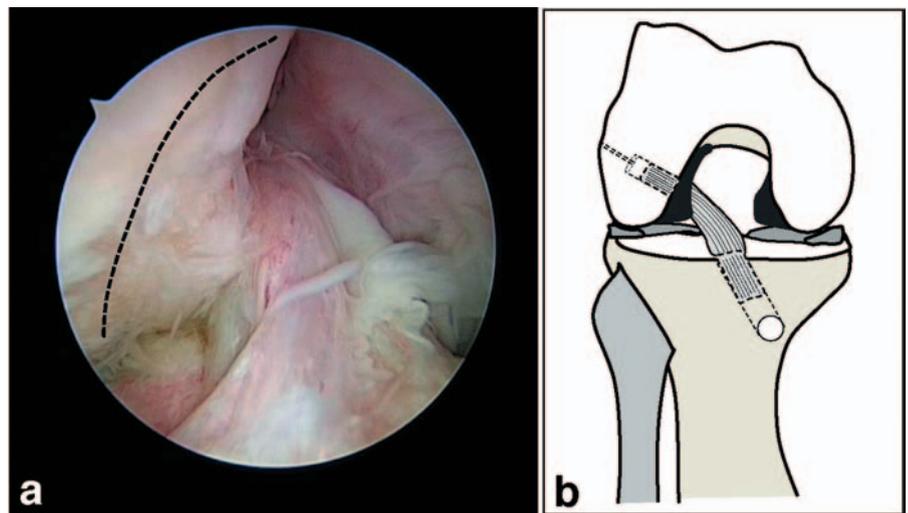
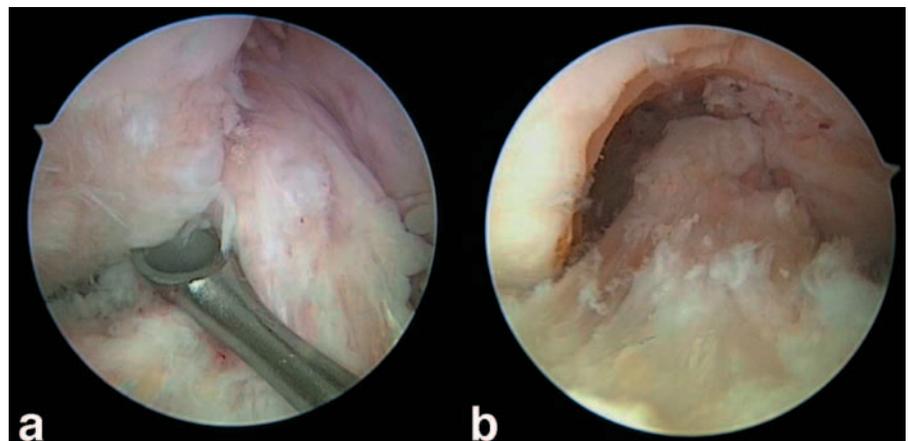


Abbildung 31
Notchstenose bei chronischer VKB-Insuffizienz (Fortsetzung von Abb. 30). Die Notchplastik wird mit Hilfe eines scharfen Löffels oder einer Tannenbaumfräse durchgeführt (a). Die femorale Insertion des VKBs ist frei und es besteht eine chronische Insuffizienz des VKB mit Auflagerung auf das HKB (b, Visualisation durch das mediale Portal).



Anteromediale Instabilität

Die anteromediale Instabilität ist die häufigste ligamentäre Begleitverletzung, die aufgrund des Valgus/Aussenrotationstrauma entsteht (siehe Kapitel Epidemiologie) (Lipke et al. 1981). Zur genauen Klassifikation der medialen Instabilität ist eine akkurate klinische Diagnostik notwendig (Abb. 32).

Die erst- und zweitgradigen Läsionen treten häufig im Rahmen von Sportverletzungen auf und betreffen meist den oberflächlichen Anteil des medialen Kollateralbandes (MCL) (Müller 1982, Petersen et al. 2008). Durch das intakte hintere Schrägband und die Anteile der posteromedialen Kapsel ist der Kontakt der Rupturenden gewährleistet und eine konservative Therapie indiziert (Abb. 33). Bei erstgradiger Instabilität können physikalische Maßnahmen und eine Teilbelastung ausreichen. Bei zweitgradigen Instabilitäten sollte eine VKB-Orthese zur Sicherung der Einheilung verordnet werden. Bei ausgeprägter Valgusdeformität wird die Indikation zur Orthesenverordnung großzügig gestellt. Insbesondere partielle Rupturen mit mäßiger Instabilität zeichnen sich durch eine ausgeprägte Schmerzsymptomatik aus (siehe Kapitel Diagnostik). Die operative Versorgung der VKB-Ruptur erfolgt im schmerz- und reizfreien Intervall.

Akute drittgradige Läsionen zeichnen sich durch eine ausgeprägte Aufklappbarkeit aus (siehe Kapitel Diagnostik). Pathophysiologisch kommt es zu einer Ruptur des gesamten MCL-Komplexes (Abb. 34). Ist bei der Läsion das hintere Schrägband und die posteromediale Kapsel betroffen, so sollte die frühe operative Strategie verfolgt werden. Seltene Rupturformen sind die tibiale Avulsion des MCLs. Hier kann es zur anatomischen Lage der rupturierten Ligamentanteile auf dem Pes anseri-

Therapiemöglichkeiten bei VKB-Ruptur und MCL-Läsion		
Grad I	0–5°	Teilbelastung Physikalische Maßnahmen
Grad II	5–10°	VKB-Orthese (freie Beweglichkeit) VKB-Rekonstruktion im reizfreien Intervall
Grad III	>10°	Akute Läsion: frühzeitige Refixation (Naht, Ankertechnik, Duplikatur) Chronische Läsion: Sehnentransfer, Duplikatur

Abbildung 32
Therapiemöglichkeiten bei VKB und MCL Läsion.

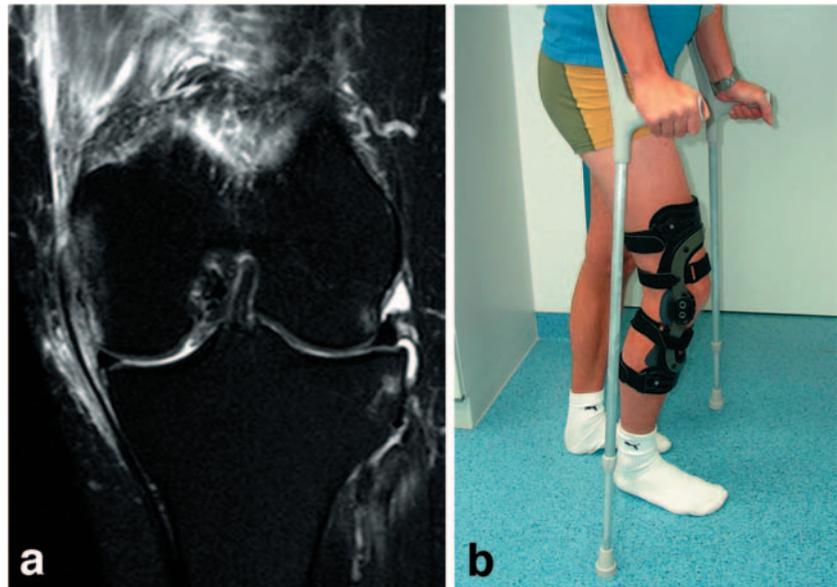


Abbildung 33
MCL-Distorsion. Bei II° klinischer Aufklappbarkeit zeigt das MRT eine femorale Signalalteration (a). Das Ligament selber ist durchgängig darstellbar. Die MCL-Läsion kann konservativ mit Hilfe einer Orthese zur Ausheilung gebracht werden (b). Die Versorgung des VKBs erfolgt im schmerzfreien Intervall.

nus superficialis kommen und es bestehen genau wie bei eingeschlagenen MCL-Fasern in das Gelenk schlechte Einheilungschancen. Als operatives Vorgehen empfiehlt sich die Ankerrefixation und die Faszien/Kapselduplikation (Operation nach Hughston, Hughston 1976). Bei chronischen Läsionen ist das therapeutische Vorgehen deutlich schwerer. Bei geringerer Instabilität

(I/II°) kann im Rahmen der VKB-Rekonstruktion eine Anfrischung und Mikrofrakturierung der Insertionen erfolgen. Bei deutlichen chronischen Instabilitäten (III°) sollte neben einer Kapselduplikatur (OP nach Hughston) auch die Möglichkeit einer medialen Sehnenrekonstruktionstechnik beachtet werden. Die Beachtung der assoziierten ligamentären Instabilitäten der antero-

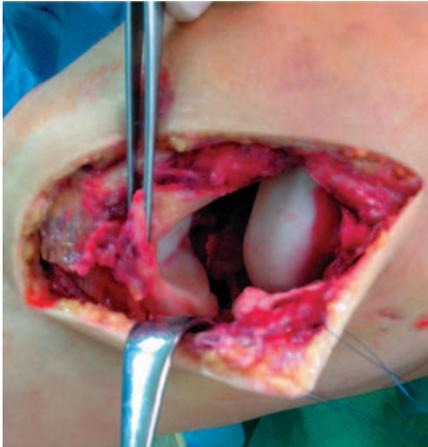


Abbildung 34
Makroskopisches intraoperatives Bild einer drittgradigen medialen Instabilität. Die medialen Strukturen sind rupturiert. Das hintere Schrägband erfüllt seine Funktion nicht mehr, so dass sich unter Valgusstress der Meniskus komplett vom femoralen Kondylus ablösen lässt.

medialen Gelenkecke hat auch Einfluss auf die Transplantatwahl bei der VKB-Rekonstruktion. Da die Hamstringsehnen als aktiver Stabilisator einen Einfluss auf die mediale Gelenkecke haben, sind bei einer ausgeprägten medialen Instabilität die ipsilateralen Hamstringsehnen *nicht* das Transplantat der Wahl. Vielmehr sollten hier als Transplantat eine Patellarsehne, die Quadrizepssehne oder die Hamstringsehnen der Gegenseite verwandt werden (siehe Kapitel Transplantatwahl).

Anterolaterale Instabilität

Bei der anterolateralen Instabilität kommt es zu einer assoziierten Verletzung der Insertion der anterolateralen Kapsel (Segond Fraktur), des lateralen Kollateralbandes oder des Tractus illiotibialis (Lipke et al. 1982, Zantop et al. 2006, Müller 1982). Obwohl streng anatomisch betrachtet bei Läsionen der Sehne des M. popliteus und der Bizepssehne eher die Bezeichnung posterolaterale Instabilität zutreffend wäre,

Assoziierte anterolaterale Pathologie
Läsion des lateralen Kollateralbandes (selten isoliert)
Läsion des Tractus illiotibialis
Läsion der anterolateralen Kapselinsertion (Segond)
Läsion der Bizepssehne
Posterolaterale Läsion (Tendo M. popliteus)

Abbildung 35
Mögliche Komponenten der anterolateralen Instabilität

so sollte diese Läsion trotzdem im Zusammenhang mit der VKB-Läsion gesehen werden (Abb. 35). Im Gegensatz zur anteromedialen Instabilität, die durch den Verletzungsmechanismus suffizient erklärt werden kann, ist beim Vorliegen einer anterolateralen Instabilität häufig

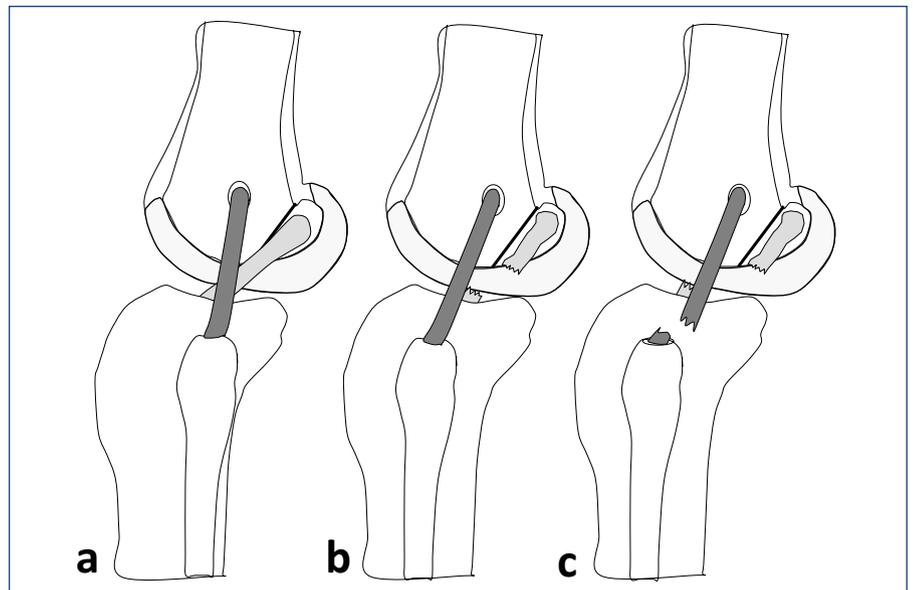


Abbildung 36
Schematische Darstellung der stabilisierenden Funktion der lateralen Strukturen (hier laterales Kollateralband, LCL). Im intakten Kniegelenk besitzt das LCL eine sekundär stabilisierende Funktion bei anteriorer tibialer Translation (a). Bei VKB-Ruptur und zunehmender anteriorer tibialer Translation steigt die Spannung im LCL an und die Bedeutung zur Limitation steigt (b). Eine stark vermehrte anteriore tibiale Translation ist bei Insuffizienz des VKBs und LCL vorhanden (c). Dasselbe trifft auf den Einfluss des Tractus illiotibialis zu.

eine Verletzungssituation mit höherer äußerer Energieeinwirkung verantwortlich (Zantop et al. 2006). Bei chronischer VKB-Insuffizienz kann es zudem zur Entwicklung einer funktionellen lateralen Instabilität kommen. Kanamori et al. konnten zeigen, dass bei experimenteller VKB-Resektion die Spannungen in dem medialen und lateralen Kollateralbandkomplex deutlich anstiegen (Kanamori et al. 2000). Bei Vorliegen einer Varusdeformität kommt es zusätzlich zu einer Steigerung der Spannung im LCL.

Pathobiomechanisch sind die genannten Strukturen der antero-(postero-) lateralen Ecke sekundäre Stabilisatoren zur Limitation der anterioren tibialen Translation (Lipke et al. 1982, Zantop et al. 2006, Müller 1982). Diese Funktion kommt insbesondere Verlust des primären Stabilisators, dem VKB zu tragen (Abb. 36). Eine rein intra-artikuläre Rekonstruktion im Sinne einer VKB-

Rekonstruktion reicht in diesen Fällen nicht aus, um die komplexe Veränderung der Kinematik zu adressieren. Eine biomechanische Studie konnte zeigen, dass bei ausgeprägter Läsion der lateralen Kollateralbandes (III°-Läsion) auch eine anatomische VKB-Doppelbündelrekonstruktion nicht ausreicht, um die Kinematik des intakten Kniegelenkes wiederherzustellen (Zantop et al. 2010). Für die klinische Praxis bedeutet dies, dass das bei einer VKB-Ruptur mit ausgeprägter lateraler Insuffizienz die operative Strategie die intra- und extra-artikuläre Instabilität adressieren muss.

Zusätzlich zu den bekannten diagnostischen Verfahren (siehe Kapitel Diagnostik) sind bei Verdacht auf assoziierte anterolaterale Instabilität einige Besonderheiten erwähnenswert. Im Rahmen der klinischen Untersuchung kann es bei Läsion des Tractus iliotibialis zu einem Ausbleiben des Repositionsmanövers des lateralen Tibiaplateaus kommen und somit zu einem falsch negativen Befund (Abb. 37). Zum anderen sollte bei der ggf. durchzuführenden MRT Diagnostik der radiologische Kollege explizit auf die Fragestellung einer assoziierten Läsion der antero- und ggf. auch posterolateralen Strukturen hingewiesen werden. Zur

Merke

Bei Läsion der anterolateralen Gelenkecke, insbesondere des Tractus iliotibialis kann es zu einer falsch negativen Interpretation des pivot shift Testes kommen. Um die Subluxationsstellung des lateralen Tibiaplateaus zu reponieren, ist die Integrität des Tractus iliotibialis Voraussetzung.

Abbildung 37
Pivot shift Test und anterolaterale Instabilität.

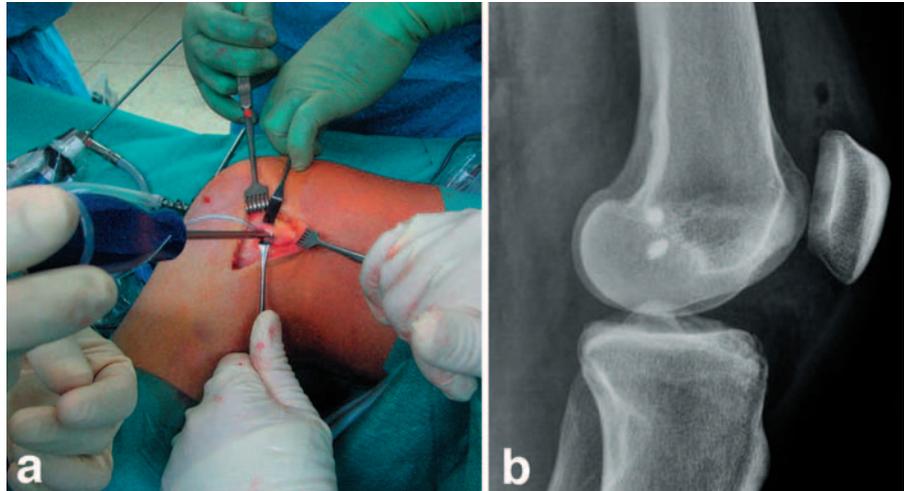


Abbildung 38
Primäre Refixation einer lateralen Instabilität mittels Ankerrefixation (a). Zur anatomischen Refixation des LCL und der Popliteussehne wurde eine doppelte Ankerrefixation verwandt.

Beantwortung dieser Fragestellung kann eine Modifikation des Standardprotokolls der MRT-Untersuchung nötig sein. Einige Protokolle sind aufgrund der anatomischen Topographie der häufigsten Pathologien (VKB-Läsion, Meniskusruptur) und zur Verkürzung der Untersuchungszeit auf die Fossa interkondylaris fokussiert. Eine Diagnostik insbesondere der posterolateralen Strukturen ist bei diesen Untersuchungsprotokollen nicht möglich. Im Sinne des Patienten sollte bei diesen Fällen auf eine entsprechende Kommunikation zwischen traumatischen Orthopäden und Radiologen geachtet werden.

Die pathobiomechanische Kinematik hat in Kombination mit den anatomischen Besonderheiten der Komponenten der anterolateralen Gelenkecke eine klinische Relevanz. Im Gegensatz zum medialen Kollateralbandkomplex scheinen die Einheilungschancen des lateralen Komplexes geringer. Zusätzlich scheint bei Läsion des LCLs aufgrund seiner bleistiftartigen anatomischen Struktur die primäre Refixation mit Hilfe einer Ankertechnik besser geeignet als bei der breiten Insertionszone

des medialen Bandkomplexes. Bei einer III°-Aufklappbarkeit (Klassifikation siehe anteromediale Instabilität, Abb. 33) im akuten Stadium ist hier die primäre Refixation indiziert, ggf. mit primärer Augmentation (Abb. 38). Die Entscheidung der zeitgleichen VKB-Rekonstruktion erfolgt individuell und ist neben sportlichen und beruflichen Aspekten auch von weiteren assoziierten Läsionen (refixierbarer Meniskusriss) abhängig. Über eine erhöhte Gefahr der Arthrofibrose bei präoperativer Bewegungseinschränkung und gereizten Kniegelenk sollte der Patient aufgeklärt werden (Mayr et al. 2003).

Eine schwierige klinische Situation zeigt der Patient mit VKB-Ruptur und chronischer Instabilität der anterolateralen Ecke. Bei geringer funktioneller Instabilität aufgrund einer Varusdeformität kann eine alleinige VKB-Rekonstruktion ggf. ausreichen, um ein gutes klinisches Ergebnis zu erreichen. Bei ausgeprägt chronischer lateraler Instabilität muss sowohl die intra- als auch die extra-artikuläre Instabilität adressiert werden (Abb. 39). Hier sollte zur intra-artikulären Rekon-

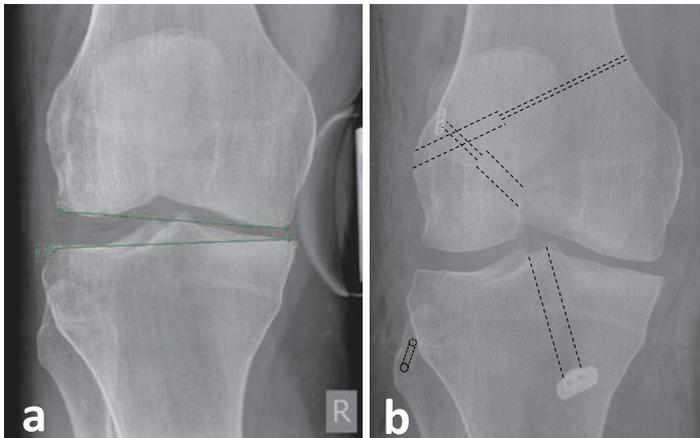


Abbildung 39 Anterolaterale Instabilität bei VKB-Ruptur und lateraler Instabilität, präoperative Diagnostik (a). Die Versorgung erfolgte mit einer Einzelbündel VKB-Rekonstruktion in medialer Portaltechnik und lateraler Rekonstruktion in modifizierter Larson Technik (b, Tunnel gestrichelt nachgezeichnet).

Therapiemöglichkeiten bei VKB-Ruptur und chronischer lateraler Instabilität		
	Geringe laterale Instabilität	Ausgeprägte laterale Instabilität
Geringe Varusdeformität	VKV-Rekonstruktion	VKB-Rekonstruktion (EB) mit lateraler Sehnenrekonstruktion
Ausgeprägte Varusdeformität	Valgisierende hohe tibiale Umstellungsosteotomie Ggf. einzeitige VKB-Rekonstruktion	Valgisierende hohe tibiale Umstellungsosteotomie mit lateraler Sehnenrekonstruktion

Abbildung 40 Therapiemöglichkeiten bei VKB-Ruptur und chronischer lateraler Instabilität.



Abbildung 41 Kniegelenkluxation mit multiligamentärer Instabilität beim Fußball.

struktion eine anatomische Einzelbündelrekonstruktion favorisiert werden, da es bei einer Doppelbündelrekonstruktion und einer zusätzlichen lateralen Rekonstruktion mit femoraler Tunneltechnik theoretisch zur Gefahr einer Osteonekrose im lateralen Femurkondylus kommen kann (Zantop et al. 2010). Bei vermehrter Varusdeformität kommt es zu einer zunehmenden Bedeutung der valgusierenden Umstellungsosteotomie in medial eröffnender Technik. Die Entscheidung einer einzeitigen Umstellungsosteotomie und VKB-Rekonstruktion muss mit unter Berücksichtigung der erhöhten Komplikationsgefahr individuell gefällt werden, allerdings sollte die Beinachsenkorrektur in diesen Fällen zuerst therapiert werden (Abb. 40).

Multiligamentäre Instabilität

Im Gegensatz zu einer assoziierten anteromedialen oder anterolateralen Instabilität wird eine multiligamentäre Verletzung ab einer Beteiligung von 3 ligamentären Strukturen definiert (Abb. 41). Häufig handelt es sich bei diesen Verletzungen um Hochrasanztraumen im Rahmen von Verkehrsunfällen. Als typisches Beispiel kann das klassische Anpralltrauma an das Armaturenbrett im Auto angeführt werden (siehe Kapitel Diagnostik). Hierbei kann es zu einer Läsion des hinteren Kreuzbandes, des vorderen Kreuzbandes der posteromedialen und -lateralen Strukturen kommen. Aber auch im Rahmen von Sportunfällen kann es zur multiligamentären Instabilität kommen. Mit Hilfe einer retrospektiven Studie konnten Schulz et al. zeigen, dass von 494 Patienten mit Läsion des hinteren Kreuzbandes sich 197 Patienten (ca. 40%) die Verletzung bei der Ausübung des Sportes zuzogen (Schulz et al. 2002). Hauptsportart war in diesem Patienten-



Abbildung 42
Kniegelenkluxation mit traumatischer Ruptur des N. peroneus.

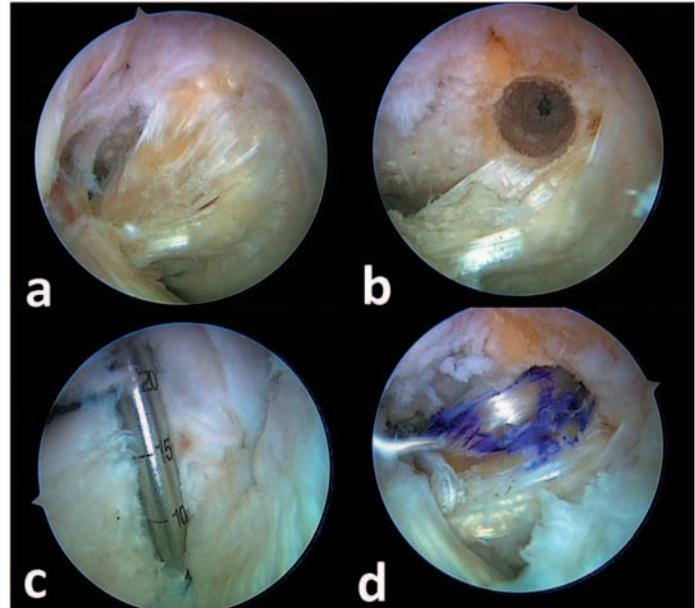


Abbildung 44
Multiligamentäre Rekonstruktion. Zunächst erfolgt die Anlage des femoralen HKB-Tunnels (a, b). Der tibiale HKB-Tunnel endet ca. 20 mm unterhalb der Meniskusbasis (c). es wird eine Einzelbündelrekonstruktion in Augmentations-technik des anterolateralen Bündels durchgeführt (d).

Merke

Bei multiligamentärer Instabilität ist die Läsion des hinteren Kreuzbandes therapieführend. Eine isolierte Versorgung des vorderen Kreuzbandes im multiligamentär instabilen Kniegelenk ist kontraindiziert.

Abbildung 43
Leitschema zur multiligamentären Instabilität.



Abbildung 45
Postoperatives Röntgenbild nach multiligamentärer Rekonstruktion beim 18-jährigen Fußballer nach Kniegelenkluxation. Es wurde zunächst extern eine primäre Reflexion der posterolateralen Strukturen durchgeführt. Bei persistierender posteriorer und posterolateraler Instabilität erfolgte die simultane VKB/HKB und posterolaterale Rekonstruktion.

klientel Fußball (25 %) und Skilaufen (8 %) (Abb. 42). Bei multiligamentären Verletzungen steht die Versorgung des hinteren Kreuzbandes im Vordergrund. Diese sollte von der Diagnostik über die therapeutische Strategie bis hin zur Rehabilitation die HKB-Läsion führend sein (Abb. 43). Die operative Therapie sollte eine simultane Rekonstruktion des HKBs, VKBs und der Seitenbandstrukturen beinhalten (Abb. 44, 45). Aufgrund der komplexen therapeutischen Besonderheiten bei HKB Läsionen verweisen wir hier auf Fachliteratur (Harner et al. 2000, Jung et al. 2010, Petersen und Zantop 2010, Strobel und Weiler 2008, Wind et al. 2004, Zantop und Petersen 2010). Patienten mit multiligamentärer Kniegelenkinstabilität sollte in ausgewiesenen Zentren für kniechirurgische Maßnahmen betreut werden.

Literatur

Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Burgaard P, Joergensen U, Toerholm C. The arrow versus horizontal suture in arthroscopic meniscus repair: a prospective randomized study with arthroscopic evaluation. *Knee Surg, Sports Traumatol Arthrosc* (1999), 7: 268–273.

Amis A, Bull AMJ, Lie DT. Biomechanics of Rotational Instability and Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Oper Tech Orthop* (2005), 15: 29–35.

Arnoczky SP, Warren RF, Spivak JM. Meniscal repair using an exogenous fibrin clot. An experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg* (1988), 70-A: 1209–1217.

Arnoczky SP, Warren RF. Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med* (1982), 10: 90–95.

Berg EE. Comminuted tibial eminence anterior cruciate ligament avulsion fractures: failure of arthroscopic treatment. *Arthroscopy* (1993), 9: 446–450.

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.

- Costa-Paz M, Muscolo DL, Ayerza M, Makino A, Aponte-Tinao L. Magnetic resonance imaging follow-up study of bone bruises associated with anterior cruciate ligament ruptures. *Arthroscopy*. (2001 May), 17 (5): 445–449.
- Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured patient: a prospective outcome study. *Am J Sports Med*. (1994), 22: 632–644.
- Davies NH, Niall D, King LJ, Lavelle J, Healy JC. Magnetic resonance imaging of bone bruising in the acutely injured knee-short-term outcome. *Clin Radiol*. (2004 May), 59 (5): 439–445.
- DeHaven KE, Black KP, Griffiths HJ. Open meniscus repair. Technique and two to nine year results. *Am J Sports Med*. (1989), 17 (6): 788–795.
- DeHaven KE, Lohrer WA, Lovelock JE: Long term results of open meniscal repair. *Am J Sports Med*. (1995), 23: 524–530.
- Eggers AK, Becker C, Weimann A, Herbort M, Zantop T, Raschke MJ, Petersen W. Biomechanical evaluation of different fixation methods for tibial eminence fractures. *Am J Sports Med*. (2007), 35 (3): 404–410.
- Eggl S, Wegmüller H, Kosina J, Huckell C, Jakob RP: Long term results of arthroscopic meniscus repair. An analysis of isolated tears. *Am J Sports Med*. (1995), 23: 715–720.
- Fairbanks TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg* (1948), 30-B: 664–670.
- Fink C, Hoser C, Benedetto KP. Development of arthrosis after rupture of the anterior cruciate ligament: a comparison of surgical and conservative therapy. *Unfallchirurg*. (1994), 97: 357–361.
- Haas AL, Schepsis AA, Hornstein J, Edgar CM. Meniscal repair using the Fast-Fix all-inside meniscal repair device. *Arthroscopy*. (2005), 21 (2): 167–175.
- Harner CD, Janaushek MA, Kanamori A, Yagi M, Vogrin TM, Woo SL-Y (2000) Biomechanical analysis of a double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 28:144–151.
- Hertel P (1997) Tibiakopffrakturen. *Unfallchirurg* 100: 508–523.
- Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A. Classification of knee ligament instabilities. Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg Am* (1976), 58: 159–172.
- Jomha NM, Borton DC, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA. Long-term osteoarthritic changes in anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Clin Orthop Relat Res*. (1999), 358: 188–193.
- Jonsson H, Riklund-Ahlström K, Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthrosis: 63 patients followed 5–9 years after surgery. *Acta Orthop Scand*. (2004), 75 (5): 594–599.
- Jung TM, Lubowicki A, Wienand A, Wagner M, Weiler A. Knee Stability After Posterior Cruciate Ligament Reconstruction in Female Versus Male Patients: A Prospective Matched-Group Analysis. *Arthroscopy*. (2010 Epub Dec 17).
- Kanamori A, Sakane M, Zeminski J, Rudy TW, Woo SL. In-situ force in the medial and lateral structures of intact and ACL-deficient knees. *J Orthop Sci* (2000), 5: 567–571.
- Kobayashi S, Terayama K. Arthroscopic reduction and fixation of a completely displaced fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *Arthroscopy* (1994), 10: 231–235.
- Krüger-Franke M, Buchner M, Rosemeyer B. Mid-term outcome after surgically managed re-rupture of the anterior cruciate ligament]. *Unfallchirurg*. (1997 Apr), 100 (4): 274–279.
- Laprell H, Stein V, Petersen W: Arthroscopic all-inside meniscus repair using a new refixation device: a prospective study. *Arthroscopy* (2002), 18 (4): 387–393.
- Larson RL. Physical examination in the diagnosis of rotatory instability. *Clin Orthop Relat Res* (1983), 172: 38–44.
- Levy AS, Meier SW. Approach to cartilage injury in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Orthop Clin North Am*. (2003), 34: 149–157.
- Lipke JM, Janecki CJ, Nelson CL, McLeod P, Thompson C, Thompson J, Haynes DW. The role of incompetence of the anterior cruciate and lateral ligaments in anterolateral and anteromedial instability. A biomechanical study of cadaver knees. *J Bone Joint Surg Am* (1981), 63: 954–960.
- Lobenhoffer P, Gerich T, Bertram T, Lattermanns C, Pohlemann T, Tschorne H. Spezielle posteromediale und posterolaterale Zugänge zur Versorgung von Tibiakopffrakturen. *Unfallchirurg* (1997), 100: 957–967.
- Lubowitz JH, Elson WS, Guttman D. Part II: arthroscopic treatment of tibial plateau fractures: intercondylar eminence avulsion fractures. *Arthroscopy*. (2005 Jan), 21 (1): 86–92.
- Maffulli N, Binfield PM, King JB. Articular cartilage lesions in the symptomatic anterior cruciate ligament-deficient knee. *Arthroscopy*. (2003 Sep), 19 (7): 685–690.
- Mayr HO, Weig TG, Plitz W. Arthrofibrosis following ACL reconstruction-reasons and outcome. *Arch Orthop Trauma Surg*. (2004), 124 (8): 518–522.
- Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* (1970), 52: 1677.
- Moore TM (1981) Fracture-dislocation of the knee. *Clin Orthop Relat Res* 156: 128–140.
- Moore TM, Patzakis MJ, Harvey JP. Tibial plateau fractures: definition, demographics, treatment rationale, and long-term results of closed traction management or operative reduction. *J Orthop Trauma*. (1987), 1 (2): 97–119.
- Müller W (1982) [Das Knie. Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie.] Springer, Berlin.
- Nebelung W, Wuschech H. Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes. *Arthroscopy*. (2005 Jun), 21 (6): 696–702.
- Petersen W and Tillmann B (1998) Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anat Embryol* 197: 317–324.
- Petersen W, Loerch S, Schanz S, Raschke M, Zantop T. The role of the posterior oblique ligament in controlling posterior tibial translation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*. (2008 Mar), 36 (3): 495–501.
- 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.
- Petersen W, Tillmann B: Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anat Embryol* (1998), 197: 317–324.
- Petersen W, Tillmann B: Structure and vascularization of the knee joint menisci. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* (1999), 137 (1): 31–37.
- Petersen W, Zantop T. Avulsion injury to the posterior horn of the lateral meniscus. Technique for arthroscopic refixation]. *Unfallchirurg* (2006), 109 (11): 984–987.
- Petersen W, Zantop T, Raschke M. Tibiakopffrakturen. *Unfallchirurg*. (2006 Mar), 109 (3): 219–232.
- Petersen W, Zantop T. Arthroscopic meniscal suture. *Oper Orthop Traumatol*. (2006), 18 (5–6): 393–410.
- Petersen W, Zantop T. Arthroscopic reconstruction of the anterolateral bundle of the posterior cruciate ligament in single-bundle technique with autologous hamstring grafts]. *Oper Orthop Traumatol*. (2010 Oct), 22 (4): 354–372.
- Petersen W, Zantop T. Das vordere Kreuzband. *Deutscher Ärzteverlag Köln* (2009).
- Pujol N, Beaufils P. Healing results of meniscal tears left in situ during anterior cruciate ligament reconstruction: a review of clinical studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. (2009), 17 (4): 396–401.
- 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.
- Schulz MS, Russe K, Weiler A, Eichhorn HJ, Strobel MJ. Epidemiology of posterior cruciate ligament

- injuries. *Arch Orthop Trauma Surg.* (2003), 123 (4): 186–191.
- Shelbourne KD, Dickens JF. Joint space narrowing after partial medial meniscectomy in the anterior cruciate ligament-intact knee. *J Am Acad Orthop Surg.* (2007), 15 (9): 519–524.
- Shelbourne KD, Gray T. Results of anterior cruciate ligament reconstruction based on meniscus and articular cartilage status at the time of surgery. *Am J Sports Med.* (2000), 28: 446–452.
- Shelbourne KD, Jari S, Gray T. Outcome of untreated traumatic articular cartilage defects of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* (2003), 85 (suppl. 2): 8–16.
- Shelbourne KD, Stube KC. Anterior cruciate ligament (ACL)-deficient knee with degenerative arthrosis: treatment with an isolated autogenous patellar tendon ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (1997), 5: 150–156.
- Siebold R, Dehler C, Boes L, Ellermann A. Arthroscopic all-inside repair using the Meniscus Arrow: long-term clinical follow-up of 113 patients. *Arthroscopy.* (2007), 23 (4): 394–399.
- Slocum DB, Larson RL. Rotatory instability of the knee. Its pathogenesis and a clinical test to demonstrate its presence. *J Bone Joint Surg* (1968), 50: 211–225.
- Staubli HU, Birrer S. The popliteus tendon and its fascicles at the popliteal hiatus: gross anatomy and functional arthroscopic evaluation with and without anterior cruciate ligament deficiency. *Arthroscopy* (1990), 6: 209–220.
- Strobel M, Weiler A. Hinteres Kreuzband. Endo-Press, Tuttlingen.
- van Trommel MF, Simonian PT, Potter HG, Wickiewicz TL. Different regional healing rates with the outside-in technique for meniscal repair. *Am J Sports Med.* (1998), 26 (3): 446–452.
- Veth RPH: Clinical significance of knee joint changes after meniscectomy. *Clin Orth Rel Res* (1985), 198: 56–60.
- Warren RF: Arthroscopic meniscus repair. *Arthroscopy* (1985), 1: 170–172.
- Wind WM Jr, Bergfeld JA, Parker RD. Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries: revisited. *Am J Sports Med.* (2004 Oct–Nov), 32 (7): 1765–1775.
- Yüksel HY, Erkan S, Uzun M. The evaluation of intraarticular lesions accompanying ACL ruptures in military personnel who elected not to restrict their daily activities: the effect of age and time from injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* (2006), 14 (11): 1139–1147.
- Zantop T, Petersen W. Modified Larson technique for posterolateral corner reconstruction of the knee. *Oper Orthop Traumatol.* (2010 Oct), 22 (4): 373–386.
- Zantop T, Schumacher T, Diermann N, Schanz S, Raschke MJ, Petersen W. Anterolateral rotational knee instability: role of posterolateral structures. Winner of the AGA DonJoy Award 2006. *Arch Orthop Trauma Surg* (2007), 127 (9): 743–752.
- Zantop T, Schumacher T, Schanz S, Raschke MJ, Petersen W. Double-bundle reconstruction cannot restore intact knee kinematics in the ACL/LCL-deficient knee. *Arch Orthop Trauma Surg* (2010), 130: 1019–1026.
- Zariczyj B. Avulsion fracture of the tibial eminence: treatment by open reduction and pinning. *J Bone Joint Surg Am* (1977), 59: 1111–1114.

VORDERES KREUZBAND

REHABILITATION UND RÜCKKEHR ZUM SPORT NACH VKB-REKONSTRUKTION

Thore Zantop, Gerhard Bauer, Karl-Peter Benedetto, Matthias Buchner, Klaus Dann, Andree Ellermann, Martin Engelhardt, Jürgen Freiwald, Alli Gokeler, Thomas Jöllenbeck, Michael Krüger-Franke, Hermann Mayr, Oliver Miltner, Romain Seil, Holger Schmitt

Neben der operativen Stabilisation spielt die Rehabilitation vom Gelenk und gelenkumgreifender Muskulatur eine dominante Rolle zur Sicherung eines guten operativen Ergebnisses.

Vorweggestellt werden soll eine klare Definition der zurzeit häufig verwandten Rehabilitationskonzepte. Diese Konzepte basieren auf den wissenschaftlichen Arbeiten von Shelbourne und Mitarbeitern aus den 90er Jahren (Shelbourne und Nitz 1990, Shelbourne et al. 1991, Decarlo et al. 1992). Diese Autoren berichteten über die Erfolge ihres Rehabilitationsprotokolls zur Wiedererlangung des postoperativen vollen Bewegungsumfanges und der Muskelkraft. Die Autoren bezeichneten ihr Protokoll als „accelerated rehabilitation“. Eine sinngemäße Übersetzung in den deutschsprachigen Raum wäre der Terminus „beschleunigte Rehabilitation“ (Petersen und Zantop 2009). Der englische Fachbegriff sollte nicht mit einer „aggressiven Rehabilitation“ gleichgesetzt werden. Leider erfolgt dies durch falsche Interpretation und Zitierungen häufiger. Tatsächlich stellten Shelbourne und Nitz 1990 ein Konzept vor, das eine Vollbelastung und freie Beweglichkeit schon am ersten postoperativen Tag verfolgte (Shelbourne und Nitz 1990). Aus der geschichtlichen Entwicklung heraus stellt dieses Konzept einen großen Wendepunkt in der Rehabilitation dar, da die Konzepte vor dieser Zeit in erster Linie auf einer direkt postoperativen Gipsruhigstellung basierten

Im Rahmen dieses Kapitels wird auf einige Schwerpunkte der Rehabilitationsphasen eingegangen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass es zu dem Thema Fachliteratur und physiotherapeutische Spezialisten gibt. Aus diesem Grund zielt dieses Kapitel nicht darauf ab, alle Fragestellungen zur Nachbehandlung wissenschaftlich abzuhandeln. Die Rehabilitationsmaßnahmen werden auf individuelle Patientenfaktoren und assoziierte Verletzungen abgestimmt (Abb. 1).

Der Rehabilitationsverlauf kann in unterschiedliche Phasen eingeteilt werden (Abb. 2). Diese beginnen direkt postoperativ. Nach Datenlage der ACL Study Group wird die VKB Rekonstruktion überwiegend stationär durchgeführt (ACL Study Group Survey 2006).

➤ Merke ◀

Patienten können im Rahmen einer Rehabilitationsmaßnahme nicht in ein starres Schema gepresst werden. Die einzelnen Phasen und Schwerpunkte sind Patient für Patient festzulegen. Eine gute Kommunikation zwischen Operateur, Nachbehandler und Physiotherapeuten ist extrem hilfreich.

Abbildung 1
Individuelle Rehabilitation und Rehabilitationsschema.

Hauptziele der Rehabilitationsphasen

Phase I	Schwellungsreduktion
Phase II	Beweglichkeitssteigerung, Kräftigung
Phase III	Muskelkräftigung
Phase IV	Wiedereingliederung in den Sport

Abbildung 2
Hauptziele der einzelnen Rehabilitationsphasen.

Reduktion der postoperativen Schwellung (Phase 1)

Ziel der ersten Phase ist die postoperative Schwellungsreduktion und die Schaffung der Voraussetzung für schmerzfreie krankengymnastische Übungsbehandlungen. Auch hier müssen individuelle Patientenfaktoren berücksichtigt werden. Insbesondere assoziierte Verletzungen und operative Maßnahmen (weiter ligamentäre Instabilitäten, Mikrofrakturierung, Meniskusrefixation) sowie der präoperative Schwellungszustand sollten in die Häufigkeit und

Individuelle Patientenfaktoren

Assoziierte Verletzungen und operative Maßnahmen	Mikrofrakturierung, Meniskusrefixation, ggf. HTO, M-ACT
Transplantatwahl	Hamstrings, Patellarsehne, Quadrizepssehne, Allograft
Patientenalter	Rekonstruktion beim Kind, beim älteren Patienten
Berufliche Aktivität	Professioneller Sportler, Kniestabilitätsvoraussetzende Berufe (Dachdecker, ...)
Motivation	Zu ehrgeizig/ungeduldig, phlegmatisch/antriebslos
Fixationstechnik	Gelenkfern, gelenknah, intermediär
Bindegewebszustand	Hyperlaxizität, Tendenz zur überschießenden Keloidbildung

Abbildung 3
Individuelle Patientenfaktoren und Beeinflussung der Rehabilitationsgeschwindigkeit.

Art der rehabilitativen Maßnahmen einspielen (Abb. 3). In dieser Phase wird eine Teilbelastung (Jorgensen et al. 1995) mit leitlinienkonformer Thromboseprophylaxe durchgeführt.

Zur Schwellungsreduktion sollte frühzeitig mit der Initiierung von Lymphdrainage begonnen werden. Auch nach Beendigung des stationären Aufenthaltes wird diese fortgesetzt.



Abbildung 4
Direkt postoperativ durchgeführte Cryotherapie nach VKB-Rekonstruktion.

Ein additiver Effekt wird durch cryotherapeutische Maßnahmen erreicht (Konrath et al. 1996). Diese werden ebenfalls frühzeitig initiiert, teilweise bereits im OP nach Wundverband (Abb. 4). Bei Bestimmung der intra-artikulären Temperatur mittels implantierter Temperatursonden konnte bei der Anwendung von Cryotherapie eine signifikante Reduktion der Temperatur und ein positiver Einfluss auf die Schmerztherapie gezeigt werden (Glenn et al. 2004). Bei der Applikation sollte darauf geachtet werden, dass ein direkter Hautkontakt allenfalls nur kurzzeitig besteht (z. B. im Rahmen von Querfriktionsmaßnahmen). Bei längerer Cryotherapie sollte der direkte Hautkontakt vermieden werden. Zeitgleich sollte eine Kompression erfolgen, um einen Kombinationseffekt zu erzielen. Ein positiver Effekt von intermittierender Kälte ist 48–72 Stunden postoperativ zu erwarten.

Isometrische Anspannungsübungen werden im Sinne einer offenen Kette durchgeführt. Durch die Kontraktion des M. vastus medialis obliquus wird die Schwellung im muskulären Gewebe abtransportiert (Abb. 5). Auch im Gelenk kommt es bei isometrischer Anspannung durch die Kontraktion des M. vastus medialis zum Auspressen des Rezzus suprapatellaris und somit einem Herausdrücken der Flüssigkeit (Flüssigkeitsfluss in der Redondrainage). Vorteil der isometrischen Anspannungsübungen ist eine sichere Kniegelenkposition in der die Spannung im VKB-Transplantat nicht massiv ansteigt. Eine Elektrostimulation zeigt positive Effekte zum Verhindern einer ausgeprägten Atrophie des M. vastus medialis (Abb. 6) (Snyder-Mackler et al. 1991). Das Hauptaugenmerk der physiotherapeutischen Übungsbehandlungen sind Patellamobilisationsübungen zum Erhalt der Beweglichkeit im Patellofemoralgelenk und Gangschulung mit Unterarmgehstützen.



Abbildung 5

Isometrische Anspannungsübungen zur Kräftigung des Musculus vastus medialis (Pars obliquus). Übungen aus der Flexion in die Extension können diesen Muskel nicht ausreichend aktivieren.

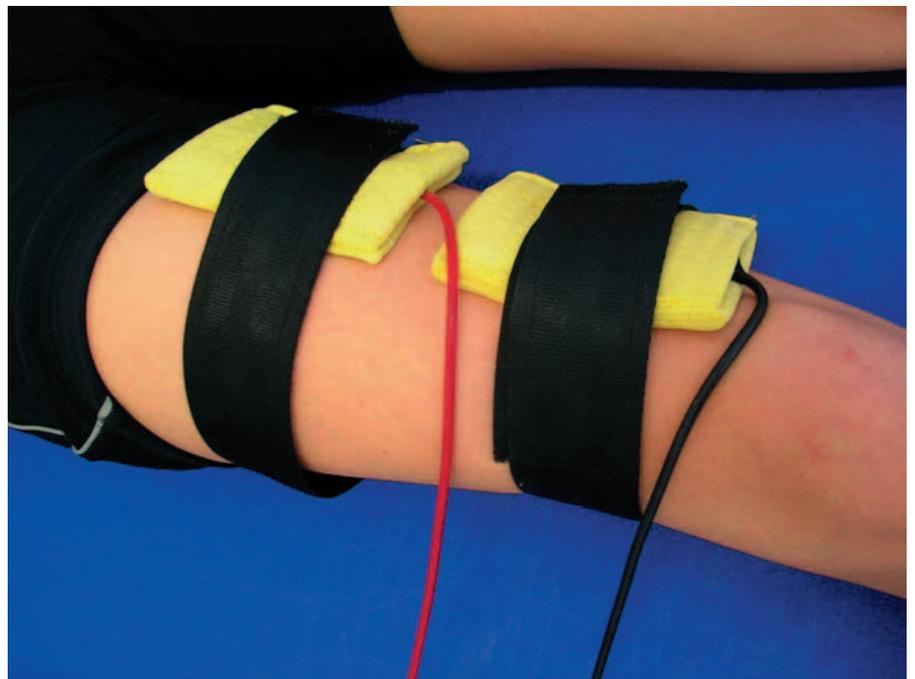


Abbildung 6:

Elektrostimulation zur postoperativen funktionellen elektrischen Stimulation (FES) des M. quadrizeps.

Steigerung der Beweglichkeit und Kräftigung (Phase II)

In der zweiten Phase sollte die Beweglichkeitssteigerung im Vordergrund stehen. Nach der initialen Ruhigstellung des operierten Kniegelenkes mit Hilfe einer Immobilisationsorthese (Phase 1, siehe Abb. 4) folgt nach Abschwellung die Beweglichkeitssteigerung mit Hilfe von passiven Bewegungsschienen (continuous passive motion, CPM-Schienen) oder aktiven Bewegungsschienen (Abb. 7, 8) (Rosen et al. 1992). Die Notwendigkeit einer beweglichen Orthesenbehandlung und somit externe Stabilisation wird kontrovers diskutiert. Während die assoziierten therapeutischen Maßnahmen (z. B. Meniskusrefixation), Begleitinstabilitäten (MCL-Distorsion bei operativer Versorgung im akuten Stadium) und Versorgung von kindlichen Rupturen sichere Kriterien zum Einsatz einer beweglichen Orthese sind, ist die wissenschaftliche Lage bei Rekonstruktion einer isolierten VKB-Ruptur nicht geklärt. Auch in der Frage der Notwendigkeit der Bewegungslimitation bei Ortheseneinsatz nach isolierter VKB-Rekonstruktion kann keine Empfehlung gegeben werden. Allerdings kann eine höhergradige Limitation der Extension zu einem postoperativen Streckdefizit führen und ist unter dem Gesichtspunkt der Arthrofibroseprophylaxe zu vermeiden. Eine Hyperextension sollte aufgrund der Spannungssteigerung des Transplantates bei einem Anstoßen an die Linea interkondylaris ausbleiben. Mit diesen Vorgaben lässt sich nach ca. 2 Wochen die freie Extension, nach 2–4 Wochen eine Flexion von 90° und nach 6 Wochen eine Flexion von 120° erreichen (Abb. 9). Ein weiteres Ziel dieser Phase ist die Kräftigung der kniegelenkumgreifenden Muskulatur. Hier sollten die isometrischen Anspannungsübungen



Abbildung 7:
Beispiel einer Continuous passive motion (CPM)-Schiene zur Steigerung der Beweglichkeit postoperativ. Diese kann früh in den Rehabilitationsplan eingebunden werden.



Abbildung 8:
Beispiel einer aktiven Bewegungsschiene zur Steigerung der postoperativen Beweglichkeit.

Häufiger postoperativer Bewegungsumfang

Freie Extension	nach ca. 2 Wochen
90°-Flexion	nach ca. 2–4 Wochen
120°-Flexion	ab ca. 6. Woche

Abbildung 9:
Häufiger Verlauf des postoperativen Bewegungsmaßes.

fortgeführt werden. Ein Krafttraining aus der tiefen Flexionsstellung insbesondere in der offenen Kette sollte zunächst vermieden werden. Zur Reduktion der auf das Transplantat einwirkenden Kräfte können die Bewegungen in extensionsnaher Stellung (ggf. mit leichten Gewichten) durchgeführt werden (Abb. 10).

Muskelkräftigung (Phase III)

Am Übergang zur Phase der Muskelkräftigung steht die Intensivierung und Belastungssteigerung der Anspannungsübungen. Diese können auch mit Flexions-/Extensionsübungen und Gewichten kombiniert werden (Abb. 11).

In dieser Phase gilt es prinzipiell zwischen 2 unterschiedlichen Kräftigungsformen zu unterscheiden. Ist der Fuß *ohne* Bodenkontakt bei der Durchführung der Übungen, bildet er das Ende der Bewegungskette. Diese Bewegungskette wird dann als „offene Kette“ (open chain exercises) bezeichnet. Übungen in der offenen Kette zeichnen sich dadurch aus, dass die Krafteinwirkung direkt auf das Knie und somit auch auf das Transplantat übertragen wird. Ein typisches Beispiel sind Übungen im Beincurler. Davon zu differenzieren

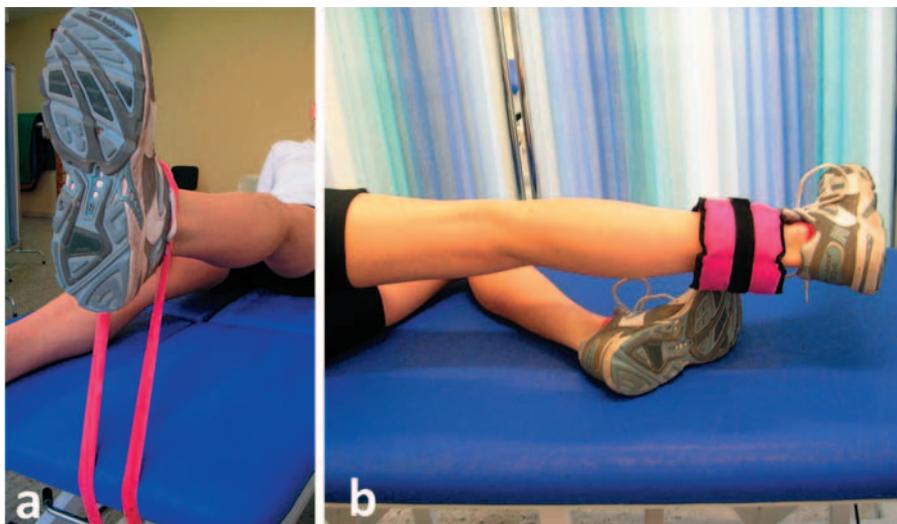


Abbildung 10:
Isometrische Anspannungsübungen mit gesteigerter Intensität. Neben Übungen in Rückenlage (a) können auch Übungen in Seitenlage durchgeführt werden (b).

sind Kräftigungsübungen, bei denen der Fuß *nicht* das Ende der Kette darstellt, sondern als Kraftüberträger an Fußboden, eine Kraftmaschine oder ähnliche Widerstände fungiert. Diese Bewegungskette wird folgerichtig als „geschlossene Kette“ (closed chain exercises) bezeichnet. Bei Übungen in der geschlossenen Kette werden die auf das Knie und somit auch auf das Transplantat einwirkenden Kräfte durch die Co-Kontraktion der kniegelenkumgreifenden Mus-

keln (Hamstrings, Bizeps, Quadrizeps) reduziert. Dadurch kommt es zu höheren tibiofemorale Kompressionskräften und geringeren Schubladenkräften und somit zu einer protektiven Wirkung für das VKB-Transplantat. Ein typisches Beispiel sind Übungen an einer Beinpresse (Abb. 12).

Theoretisch ist es sinnvoll, zunächst die Muskelkräftigungen in der geschlossenen Kette zu beginnen (Bynum et al. 1995). Im weiteren

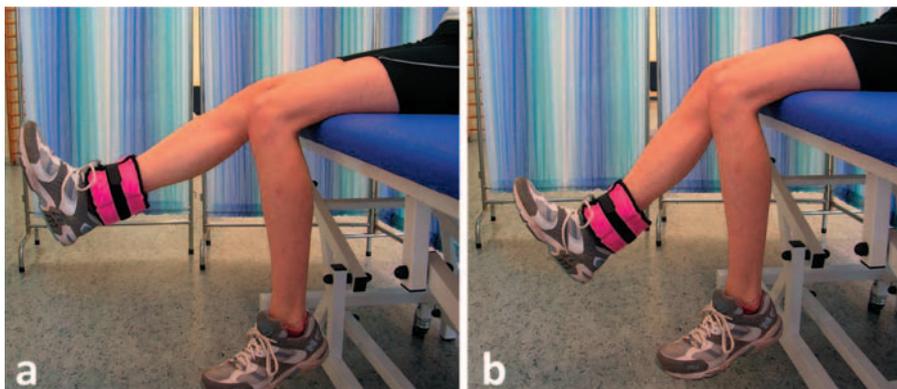


Abbildung 11:
Erste Übungen mit Flexions-/Extensionsbewegungen. Diese werden mit einer geringen Gewichtbelastung und hoher Wiederholungszahl zwischen extensionsnaher und Flexionsstellung (b) durchgeführt.



Abbildung 12:
Beispiel einer Kräftigung in der geschlossenen Kette. Bei Übungen in der Beinpresse wird das Körpergewicht durch Sprunggelenk, Kniegelenk und Hüfte übertragen. Durch die Co-Kontraktion von Quadrizeps und ischiokruraler Muskulatur werden die auf das Transplantat einwirkenden Kräfte reduziert.

Verlauf scheint die Kombination von geschlossener und offener Kette eine sinnvolle Ergänzung der Rehabilitation zu ergeben. Mickelsen et al. berichten über eine frühere Rückkehr zur sportlichen Aktivität bei Patienten, die ein gemischtes Rehabilitationsprogramm mit Übungen der offenen und geschlossenen Kette durchliefen, im Vergleich zu Patienten, die Übungen nur in der geschlossenen Kette durchführten (Mickelsen et al. 2000).



Abbildung 13:
Beispiel sensomotorischer Übungen. Im Einbeinstand kann mit Hilfe unterschiedlicher Therapiekreisel die postoperative Propriozeption trainiert werden. Erschwerend ist zusätzlich die Kombination von Wurf- oder Passübungen der oberen Extremität (Handball, Volleyball).

Zusätzlich zu Kräftigungsübungen sollte auch ein Schwerpunkt auf die intramuskuläre Kontraktionsfähigkeit gelegt werden (Abb. 13). Der Patient versucht zunächst auf dem Therapiekreisel die Balance zu halten und somit die Koordination der Muskulatur zu verbessern (Noyes et al. 1985). Im weiteren Verlauf können dann sportartspezifische Übungen durchgeführt werden.

Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität (Phase IV)

Die Frage des Zeitpunktes der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität ist neben der Rehabilitation auch von weiteren Faktoren abhängig (Petersen und Zantop 2009, Snyder-Mackler et al. 1995, Myklebust et al. 2003, 2005). Beispiele hierfür sind hoher Druck des Sportlers aufgrund der Tabellensituation, der Mitspieler, der Vertragssituation und nicht zuletzt der Einfluss des Trainers. Zusätzlich kommen noch Einflussmöglichkeiten der Medien und ggf. der Eltern hinzu. Alle diese Faktoren können auf einen möglichst frühen Zeitpunkt zur Wiederaufnahme des Wettkampfsportes drängen. Allerdings wird die Entscheidung, ob und wann die sportliche Aktivität nach VKB-Rekonstruktion wieder aufgenommen wird, vom Mediziner gefällt (Abb. 14). Der Zeitraum, bis

► Merke ◀

Die Entscheidung zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität ist eine medizinische Fragestellung. Diese sollte von Ärzten und Physiotherapeuten aus medizinischer Sicht beantwortet werden.

Abbildung 14:
Die Möglichkeit der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität ist eine ärztliche Entscheidung.

der Patient seine sportliche Aktivität erneut beginnen kann, unterliegt sportartspezifischen Unterschieden (Abb. 15). Auch die differenzierte Entscheidungsfindung und die Unterschiede zwischen Freizeitsportler und professionellem Sportler müssen beachtet werden. Da der durch den gesetzlichen Kostenträger finanzierte Rehabilitationsaufwand nicht ausreichend ist, erscheint es sinnvoll, die Patienten zu motivieren, in Eigenregie die Rehabilitation fortzuführen.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist keine wissenschaftlich begründete Zeitangabe zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität anzugeben. Von vielen Operateuren wird einer Aufnahme von nicht pivotierenden Sportarten wie Laufen und Schwimmen nach einem Zeitraum von 10–12 Wochen zugestimmt. Für pivotierende Sportarten wird abhängig vom Erfolg der muskulären und propriozeptiven Rehabilitationsmaßnahmen ein Zeitraum von 6–12 Monaten angesehen. Neben der absoluten Zeit als Faktor zur Wiederaufnahme des Sports scheinen jedoch auch andere Faktoren mindestens genauso bedeutend zu sein (Petersen et al. 2005). Zur Wiedereingliederung in das Wettkampfgeschehen sollte der Sportler mit sportartspezifischen Übungen vorbereitet werden. Bei Sprungsportarten kann eine Bewegungsanalyse durchgeführt werden (Abb. 16). Zusätzlich werden die sportartspezifischen propriozeptiven Übungen auf dem Therapiekreisel intensiviert (Abb. 17). Eine frühe Integration von Übungen, die den Ball mit einbeziehen, kann die Akzeptanz des Sportlers erhöhen und zu einer Motivationssteigerung führen.

Obwohl sich (berufsgruppenunabhängig) alle an der Rehabilitation beteiligten Personen einig sind, dass die Strategien zum langsamen Heranführen an die sportliche Akti-



Abbildung 15:
 Beispiel von unterschiedlichen kniegelenkbelastenden Sportarten. Die individuellen Ansprüche an das postoperative Kniegelenk beim Kitesurfen (a) und Beachvolleyball (b, Foto: FIVB) unterscheiden sich deutlich. Aus diesem Grund sollte auch die letzte Phase der Rehabilitation auf den ausgeübten Sport angepasst werden.

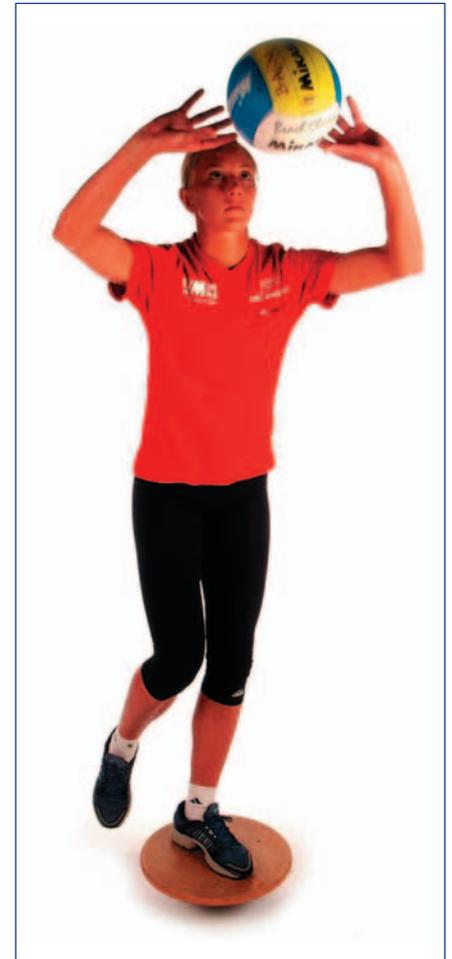


Abbildung 17:
 Volleyball spezifische sensomotorische Übungen auf einem Therapiekreisel.

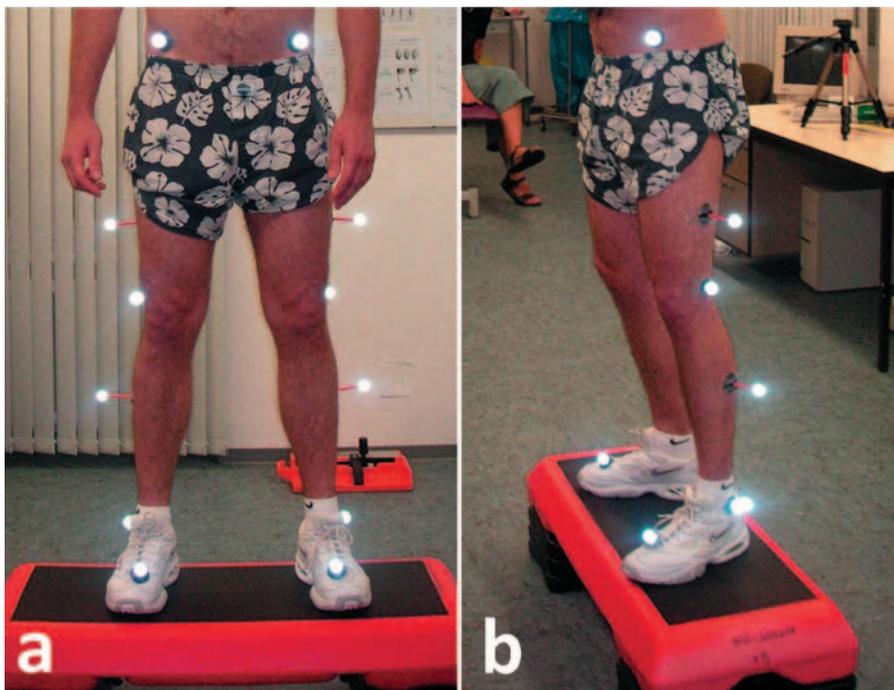


Abbildung 16:
 Sprunganalyse zur Analyse des individuellen Sprungverhaltens der postoperativen und der gesunden Seite. Anhand der Analyse können Seitenunterschiede sicher bestimmt werden.

vität sinnvoll erscheinen, so besteht trotzdem eine Diskrepanz oder gar ein Leerraum, wenn es um die Darstellung objektiver Daten zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität geht. Da es sich bei diesen Fragestellungen aufgrund der wissenschaftlichen Datenlage häufig um Expertenmeinungen handelt, ist von der GOTS-Expertengruppe versucht worden, einige Voraussetzungen herauszufiltern, die erfüllt werden sollten, um den Patienten in den Sport zurückzuführen (Abb. 18). Die Kriterien können keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Die

Voraussetzungen zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität (Level I Sport)

Objektive und subjektive Stabilität
Frühestens 6 Monate nach operativer Versorgung
Keine Unsicherheit im Rahmen der bisherigen sportlichen Aktivität
Keine Reizzustände unter der bisherigen sportlichen Aktivität
Annähernd freie seitgleiche Beweglichkeit mit freier Extension
Angstfreiheit
Funktions tests empfehlenswert: Sprungsymmetrie, Single leg hop Test, Dauersprungtest, Drop jump

Abbildung 18: Voraussetzungen zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität

Wiederaufnahme des Wettkampfsportes sollte frühestens 6 Monate nach operativer Versorgung erfolgen. Im Rahmen der vorher durchgeführten sportlichen Aktivitäten bei den Rehabilitationsmaßnahmen darf kein Unsicherheitsgefühl mehr be-

stehen. Auch sollten diese Aktivitäten nicht mehr zu Reizzuständen führen. Nur bei Angstfreiheit erscheint eine Rückkehr sinnvoll. Zudem müssen die Kriterien der objektiven (KT 1000) und subjektiven Stabilität erfüllt sein. Die Extension

auf der postoperativen Seite muss frei sein (0° , bei kontralateraler Hyperextension sollte diese auf der postoperativen Seite nicht angestrebt werden) und die Beweglichkeit sollte seitengleich frei sein. In Anlehnung an die Indikationsstellung (siehe Kapitel Indikation) scheint die funktionelle Stabilität des Kniegelenkes eine der wichtigsten Parameter der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität zu sein. Diese kann mit hoher wissenschaftlicher Präzision und Reproduzierbarkeit im Rahmen der Bewegungsanalyse und Leistungsdiagnostik erfasst werden.

Allerdings sind diese Methoden im klinischen Alltag schwer zu realisieren. Aus diesem Grund können sich

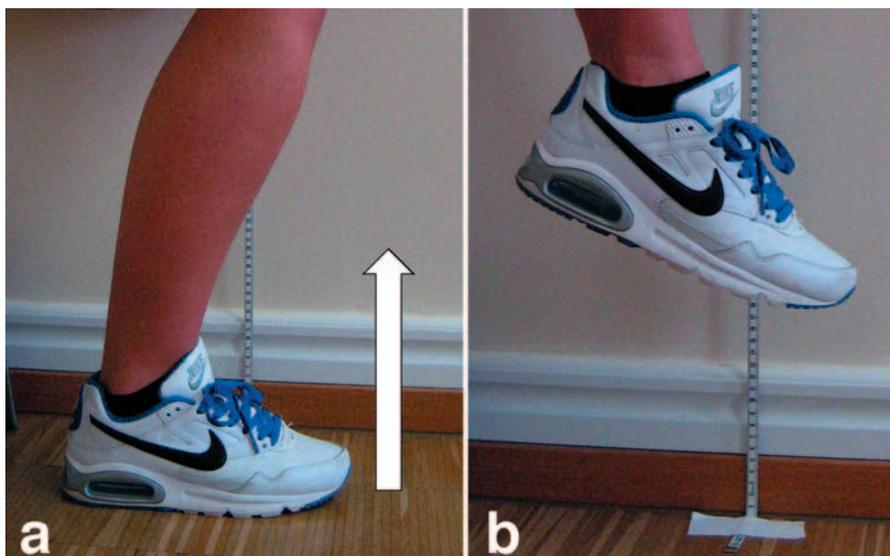


Abbildung 19: Vertikaler Sprungtest. Der Sportler soll mit demselben Bein abspringen (a) und landen. Zur exakten Bestimmung der Höhe (b) kann eine spezifische Apparatur hilfreich sein (Messung der Sprungzeit und Geschwindigkeit zur Berechnung der Höhe). Anschließend wird der Test mit der kontralateralen Seite durchgeführt und die Sprunghöhe mit dem postoperativen und intakten Bein in Prozenten ausgedrückt.

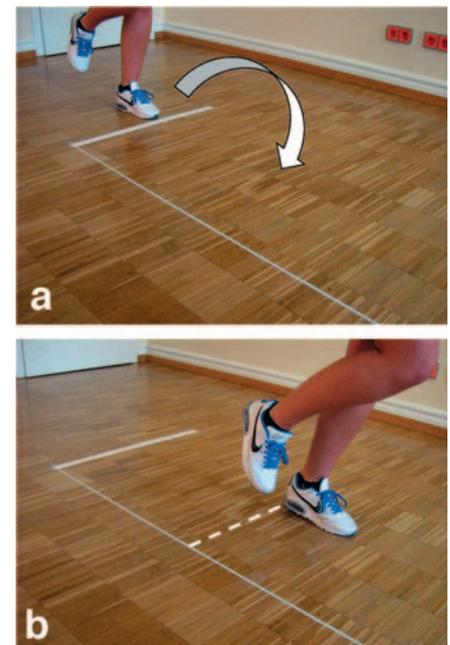


Abbildung 20: Horizontaler Sprungtest. Die Hände werden beim Absprung hinter dem Rücken gehalten. Eine Schwungphase mit dem kontralateralen Bein kann durchgeführt werden (a). Nach dem Landen mit demselben Bein dürfen keine Extrasprünge durchgeführt werden, um die Balance zu halten (b). Die Länge wird vom Zeh beim Absprung bis zur Hacke nach Landung gemessen. Vergleich zur Länge der Gegenseite in Prozent.

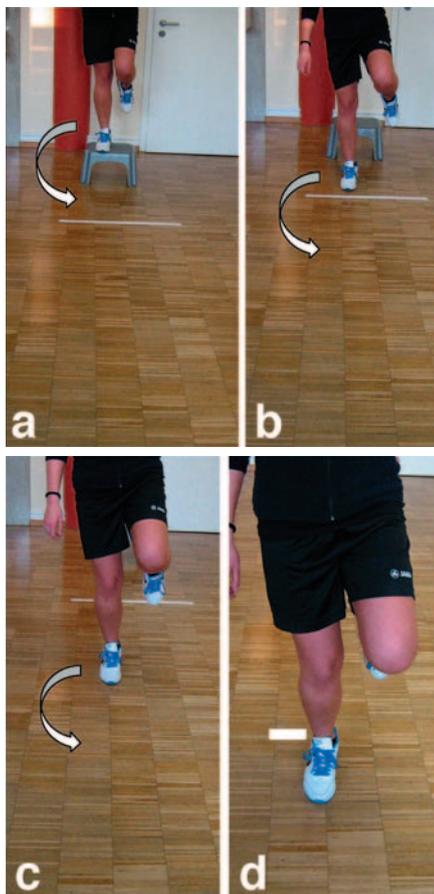


Abbildung 21:

Beispiel des sogenannten „Drop jump“ Tests. Der Sportler steht auf einer ca. 30 cm hohen Kiste (a) und führt einen einbeinigen Sprung durch, der die in 45 cm Abstand gezogene Linie nicht überschreiten darf (b). Anschließend werden zwei einbeinige Sprünge mit maximaler Weite durchgeführt (c). Nach dem Landen dürfen keine Extrasprünge durchgeführt werden. Die Länge wird von der Startlinie bis zur Hacke nach dem letzten Landen bestimmt (d).

Sprungtests anbieten, die Rückschlüsse auf die funktionelle Stabilität und die Rehabilitation des verletzten Kniegelenkes erlauben (Abb. 18). In diesem Zusammenhang muss auch die Ermüdung des Sportlers mit einberechnet werden. Als funktionelle Tests bieten sich die vertikale Sprungsymmetrie, der Ein-Bein-Sprungtest und der Dauersprungtest an (Gustavsson et al 2006). Beim vertikalen Sprungtest handelt es sich

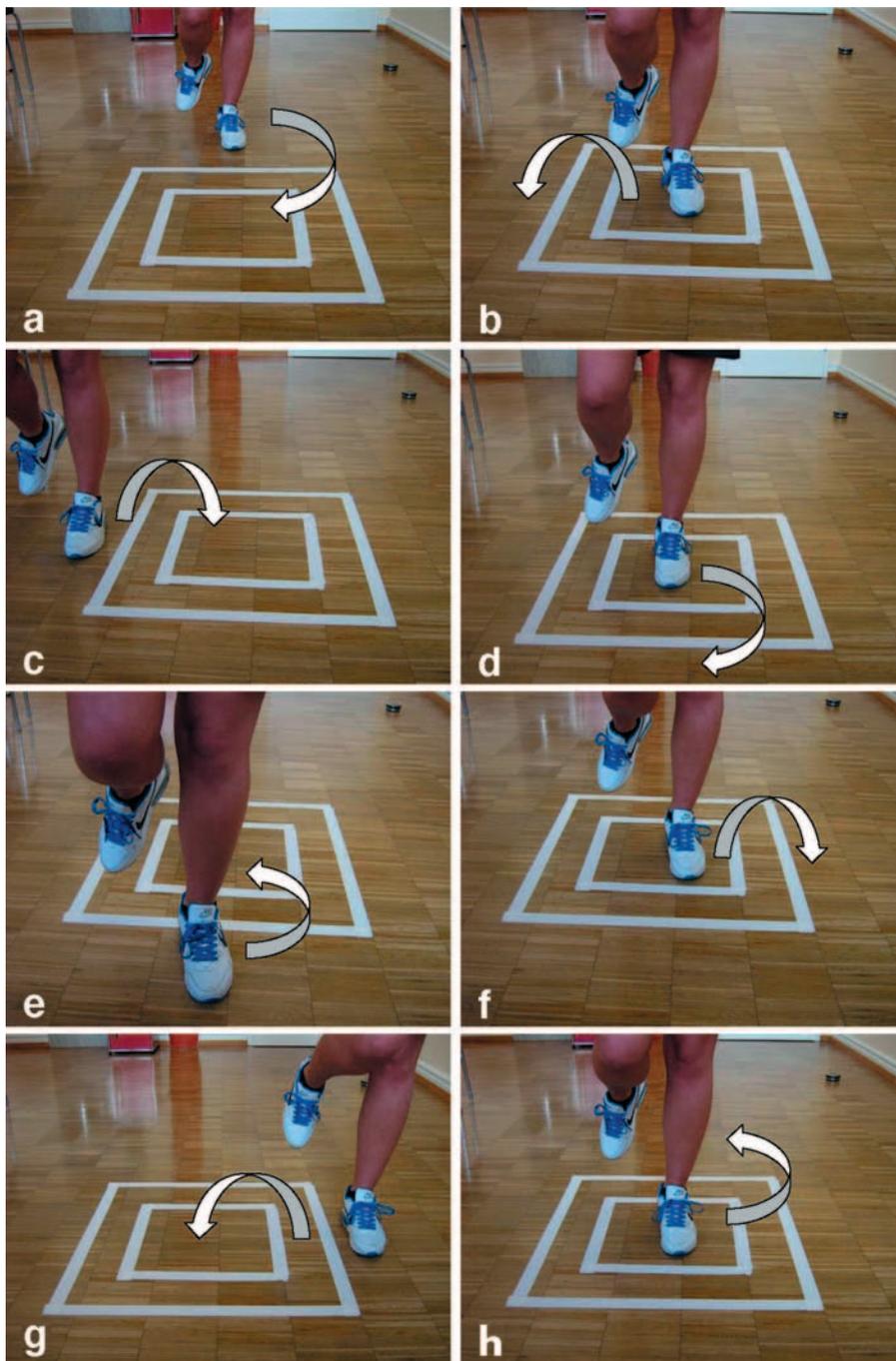


Abbildung 22:

Beispiel der Durchführung des Quadratsprungtests. Mit dem linken Bein wird entgegen dem Uhrzeigersinn gesprungen (a–h). Sprünge in das Quadrat hinein und heraus werden dann gezählt, wenn sie den 10 cm Abstandsrahmen überspringen und die Linien nicht berührt werden. Die Anzahl der Sprünge innerhalb von 30 sec wird zur Gegenseite verglichen.

um den Vergleich der Sprunghöhe bei einbeinigen Vertikalsprüngen (intaktes vs. postoperatives Bein) (Abb.

19). Der Ein-Bein-Sprungtest evaluiert in vergleichbarer Weise die horizontale Sprungleistung beim Ab-

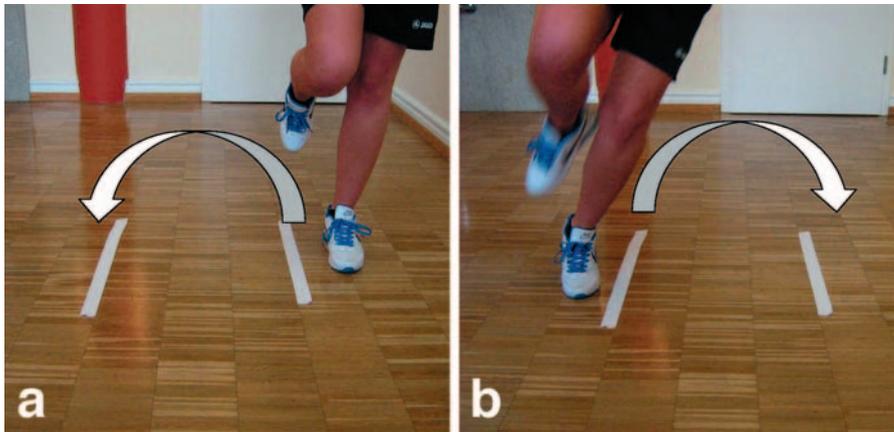


Abbildung 23:
Beispiel der Durchführung des Seitsprungtest. Die Anzahl der einbeinigen Sprünge in 30 sec zwischen zwei 40 cm voneinander entfernten Linien werden zur Gegenseite verglichen.

springen und Landen mit derselben Extremität (postoperativ vs. intakt) (Abb. 20). Dauersprungtests beinhalten den Einfluss einer Ermüdung der Muskulatur. Als Beispiel können hier der sogenannte „Drop jump“, Quadratsprungtest und Seitsprungtest durchgeführt werden. Beim „Drop jump“ steht der Sportler auf einer 30 cm hohen Kiste und führt nach dem einbeinigen Landen zwei einbeinige Sprünge mit maximaler Weite durch (Abb. 21). Diese erfolgen mit demselben Bein, welches auch zur Landung des Sprunges von der Kiste genutzt wurde, und der Vergleich erfolgt zwischen postoperativem und intaktem Bein. Beim Quadratsprungtest wird ein 40 × 40 cm großes Quadrat mit einer Rahmenstärke von 10 cm (zweite Linie 10 cm von der ersten entfernt) auf dem Fussboden markiert (Östenberg et al. 1998, Gustavsson et al. 2006, Abb. 22). Der Sportler soll nun in einer Zeit von 30 sec so häufig wie möglich in einer bestimmten Reihenfolge (rechtes Bein: Uhrzeigersinn, links: entgegen dem Uhrzeigersinn) in das Quadrat hinein und wieder herauspringen. Beim Seitsprungtest werden einbeinige Sprünge zwischen zwei ca. 40 cm voneinander

entfernten Linien durchgeführt und die Anzahl der Sprünge verglichen (postoperatives vs. intaktes Bein) (Itoh et al. 1998, Gustavsson et al. 2006, Abb. 23). Gustavsson et al. evaluierten die Reliabilität dieser Testreihe und konnten eine gute Unterscheidungsmöglichkeit zwischen verletzter und nicht verletzter Seite bei Patienten mit VKB-Ruptur oder nach VKB-Rekonstruktion zeigen (Gustavsson et al. 2006). Diese Tests scheinen vergleichbar einfach durchzuführen zu sein und können als Grundlage für das Zurückführen des Sportlers in die Wettkampfphase genutzt werden. Allerdings muss bei der Diskussion beachtet werden, dass es sich um den Anfang der wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema handelt. Eine Empfehlung der Expertenkommission oder gar absolute Zahlwerte ab wann der Sportler spielen darf oder zu pausieren hat, kann aus diesem Grund nicht gegeben werden. Die GOTS befasst sich intensiv mit der Frage zum sinnvollen Zeitpunkt der Wiederaufnahme des Freizeit- und Wettkampfsportes nach VKB-Rekonstruktion. Aktualisierte Übersichten werden im Rahmen des Jahreskongresses der GOTS gegeben.

Literatur

- Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 401–406.
- Decarlo MS, Shelbourne KD, McCarroll JR, Rettig AC. Traditional versus Accelerated Rehabilitation following ACL Reconstruction: A One-Year Follow-Up. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1992; 15(6): 309–316.
- Glenn RE Jr, Spindler KP, Warren TA, McCarty EC, Secic M. Cryotherapy decreases intraarticular temperature after ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 2004 Apr; (421): 268–272.
- Gustavsson A, Neeter C, Thomee P, Silbernagel KG, Augustsson J, Thomee R, Karlsson J (2006). A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14: 778–788.
- Itoh H, Kurosaka M, Yoshiya S, Ichihashi N, Mizuno K (1998) Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6: 241–245.
- Jorgensen U, Jensen CM, Scavenius M, et al. Rehabilitation with or without initial weightbearing. A prospective randomized study. *Proceedings of Sports Medicine 2000, Stockholm Sweden, June 68th, pp. 76, 1995.*
- Konrath GA, Lock T, Goitz HT, Scheidler J. The use of cold therapy after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized study and literature review. *Am J Sports Med.* 1996 Sep–Oct; 24(5): 629–633.
- Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports. A prospective matched follow up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000; 8: 337–342.
- Myklebust G and Bahr R. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br. J. Sports Med.* 2005; 39: 127–131,
- Myklebust G, Bahr R, Engebretsen L, et al. Clinical, functional and radiological outcome 6–11 years after ACL injuries in team handball players: a follow-up study. *Am J Sports Med* 2003; 31: 981–989.
- Noyes FR, Mangine RE, Barber S. Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1987; 15: 149–160.
- Östenberg A, Roos E, Ekdahl C, Roos H (1998) Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 8: 257–264.

- Petersen W, Braun C, Bock W, Schmidt K, Weimann A, Drescher W, Eiling E, Stange R, Fuchs T, Hedderich J, Zantop T. A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005; 125(9): 614–621.
- Petersen W, Zantop T (2009). *Das vordere Kreuzband.* Deutscher Ärzteverlag, Köln.
- Petersen W, Zantop T, Steensen M, Hypa A, Wesolowski T, Hassenpflug J. Prevention of lower extremity injuries in handball: initial results of the handball injuries prevention programme. *Sportverletz Sportschaden.* 2002; 16(3): 122–126.
- Rosen MA, Jackson DW, Atwell EA. The efficacy of continuous passive motion in the rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1992; 20: 122–127.
- Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after ACL reconstruction. *Am J Sports Med.* 1990; 18: 292–299.
- Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M. Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. *Am J Sports Med.* 1991; 19(4): 332–336.
- Siegel MG, Barber-Westin SD. Arthroscopic-assisted outpatient anterior cruciate ligament reconstruction using the semitendinosus and gracilis tendons. *Arthroscopy* 1998; 14: 268–277 .
- Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, et al: Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg.* 1995; 77A: 1166–1173.
- Snyder-Mackler L, Ladin Z, Schepsis AA, et al: Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament: Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstrings muscles on gait and strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg.* 1991; 73A: 1025–1036.

