

D. Kohn¹ · G. Schneider² · M. Dienst¹ · S. Rupp¹

¹ Orthopädische Klinik, Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg/Saar

² Radiologische Klinik, Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg/Saar

Diagnostik der Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Zusammenfassung

Die klinische Untersuchung des Kniegelenks hat zur Diagnostik von Band- und Meniskus-schäden nach wie vor ausschlaggebende Bedeutung. Nur die adäquate klinische Untersuchung ermöglicht einen rationellen Einsatz bildgebender Verfahren. Auch die einfache Röntgennativuntersuchung besitzt hohe Aussagekraft und unverändert großen Wert. Der größte Fortschritt wurde jedoch im vergangenen Jahrzehnt im Bereich der Kernspintomographie erzielt. Dem wird im vorliegenden Beitrag Rechnung getragen.

Schlüsselwörter

Vorderes Kreuzband · Knie · Lachman-Test · Magnetresonanztomographie

Anamnese

Nach Unfällen sind zunächst Zeitpunkt, Ort und Hergang zu erfragen. Bereits vor der ausführlichen Anamneseerhebung sollte geklärt werden, ob es sich um einen Arbeits- oder Wegeunfall handelt, da bei Anamnese und Untersuchung solcher Fälle die Formulare der Berufsgenossenschaften verwendet werden müssen, die sich verständlicherweise nur geringer Beliebtheit erfreuen. Es sollte geklärt werden ob die Art des Unfalls wirklich geeignet war, die vorliegende Verletzung zu verursachen oder ob es sich um eine Bagatellursache gehandelt hat bei vorgeschädigtem instabilem Kniegelenk. Zwar ist bei der Erstuntersuchung kein Platz für gutachterliche Fragen, andererseits kann oft von Anfang an die versicherungsrechtliche Situation in die richtige Richtung gelenkt und so eine spätere teurere, aufwändige Begutachtung vermieden werden. Der Verletzte muss nach Vorverletzungen am betroffenen Knie und nach Begleitverletzungen anderer Körperregionen gefragt werden.

Typische Unfallmechanismen sind das Flexions-Valgus-Außenrotationstrauma (Einfädelsturz an der Torstange beim Skifahrer) mit Zerreißen der medialen Kapsel-Band-Strukturen und des vorderen Kreuzbandes (VKB), das Flexion-Varus-Innenrotationstrauma (Überkreuzen der Skier) mit Verletzung der anterolateralen Kapsel-Band-Strukturen und des VKB, das Hyperextensionstrauma mit Verletzung des VKB (Sturz nach vorne ohne Auslösen des Fersenautomats), das Valgustrauma mit

Riss des Innenbandapparats (Gegenspieler fällt von außen gegen das gestreckte, feststehende Bein des Fußballers), sowie das Hyperflexionstrauma mit Verletzung der Meniskushinterhörner und des VKB.

Nach Zerreißen eines Kreuzbandes berichten einige Patienten spontan, dass sie ein „Plopp“ während des Unfalls gehört hätten. Eine rasch, also innerhalb 1–2 h nach dem Unfall einsetzende Knie-schwellung spricht für einen Hämarthros. Der Schmerz ist bei Bandverletzungen oft umgekehrt proportional zur Schwere der Verletzung. Dies bedeutet, dass ein gedehntes Band mehr schmerzt als ein abgerissenes.

Das Verhalten des Verletzten nach dem Unfall hilft bei der Einschätzung der Verletzungsschwere: Falls er nach dem Unfall noch mehrere Stunden Ski fahren konnte, muss an einer ausgedehnten Kapsel-Band-Ruptur gezweifelt werden. Schmerzen werden in der Regel über der Region der verletzten Kapsel-Band-Struktur angegeben. Bei der Angabe einer Streckhemmung ist zu klären, ob diese plötzlich auftrat oder sich allmählich entwickelt hat. Einklemmungen werden hauptsächlich von beschädigten Menisken, aber auch von freien Gelenkkörpern, von flottierenden Stümpfen eines gerissenen VKB, von hypertrophen synovialen Zotten oder von Teilen des Hoffa-

© Springer-Verlag 2002

Prof. Dr. D. Kohn
Orthopädische Klinik und Poliklinik,
Universitätskliniken des Saarlandes,
Kirrberger Straße, Geb. 37, 66421 Homburg/Saar
E-Mail: dieter.kohn@uniklinik-saarland.de

D. Kohn · G. Schneider · M. Dienst · S. Rupp

Diagnosis of anterior cruciate ligament rupture

Abstract

Clinical examination has remained the key for diagnosis of meniscal and ligament lesions of the knee. Economical use of imaging techniques is based on adequate clinical examination. Standard radiographic examination is still a simple and valuable method. Magnetic resonance tomography has made great progress during the past few decades. For this reason, this article centers on this imaging modality.

Keywords

Anterior cruciate ligament · Knee · Lachman test · Magnetic resonance imaging

Zum Thema: Vorderes Kreuzband

Kniefettkörpers, von Oberflächenläsionen des hyalinen Gelenkknorpels und von pathologisch veränderten Plicae verursacht. War das Kniegelenk nach VKB-Plastik zunächst voll streckbar und zeigt sich in den folgenden Wochen eine zunehmende Streckhemmung, kann ein Zykloppsyndrom, die Ausbildung eines Narbenknotens auf dem Bandersatzmaterial, als Ursache angenommen werden [13].

Vor der Beratung eines knieverletzten Patienten sind Berufs- und Freizeit-anamnese aufzunehmen, um so seine Erwartungshaltung in Bezug auf die Behandlung richtig einzustufen. Klagt der Patient über ein chronisches Unsicherheitsgefühl im Kniegelenk bzw. über wiederholtes Wegknicken oder unvermitteltes Nachgeben (giving way), handelt es sich entweder um ein patello-femorales Problem oder um eine Knieinstabilität infolge Bandinsuffizienz.

Für ein fehlendes VKB sind rezidivierende Episoden mit schmerzhafter Knie-subluxation jeweils gefolgt von Knieschwellung (Hämarthros) über einige Tage kennzeichnend. Instabile Kniegelenke nach VKB-Verlust machen besonders dann Probleme, wenn der Betroffene versucht aus vollem Lauf einen raschen Richtungswechsel durchzuführen [1]. Weitere Auslöser sind Drehbewegungen des Körpers über dem festgestellten Fuß wie z. B. beim Aussteigen aus einem PKW.

Bei Kindern steigt mit beginnender sportlicher Beanspruchung im Schulalter die Häufigkeit von Unfällen. Eine in den ersten Stunden nach Unfall auftretende Knieschwellung spricht auch beim Kind für das Vorliegen eines Hämarthros und beinhaltet die Notwendigkeit zur orthopädisch-traumatologischen Abklärung innerhalb weniger Tage [12]. Typische kindliche Verletzung ist der tibi-alseitige knöcherne VKB-Ausriss. Nach dem Unfall wird typischerweise über eine schmerzhaftige Streckhemmung geklagt.



Abb. 1 ▲ 45° Belastungsaufnahmen nach Rosenbergl. Nachweis einer medialen Gonarthrose mit Notcheingangsteophyten 4 Jahre nach Ruptur des VKB und arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion bei einem 27 Jahre alten Patienten

Klinische Untersuchung

Wegen des vorne und seitlich fehlenden Muskelmantels und der spärlichen Fettschicht sind die knöchernen Konturen eines unverletzten, gesunden Kniegelenks gut tastbar und teils sichtbar. Eine generalisierte Schwellung kann extraartikulär und/oder intraartikulär bedingt sein. Beim frisch verletzten Knie finden sich Schwellung und Hämatomverfärbung einerseits über der Anprallstelle, andererseits über verletzten Anteilen der Gelenkkapsel.

Akutes Trauma

Palpatorisch wird zunächst der Ort der Verletzung eingegrenzt. Anschließend soll der Patient das verunfallte Knie in dem ihm möglichen Bereich bewegen. Gelingt eine Beugung auf 90°, erfolgt die Betrachtung von der Seite als erste Beurteilung des hinteren Kreuzbandes (HKB, Schwerkrafttest). Bei Riss dieses Bandes hängt der Unterschenkel der Schwerkraft folgend nach hinten durch und seine von Patella, Lig. patellae und Tibia gebildete

Tabelle 1

Verletzung des medialen Kollateralbandes. (Nach [9])

Grad	Befund
I	Schmerz, fester Anschlag, Seitendifferenz <2 mm
II	Anschlag noch vorhanden, Seitendifferenz 3–5 mm
III	Kein Anschlag, Seitendifferenz >5 mm



Abb. 2a–c ▲ Anpassung der sagittalen Schnitte an den Verlauf des VKB im T1-gewichteten Bild. In einem sagittalen Schnitt, welcher das Band nur in Anteilen abbildet (a), werden Schichten senkrecht zum Verlauf des Bandes eingezeichnet. Das resultierende oblique koronare Bild (b) zeigt nun das Band bereits in seinem gesamten Verlauf, wobei bei erneuter Einzeichnung eines Schnittes senkrecht auf den Verlauf des Bandes ein optimal angepasstes sagittales Schnittbild resultiert (c)

vordere Kontur ist konkav [10]. Kontrahiert der Patient nun seinen Quadrizeps, wobei der Untersucher den Fuß auf der Unterlage fixiert, wandert der Tibiakopf in die Neutralstellung nach vorne (aktiver Quadrizepstest). Danach wird das Kniegelenk in 20° Beugung gebracht und der wichtigste Test zur Prüfung des VKB, der Lachman-Test, durchgeführt [32]. Der Lachman-Test ist positiv und spricht mit hoher Sicherheit für die Ruptur des VKB, wenn vom Untersucher das Anspannen des Bandes, der sog. Anschlag, nicht gefühlt werden kann. Der Test soll immer zuerst auf der unverletzten Seite ausgeführt werden. Bei sehr schmerzhaftem Gelenk oder sehr empfindlichem Patient kann alternativ der No-touch-Lachman-Test eingesetzt werden [7].

Ist die Verletzung durch ein Überkreuzen der Skier, also ein Flexions-Innenrotations-Trauma zustande gekommen, deutet der Druckschmerz an der Anterolateralkante des Tibiaplateaus auf das Vorliegen einer Ausrissverletzung des Tractus iliotibialis hin [25]. Die Pivot-shift-Tests haben in der Diagnostik des frisch verletzten Kniegelenks ohne Narkose wenig Sinn. Sie sind zu schmerzhaft und deshalb häufig falsch-negativ.

Nach der Beurteilung von HKB und VKB erfolgt die Überprüfung der Kollateralbänder durch seitliches Aufklappen des Kniegelenks in Streckung und in 20° Beugstellung. Eine Aufklappbarkeit in Streckung spricht für eine Schädigung der dorsalen Kapselhälfte. Innenbandverletzungen werden in 3 Grade eingeteilt (Tabelle 1), [9, 26]. Grad III entspricht einer vollständigen Ruptur.

Chronisch instabiles Knie

Während die Bewegung der Gelenkkörper beim aktiven Test (aktiver Quadrizepstest nach Daniel, No-touch-Lachman-Test, aktive Subluxation nach Shino) durch die Muskelkontraktion des Patienten erfolgt, übernimmt bei passiven Tests der Untersucher diese Aufgabe (Aufklapptests, Schubladentests, Lachman-Test, dynamische Subluxationstests, statische Subluxationstests).

Schubladentests sind Translations-tests und dienen primär der Beurteilung der Kreuzbänder. Die 90°-Schubladen werden zusätzlich in verschiedenen Rotationsstellungen des Unterschenkels durchgeführt. Dabei wird bei



Abb. 3 ▲ Typische Darstellung des intakten VKB im T1-gewichteten Bild mit erhöhtem Signal des posterolateralen Bandanteils

Außenrotation der mediale, bei Innenrotation der laterale Bandapparat zusammen mit den Kreuzbändern beurteilt [29].

Bei den dynamischen Subluxationstests verursacht die Muskulatur des Patienten bei den aktiven bzw. die Hand des Untersuchers bei den passiven eine Subluxation oder eine Reposition des Kniegelenks. Die dynamischen, passiven Subluxationstests sind auch als Pivot-shift-Tests bekannt. Der „pivot central“ ist der zentrale Stützpfeiler des Kniegelenks. „Pivot shift“ bedeutet ein ruckartiges Verrutschen dieses Pfeilers und damit des momentanen Kniedrehzentrums. Bei intaktem Innenband und intaktem Tractus iliotibialis ist ein positiver Pivot-shift-Test pathognomonisch für den Verlust des VKB.

Das Problem dieser Verfahren ist die muskuläre Gegenspannung des Patienten. Nur wenn diese unterbleibt ist der Test aussagekräftig. Damit sollten



Abb. 4 ▲ Fächerartige Aufzweigung und Interposition von Gewebe mit erhöhter Signalintensität im Bereich des tibialen Ansatzes eines intakten VKB im oblique koronaren T1-gewichteten Bild (Pfeil)

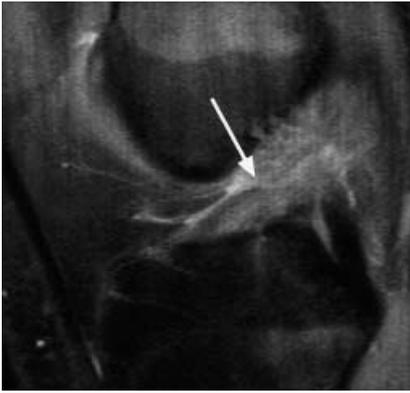


Abb. 5 ▲ T2-gewichtetes fett-supprimiertes Bild mit diffuser Signalintensitätsanhebung des VKB, wobei angedeutet der Bereich der akuten Ruptur (Pfeil) zu erkennen ist



Abb. 6 ▲ T2-gewichtetes fett-supprimiertes Bild einer interstitiellen Ruptur des VKB mit Signalintensitätserhöhung des Bandes und knöchernem Ödem im tibialen Ansatzbereich (Pfeile)



Abb. 7 ▲ Kontinuitätsunterbrechung des VKB (Pfeil) im T2-gewichteten fett-supprimierten Bild bei einem Patienten mit subakuter Kreuzbandruptur

die Pivot-shift-Tests Bestandteil der präoperativen Narkoseuntersuchung sein.

Bei Knieschwellung lässt sich durch Palpation eine Flüssigkeitsansammlung zumeist von einer Weichteilschwellung unterscheiden. Bei einer Kniefüllung ab 20 ml ist das Phänomen der tanzenden Patella auszulösen. Ist die Ursache der Ergussbildung unklar oder führt der Erguss an sich zu Beschwerden, sollte punktiert werden.

Röntgendiagnostik

Standardprojektionen

Zur orthopädisch-traumatologischen Erstuntersuchung des Kniegelenks gehören Röntgenbilder im a.-p.-, lateralen und axialen Strahlengang; a.-p.- und laterale Projektionen reichen nicht aus, um das klinisch wichtige Femoropatellargelenk ausreichend beurteilen zu können. Eine axiale Aufnahme ist daher den Standardprojektionen zuzurechnen, während alle anderen Einstellungen besonderen Fragestellungen vorbehalten sind.

Die a.-p.-Aufnahme gibt grundlegende Informationen zur Beurteilung des Femorotibialgelenks, des distalen Femurs und der proximalen Tibia, der Kreuzbandhöcker und des Fibulaköpfchens. Differenzialdiagnostische Bedeutung haben insbesondere freie Gelenkkörper, knöchernen Kapsel- und Bandarisse und Impressionen.

In der seitlichen Aufnahme lassen sich die ventral und dorsal gelegenen Strukturen des Kniegelenks überlagerungsfrei beurteilen. Entscheidende Be-

deutung hat die laterale Projektion für die Patellahöhenbestimmung. Von den zahlreichen Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe haben sich die Verfahren nach Caton, Insall-Salvati und Blumensaat bewährt [3, 30, 31]. Insbesondere bei noch wachsendem Skelett und entsprechender Anamnese sollte auf der Seitenaufnahme nach knöchernen Ausrisserverletzungen gesucht werden [21, 37]. Als Hinweis auf eine Fraktur mit Gelenkbeteiligung gilt der Lipohämarthros. Insbesondere in der Aufnahme in Rückenlage kommt dann eine charakteristische Zwei- oder Dreischichtigkeit zur Darstellung, die durch die unterschiedliche Dichte von Knochenmarkfett und Blut zu erklären ist. Das leichtere und strahlendurchlässigere Knochenmarkfett schwimmt auf dem Blut [37].

Für die technisch anspruchsvolle axiale oder tangentielle Darstellung des Femoropatellargelenks (FPG) werden unterschiedliche Einstellungen beschrieben [31]. Die verhältnismäßig einfache Einstelltechnik nach Merchant [23] hat sich im klinischen Gebrauch bewährt. Die Aufnahme wird in Rückenlage bei 45°-Kniebeugung unter Zuhilfenahme eines besonderen Lagerungsgestells durchgeführt.

Tunnelaufnahme

Besteht der Verdacht auf einen freien Gelenkkörper, einen knöchernen Ausriss oder chronische Insuffizienz des VKB, eine Osteochondrosis dissecans oder einen Morbus Ahlbäck, sollte die Tunnelaufnahme nach Frik angefertigt

werden. Eingesetzt wird sie außerdem zur präoperativen Planung einer Ersatzplastik des VKB. Je nach Ausmaß der Osteophytenbildung ist eine Erweiterung des Eingangs der Fossa intercondylaris (Notchplastik) erforderlich, um ein Impingement des Transplantats zu vermeiden [15].

Die Tunnelaufnahme gestattet eine überlagerungsfreie Beurteilung von Fossa intercondylaris (Notch), Eminencia intercondylaris sowie der dorsalen Femurkondylenanteile. Die deutliche Einkerbung unmittelbar kaudal des Epicondylus lateralis femoris bezeichnet den Ansatz der Sehne des M. popliteus am Femur.



Abb. 8 ▲ Wellige Kontur des VKB (Pfeil) im T1-gewichteten oblique-koronaren Bild als indirekter Hinweis auf eine subakute Kreuzbandruptur



Abb. 9 ▲ a T1-gewichtetes sagittales und b oblique koronares Bild einer chronischen Kreuzbandruptur, wobei nur noch narbiges Weichteilgewebe (Pfeile) ohne Abgrenzbarkeit des Bandes zu beobachten ist

Schrägaufnahmen

Bei unauffälligen Standardprojektionen, aber klinischem Verdacht auf eine ossäre Verletzung oder Osteodestruktion, zur Beurteilung des exakten Verlaufs von Frakturlinien, einer möglichen Depression der Gelenkfläche und des Ausmaßes der Fragmentdislokation können ergänzend Schrägprojektionen des Kniegelenks erforderlich werden [8].

Belastungsaufnahmen

Die Röntgenaufnahme unter Belastung bietet Informationen über die Dicke des Gelenkknorpels und über den Kapselband-Apparat. In der Ganzaufnahme bzw. Aufnahme im längeren Format

können ergänzend die Achsverhältnisse am Kniegelenk zw. der unteren Extremität beurteilt werden.

Beurteilung

Rosenberg et al. beschrieben 1988 [27], dass sie bei Arthroskopien immer wieder substantielle Knorpelschädigungen bei unauffälligen Standardaufnahmen feststellen mussten. Infolge der Beobachtung, dass solche Knorpeldefekte häufig im Bereich der Gelenkareale liegen, die zwischen 30°- und 60°-Beugung belastet werden, führten sie eine Aufnahmetechnik ein, welche sich in der klinischen Anwendung bewährt hat (Abb. 1). Als Normwert für die Gelenkspaltbreite werden 4 mm angegeben,

Verschmälerungen auf <2 mm gelten als sicherer Hinweis auf eine ausgeprägte Knorpeldegeneration [31].

Extensionsaufnahme in lateraler Projektion

Die laterale Projektion des Kniegelenks in maximaler Extensions- bzw. Hyperextensionsstellung findet ihre Anwendung insbesondere zur Begutachtung der Transplantatlage nach Kreuzbandplastik (Notch-Impingement) und zur Dokumentation eines Streckdefizits [21, 31].

Stressaufnahmen

Manuell oder apparativ gehaltene Aufnahmen im Seitenvergleich können für die Diagnosesicherung und Dokumentation bei sagittalen (Kreuzbänder) oder transversalen (Seitenbänder) Instabilitäten hilfreich sein [11, 31]. Relevant sind gehaltene Aufnahmen zur Beurteilung der Stabilität unverschobener Abrissfrakturen, zur Differenzierung Epiphysenlösung/Bandinstabilität am wachsenden Skelett und zur Dokumentation bei gutachterlichen Fragestellungen. Die klinische Untersuchung steht in der Diagnose einer Instabilität an erster Stelle und wird nur bei den genannten Indikationen durch Stressaufnahmen ergänzt.

Magnetresonanztomographie

Einstellungen, intaktes VKB

In der Diagnostik von VKB-Rupturen werden in der Literatur für die Magnet-

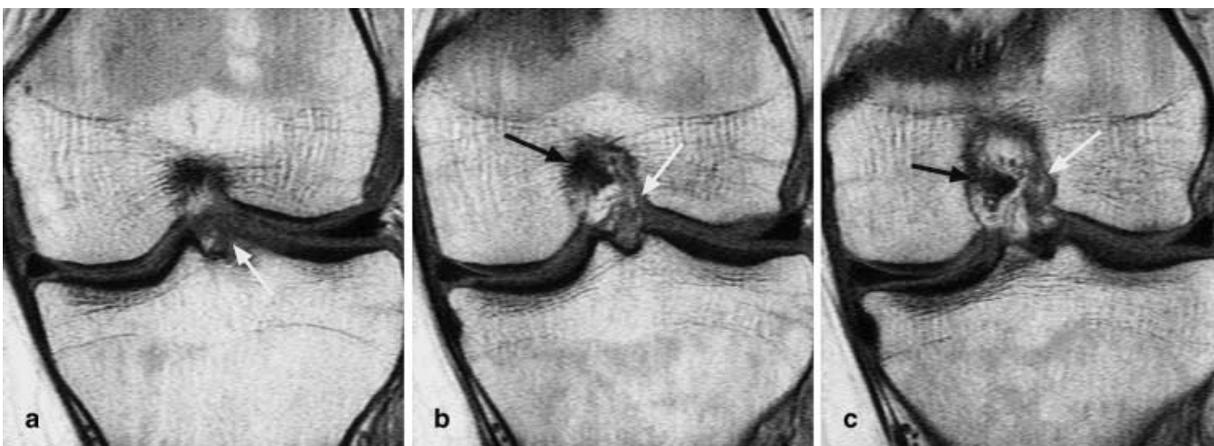


Abb. 10a–c ▲ Sog. „empty notch sign“ bei einem Patienten mit chronischer VKB-Ruptur. Im koronaren T1-gewichteten Bild fehlende Darstellung des VKB (weiße Pfeile in a–c) bei hypointenser Abbildung von Anteilen des HKB (schwarze Pfeile in b, c)

Tabelle 2

Primäre und sekundäre Zeichen einer VKB-Ruptur

Primäre Zeichen

Diskontinuität des VKB (s. Abb. 5, 6, 7, 10)

Fokale oder diffuse fehlende Darstellung der Fasern des VKB im sagittalen und koronaren Bild [20]

Abnormes Signal des VKB (s. Abb. 9)

Fokale oder diffus erhöhte Signalintensität des Bandes im im T2- oder T1-gewichteten Bild [20]

Wellige Kontur des VKB (s. Abb. 8)

Speziell der vorderen Anteile des Bandes [20]

Sekundäre Zeichen

Knochenmarködem „bone bruise“ (s. Abb. 11, 12)

Knochenmarkbereiche mit erhöhtem Signal im T2-gewichteten Bild bzw. erniedrigtem Signal im T1-gewichteten Bild (typischerweise im Bereich des lateralen Femurkondylus und des dorsalen, lateralen Tibiaplateaus), [5, 17, 25]

Tiefe des lateralen femoralen Sulkus („deep lateral notch sign“)

Anlegen einer Tangente an die artikuläre Oberfläche im Bereich des lateralen Sulkus von der aus über eine Senkrechte die Tiefe des Sulkus gemessen wird (Tiefe >1,5 mm pathologisch), [7]

Assoziierte Verletzungen (s. Abb. 13, 14)

Ruptur oder Teilruptur des medialen oder lateralen Kollateralbandes, medialer Meniskuseinriss sowie knöcherner Teilausriss/Ausriss des tibialen Ansatzbereichs der Sehne des M. semimembranosus [5, 21]

Vermehrter vorderer tibialer Vorschub (s. Abb. 15)

Messung der Distanz zwischen 2 senkrechten Tangenten, welche an den Hinterrand des lateralen Femurkondylus und des Tibiaplateaus angelegt werden [6, 36]

Posteriore HKB Linie (s. Abb. 16)

In einem sagittalen Bild wird eine Linie tangential zum hinteren Rand des distalen HKB eingezeichnet. Wenn diese Tangente den Femur nicht innerhalb der distalen 5 cm schneidet gilt dieses Zeichen als positiv [29]

Angulationsindex des HKB (s. Abb. 17)

Einzeichnen einer Linie zwischen dem am weitesten ventral liegenden distalen und proximalen Ansatzbereichen des HKB. Im Bereich der weitesten Biegung des HKB wird eine Senkrechte von der eingezeichneten Linie zur inferioren Begrenzung des HKB gezogen. Das Verhältnis aus der Länge der senkrecht angelegten Linie zu der Linie zwischen den Ansatzbereichen des HKB entspricht dem Angulationsindex [34]

HKB-Winkel (s. Abb. 18)

Messung des Winkels zwischen dem proximalen und distalen Anteil des HKB (L)

VKB-Winkel (s. Abb. 19)

Winkel zwischen der anterioren Begrenzung des VKB und einer Referenzlinie parallel zum mittlateralen Tibiaplateau [15]

VKB-Blumensaat-Winkel (s. Abb. 20)

Winkel zwischen der posterioren Begrenzung des Femurs in der Fossa intercondylaris und dem distalen VKB [22]



Abb. 11 ▲ STIR-Sequenz in sagittaler Schnittführung im Bereich des lateralen Femurkondylus. Im Zusammenhang mit einer akuten VKB-Ruptur kommt es zur Abbildung eines ausgeprägten Knochenödems und einem traumatischen Einriss im Knorpelbelag des lateralen Femurkondylus (Pfeil)



Abb. 12 ▲ STIR-Sequenz in sagittaler Schnittführung im Bereich des lateralen Femurkondylus. Knöcherner Kontusionsherd mit Ödematisierung des Markraums im Bereich des dorsalen, lateralen Tibiaplateaus in Folge des Traumechanismus einer VKB-Ruptur



Abb. 13 ▲ T1-gewichtetes fettsupprimiertes sagittales Bild nach Kontrastmittelgabe im Bereich des Sehnenansatzes der M. semimembranosus. Deutlich vermehrte Kontrastmittelanreicherung im Sehnenansatzbereich (Pfeil) mit Substanzminderung der Sehne im Sinne eines knöchernen Teilausrisses im Zusammenhang mit einer akuten VKB-Ruptur



Abb. 14a–c ▲ **Aufeinanderfolgende T1-gewichtete fettsupprimierte koronare Bilder nach Kontrastmittelgabe bei einem Patienten mit akuter Ruptur der proximalen Anteile des VKB. Es zeigt sich sowohl in dem mehr ventralen Schnitt (a) ein Kontusionsherd im Bereich des lateralen Femurkondylus (Pfeil) als auch eine Ruptur mit vermehrter Kontrastmittelaufnahme des medialen Kollateralbandes (Pfeile in b, c) als direkte Folge des Traumamechanismus**

resonanztomographie (MRT) hohe Treffsicherheiten mit Sensitivitäten von 75–95% und Spezifitäten von 95–100% angegeben [2, 3]. Für solche Resultate ist jedoch eine technisch optimale Untersuchung notwendig. Nach den Richtlinien der Bundesärztekammer müssen spezielle Standards in Hinblick auf die Untersuchungstechnik erfüllt sein.

Aufgrund des Verlaufs des VKB von posterolateral nach anteromedial ist prinzipiell eine Anpassung der sagittalen Schichten bzw. die Untersuchung in 10–20° Außenrotation notwendig, um das gesamte Band in seinem Verlauf beurteilen zu können. Protokolle, die je nach Klinik unterschiedlich sein können, umfassen abhängig von der Fragestellung eine Bildgebung im sagittalen und koronaren Bild, Zusätzlich können in Abhängigkeit von der Fragestellung axiale Schichten angefertigt werden.

Die Vorgehensweise, um ein optimale Anpassung des sagittalen Bildes an den Verlauf des VKB beim nicht außenrotiert gelagerten Bein zu erreichen, zeigt Abb. 2. Falls im sagittalen Bild das VKB nur in Anschnitten zur Darstellung kommt und eine Beurteilung der Integrität des Bandes nicht eindeutig möglich ist, kann eine Anpassung wie in Abb. 2a gezeigt (oblique coronar) an den Verlauf des Bandes durchgeführt werden. Auf das resultierende Bild, welches das Band nun in seinem gesamten Verlauf in koronarer Schnittführung darstellt (s. Abb. 2b) und meist schon zur Beurteilung der Integrität des Bandes

ausreichend ist, wird nun wiederum senkrecht eine sagittale Schicht angepasst, welche dem Verlauf des Bandes von posteriolateral nach anteriomedial folgt, wodurch das Band in den daraus resultierenden schräg sagittalen Schnitten (s. Abb. 2c) in seiner vollen Länge abgebildet werden kann.

Die Untersuchung erfolgt in speziellen Spulen, welche sowohl die optimale Lagerung des Kniegelenks als auch ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis erlauben. Allgemein eignen sich bei der Untersuchung des VKB T1- und T2-gewichtete Spinechoscsequenzen wie auch

Gradientenechoscsequenzen in 2D- oder 3D-Technik. Ergänzt werden diese Standarduntersuchungstechniken durch protonengewichtete Bilder wie auch durch T2-gewichtete fettunterdrückte Sequenzen oder STIR-Sequenzen, wobei letztere speziell für den Nachweis möglicher Begleitverletzungen im Sinne von Knochenödemen sehr sensitiv sind und zumindest in einer Ebene grundsätzlich Anwendung finden sollten. Die Schichtdicke bei der Untersuchung des VKB sollte <4 mm sein, das „field of view“ (FOV) liegt typischerweise bei ca. 14 cm und die Matrix bei der Untersuchung sollte bei $\geq 512 \times 256$ Pixel liegen.

Das VKB zeigt im Vergleich zum HKB oder den Kollateralbändern ein insgesamt höheres Signal. Bei optimaler Anpassung der Schnitte an die lange Achse des VKB ist das Band in allen Sequenzen als relativ dunkle, signalarme

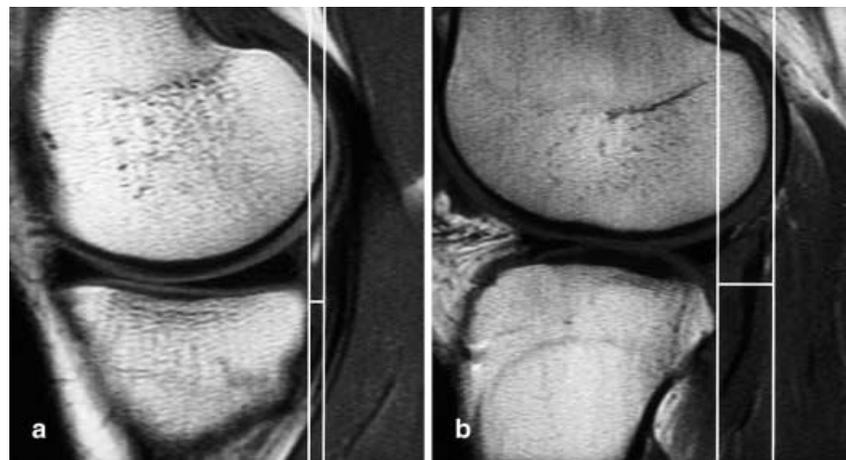


Abb. 15a,b ▲ **Messung des tibialen Vorschubs im T1-gewichteten sagittalen Bild. Während beim normalen Knie ein durchschnittlicher Vorschub von 2,17 mm zu beobachten ist (a), kann bei Patienten mit Ruptur des VKB ein vermehrter Vorschub (im Mittel 6,18 mm) gemessen werden (b). Wird als Grenzwert zur Diagnose einer VKB-Ruptur ein Vorschub von 5 mm verwendet, resultiert eine Sensitivität von 63% und eine Spezifität von 80%. Bei Erhöhung des Grenzwertes auf 7 mm sinkt die Sensitivität auf 41% bei jedoch einer deutlich erhöhten Spezifität von 91%**

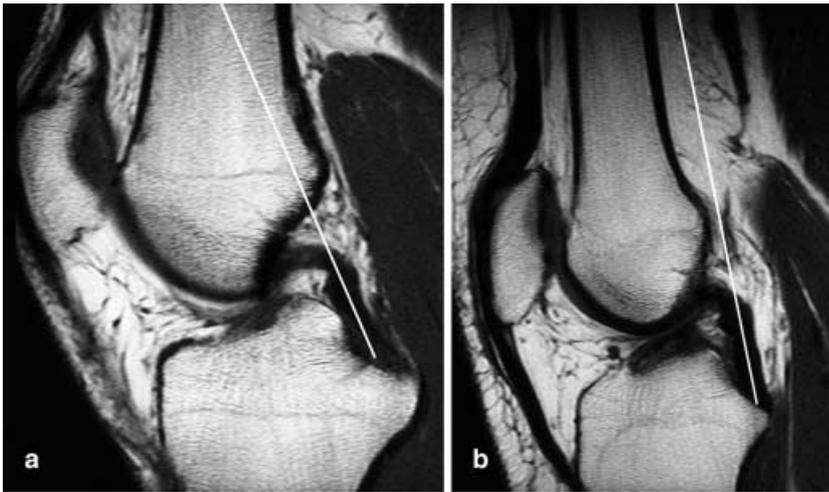


Abb. 16a,b ▲ Messung der posterioren HKB-Linie im T1-gewichteten, sagittalen Bild bei einem gesunden Probanden (a) sowie bei einem Patienten mit chronischer Ruptur des VKB (b). Während beim gesunden Probanden der Schnittpunkt der eingezeichneten Linie mit dem Femur innerhalb der distalen 5 cm des Femur liegt (a) ist bei dem Patienten mit chronischer Ruptur kein Schnittpunkt mit dem Femur zu beobachten. Allgemein wird in der Literatur für dieses Zeichen eine Sensitivität von 51–66% und eine Spezifität von 85,5–94% angegeben. Allerdings sollte die Sensitivität dieses Zeichens bei akuten und chronischen Rupturen besser getrennt beurteilt werden, wobei dann bei vergleichbarer Spezifität Sensitivitäten von 45% für die akute Ruptur und Sensitivitäten von 76% für die chronische Ruptur beschrieben werden

Struktur abgebildet, welche nahezu parallel oder mit nur einem geringen Winkel zum Dach der Fossa intercondylaris verläuft (Abb. 3). Speziell in der Nähe des tibialen und femoralen Ansatzes werden die einzelnen Faseranteile des VKB durch Gewebe höherer Signalintensität separiert (Abb. 4). Dies scheint durch Einlagerung von Fettgewebe und Synovialgewebe bedingt zu sein, wobei in Extension eine niedrigere, in Flexion eine höhere Signalintensität durch unterschiedlich stark ausgeprägte Interposition dieser Gewebe resultiert.

Die Dicke des VKB liegt in der Regel bei 3–4 mm, kann aber auch leicht darüber oder darunter liegen. Der vordere Anteil des VKB, das sog. anteromediale Band, erscheint in der MRT oft signalärmer als der hintere Anteil, das sog. posterolaterale Band (s. Abb. 3). Letzteres kann an der tibialen Ansatzstelle fächerartig aufgespreizt imponieren, wobei durch die schon beschriebene, zusätzliche Einlagerung anderer Gewebe das Signal noch einmal deutlich erhöht wird (s. Abb. 4).

Altersabhängige Degenerationsprozesse im VKB im Sinne einer mukoiden oder myxoiden Degeneration können zusätzlich deutliche Schwankungen der Signalintensität des gesunden Bandes bewirken. Bei optimaler Anpassung der

Schichten an den Verlauf des Bandes ist jedoch i. Allg. ein intaktes Band gut zu diagnostizieren.

Verletztes VKB

Die Befunde einer VKB-Ruptur in der MRT sind u. a. entscheidend vom Zeitpunkt der Bildgebung nach dem ursächlichen Trauma abhängig.

Akute Rupturen. Bei akuten Rupturen kann typischerweise eine Kontinuitätsunterbrechung des Bandes beobachtet werden, die meist im proximalen Abschnitt des VKB zur Darstellung kommt. Des Weiteren zeigen sich diffuse Signal-erhöhungen im T2-gewichteten Bild welche einem Ödem und/oder einem Hämatom des Bandes entsprechen [19]. Weitere Befunde im Zusammenhang mit einer akuten Kreuzbandruptur sind eine unscharfe Abgrenzbarkeit sowie eine diffuse Auftreibung des Bandes innerhalb ödematös veränderter Gewebe (Abb. 5).

Bei sog. interstitiellen Rupturen des Bandes, welche im Weiteren in eine komplette Ruptur übergehen können, findet man typischerweise ein erhöhtes Signal im gesamten Verlauf des VKB, häufig begleitet von Knochenödemen im femoralen wie auch im tibialen Ansatzbereich (Abb. 6), wobei jedoch von Seiten der MRT eine prognostische Aussage bezüglich eines Fortschreitens zu einer kompletten Ruptur oder einem Ausheilen der Veränderungen nicht möglich ist [34, 38]

Subakute Phase. In der subakuten Phase nach VKB-Ruptur ist die Diagnose einer Ruptur häufig einfacher zu stellen, da aufgrund des weniger ausgeprägten Bandhämatoms und des weniger stark ausgeprägten perifokalen Ödems eine direkte Beurteilung des Bandes im MRT-Bild einfacher ist.

Neben den direkten Zeichen einer Kontinuitätsunterbrechung (Abb. 7), kön-

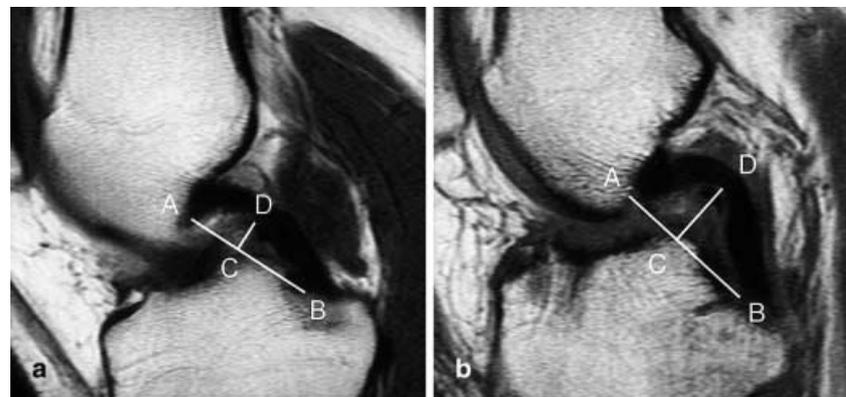


Abb. 17a,b ▲ Messung des Angulationsindex des HKB bei einem gesunden Probanden sowie bei einem Patienten mit subakuter Ruptur des VKB im T1-gewichteten Bild. Hierbei werden in der Literatur für das Verhältnis CD zu AB beim intakten VKB von im Mittel 0,19 angegeben (a), bei Patienten mit Ruptur des VKB (b) werden Werte von im Mittel 0,26 beschrieben (akute Rupturen 0,24; chronische Rupturen 0,29). Die in der Literatur angegebenen Sensitivitäten und Spezifitäten für dieses Zeichen liegen ohne Berücksichtigung des als pathologisch betrachteten Grenzwertes bei 17–58% bzw. 90–100%. Wird ein Grenzwert von >0,39 für den Angulationsindex bei der Diagnose einer VKB-Ruptur verwendet resultiert eine Sensitivität von 34% bei einer Spezifität von 100%

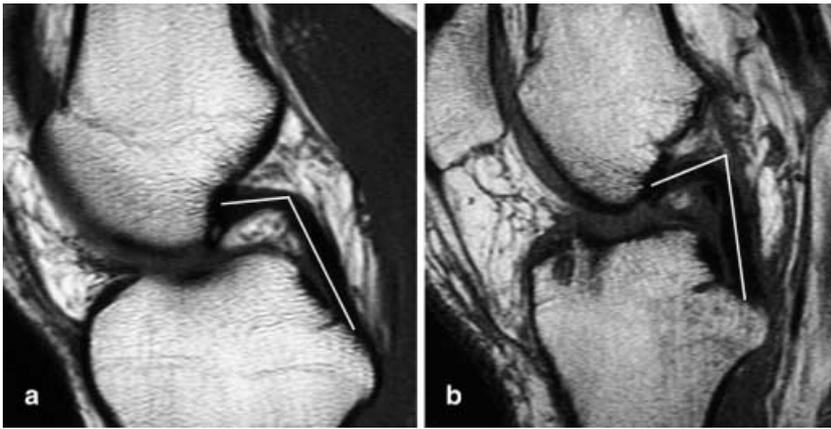


Abb. 18a,b ▲ Messung des HKB-Winkels im Zusammenhang mit der Diagnose einer VKB-Ruptur im T1-gewichteten, sagittalen Bild. Wogegen beim gesunden Probanden (a) im Mittel ein Winkel von 123° gemessen werden kann, ist bei akuter Ruptur des VKB in der Literatur ein Winkel von im Mittel 109° und bei chronischen Rupturen (b) von im Mittel 95° beschrieben. Wird der Grenzwert zur Diagnose einer VKB-Ruptur bei $<107^\circ$ angesetzt resultiert eine Sensitivität von 52% bei einer Spezifität von 94%, bei Absenkung des Grenzwertes auf $<100^\circ$ resultiert eine Verminderung der Sensitivität auf 37% bei gleichzeitiger Anhebung der Spezifität auf 100%

nen Veränderungen wie eine wellige Kontur des VKB (Abb. 8) sowie eine Verlagerung des tibialen und femoralen Bandabschnitts auf eine Ruptur hinweisen.

Indirekte Zeichen im Zusammenhang mit einer subakuten Kreuzbandruptur sind ein vermehrt horizontaler Verlauf des Bandes wie auch eine Retraktion, wobei ein wichtiger Aspekt bei der Diagnose einer subakuten Kreuzbandruptur wiederum die Signalintensität des Bandes selbst ist.

Bei Teilrupturen des VKB finden sich typischerweise fokale Zonen erhöhter Signalintensität bei ansonsten intaktem Band und klinisch stabilem Knie. Abschnittsweise können Deformierungen des Bandes beobachtet werden, entscheidend ist jedoch bei dem von der Bildgebung her geäußerten Verdacht einer partiellen VKB-Ruptur die Korrelation der Bildgebung mit dem klinischen Befund.

Chronische Ruptur. Beim Vorliegen einer chronischen Ruptur kann das VKB in der MRT-Bildgebung verschiedenste Erscheinungsformen annehmen. Das typische direkte, primäre Zeichen einer Diskontinuität des Bandes ist häufig nicht zu beobachten. Typische Befunde sind jedoch auch eine Ausdünnung sowie ein atypischer Verlauf des Bandes. Häufig findet sich anstatt des Bandes Narbengewebe, innerhalb welchem Reste des Bandes nicht mehr eindeutig abgrenzbar sind (Abb. 9).

Wichtig bei chronischen Kreuzbandrupturen ist v. a. die Darstellung des femoralen Ansatzes, wobei speziell hier Fehlaussagen resultieren können. In diesem Zusammenhang sei noch einmal besonders auf die optimale Anpassung der sagittalen Bilder an den Verlauf des VKB hingewiesen. Ein weiterer typischer Befund ist das sog. „empty notch sign“, welches die fehlende Darstellbarkeit des VKB im koronaren Bild beschreibt (Abb. 10).

Zusammenfassend werden bezüglich der Wertigkeit der direkten Zeichen einer VKB-Ruptur in der Literatur Sensitivitäten von 72–96% und Spezifitäten von 86–100%, je nach Untersuchungs-

technik und verwendetem Gerät, angegeben. Dementsprechend bietet die direkte Beurteilung des Bandes bereits die Möglichkeit einer weitreichenden Aussage bezüglich des Vorliegens bzw. des Ausschlusses einer VKB-Ruptur, wobei jedoch nochmals darauf verwiesen werden muss, dass die Diagnose in der MRT immer im Zusammenhang mit dem klinischen Befund erfolgen sollte.

Neben den direkten Zeichen einer VKB-Ruptur gibt es eine Fülle indirekter Zeichen, welche auf das Vorliegen einer akuten wie auch einer chronischen Ruptur hinweisen können. Tabelle 2 fasst die wesentlichen, in der Literatur angegebenen Zeichen zusammen.

Die indirekten Zeichen für das Vorliegen einer VKB-Verletzung resultieren zum einen aus dem Verletzungsmechanismus zum anderen aus den Folgen einer Kniegelenkinstabilität.

Häufigste Begleitverletzung bei einer akuten VKB-Ruptur, sind subchondrale Kontusionsherde des Knochens (bone bruise), [4, 16, 24], die aus einer Impaktierung der Tibia gegen den Femur resultieren. Dabei kommt es zu Knorpelverletzungen, Knochenmarködemen sowie mikrotrabekulären Frakturen, welche sich typischerweise im T2-gewichteten Bild als Areale mit erhöhter Signalintensität darstellen (Abb. 11). Optimal zur Darstellung sind in diesem Zusammenhang T2-gewichtete fett-supprimierte Bilder wie auch sogenannte STIR-Sequenzen, da in diesen das hohe Signal des Fettmarkes unterdrückt wird und so praktisch nur noch das Ödem des Markraums zum Signal im betroffenen Areal beiträgt.

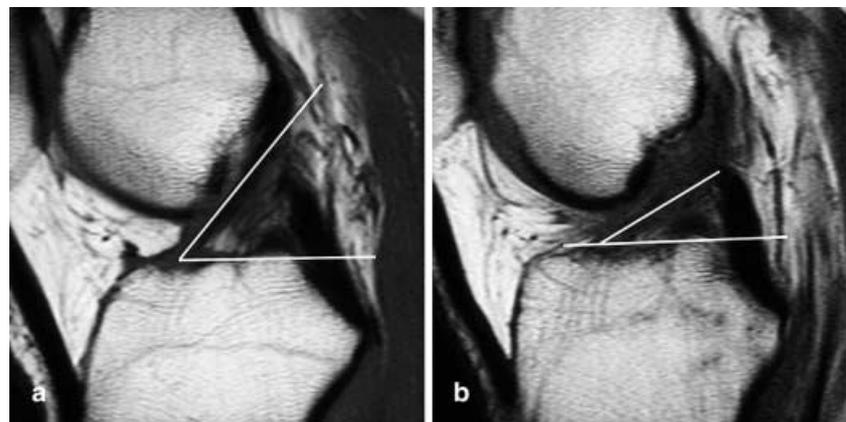


Abb. 19a,b ▲ Beurteilung des VKB-Winkels bei der Diagnose einer VKB-Ruptur im T1-gewichteten, sagittalen Bild. Beim Gesunden ist im Mittel ein Winkel von $55,6^\circ$ zu messen (a), wird als Grenzwert für die Diagnose einer VKB-Ruptur ein Winkel $<45^\circ$ angenommen (b), resultiert eine Sensitivität dieses Zeichens von 91% bei einer Spezifität von 97%

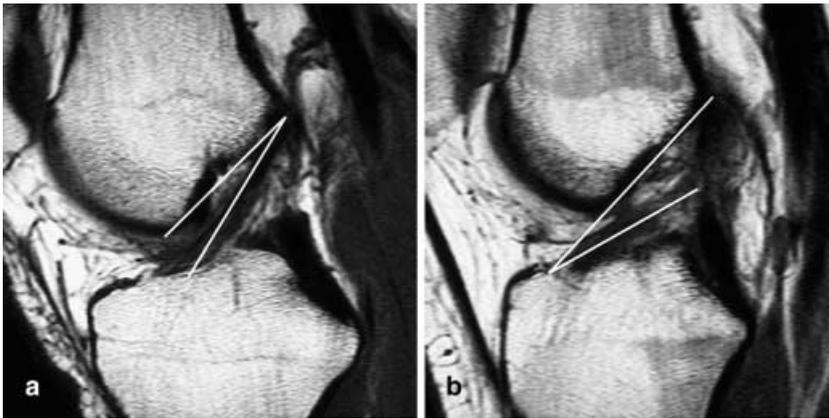


Abb. 20a,b ▲ Messung des Winkels zwischen dem VKB und der Blumensaat-Linie zur Diagnose einer VKB-Ruptur im T1-gewichteten sagittalen Bild. Beim Gesunden können negative Winkel (a) von im Mittel $-1,6^\circ$ gemessen werden. Bei Ruptur des VKB resultieren positive Winkel (b) wobei ohne differenzierte Betrachtung des als pathologisch angesehenen Grenzwertes in der Literatur Sensitivitäten von 79–91% bei einer Spezifität von 86% angegeben werden. Wird der Grenzwert zur Diagnose einer VKB-Ruptur bei $>9^\circ$ gelegt resultiert eine Sensitivität von 91% bei einer Spezifität von 86%

Im T1-gewichteten Bild stellen sich die Kontusionsherde als Areale mit erniedrigtem Signal dar, da durch das Ödem das normalerweise hohe Signal des Fettmarkes vermindert wird. Bei der Diagnostik akuter Rupturen des VKB werden in Bezug auf das Auftreten solcher Kontusionsherde Sensitivitäten von 76% und Spezifitäten von bis zu 100% beschrieben. Wird die Beobachtung solcher Kontusionsherde bei akuten und chronischen Rupturen betrachtet, sinkt die Sensitivität auf 37–51% bei einer Spezifität von 97,5–100%.

Maximalformen dieser durch den Traumamechanismus bedingten Veränderungen wären osteochondrale Frakturen [17, 18], wobei diese wie auch die Kontusionsherde typischerweise im Bereich des lateralen Femurkondylus wie auch im dorsalen lateralen Tibiaplateau (Abb. 12) lokalisiert sind. Andere, aus dem Traumamechanismus direkt resultierende Befunde sind assoziierte Verletzungen wie ein Einriss im Hinterhorn des Innenmeniskus wie auch ein „bone bruise“ bzw eine knöcherner Teilausriss im Ansatzbereichs der Sehne des M. semimembranosus [4], (Abb. 13).

Da die Mikrofrakturen bzw. die Impaktierung des Knochens häufig im Bereich des lateralen Sulkus zu beobachten ist, kann als indirektes Zeichen einer VKB-Ruptur, auch bei länger zurückliegenden Verletzungen, das sog. „deep lateral sulcus sign“ beobachtet werden, wobei dieses eine Tiefe des lateralen Sulkus von mehr als 1,5 mm bezeichnet [6]. Weitere,

im Zusammenhang mit dem Traumamechanismus gesehene indirekte Zeichen einer VKB-Ruptur sind eine Ruptur oder Teilruptur des lateralen wie auch insbesondere des medialen Kollateralbandes [20, 22], (Abb. 14). In Bezug auf die Diagnose einer akuten VKB-Ruptur aufgrund der Beobachtung einer Ruptur des medialen Kollateralbandes sind in der Literatur Sensitivitäten von nur 21% bei jedoch einer Spezifität von 100% beschrieben.

Als Folge einer Kniegelenkinstabilität und hier speziell aufgrund der vor-

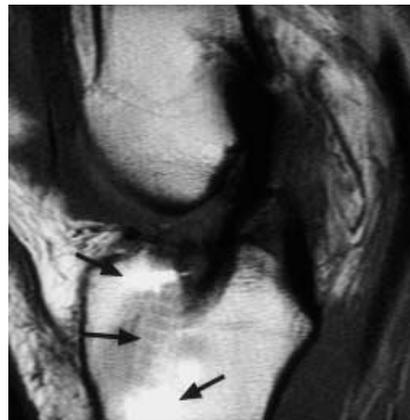


Abb. 21 ▲ Darstellung eines intakten Neoligaments nach Rekonstruktion des VKB innerhalb der ersten 3 Monate nach der Operation. Im T1-gewichteten Bild homogen niedriges Signal der Kreuzbandplastik. Bedingt durch Metallabrieb im Bereich des tibialen Bohrkanals kommt es zu Artefakten (Pfeile) welche sich gelegentlich auch auf das Band projizieren können und nicht als Signalveränderungen des Bandes misinterpretiert werden sollten

deren Schublade, können ebenfalls verschieden indirekte Zeichen einer VKB-Ruptur beobachtet werden. Hierbei kann in der MRT direkt der vermehrte tibiale Vorschub gemessen werden [5, 35], (Abb. 15). In Fällen einer ausgeprägten vorderen Schublade ist die dorsale Verlagerung des lateralen Meniskus ein weiteres Zeichen, welches auf eine VKB-Ruptur hinweist [33]. Bei diesem Zeichen ist das Hinterhorn des Außenmeniskus nicht mehr in Kontakt mit der Knorpelfläche im Bereich des dorsalen, lateralen Tibiaplateaus.

Weitere, indirekte Hinweise für eine VKB-Ruptur betreffen Veränderungen des HKB, welche letztendlich ebenfalls den vermehrten tibialen Vorschub anzeigen. Hierzu gehören die vermehrte Angulation und Biegung des HKB, wobei sowohl die posteriore HKB-Linie [28], (Abb. 16, 17), der Angulationsindex [33], (Abb. 18) als auch der HKB-Winkel [22], (s. Abb. 17) diese vermehrte Angulation im Sinne eines indirekten Zeichens einer VKB-Ruptur anzeigen. Diese Zeichen gelten zwar im Bezug auf die Diagnose einer VKB-Ruptur als wenig sensitiv bei jedoch sehr hoher Spezifität.

Sekundäre Zeichen einer VKB-Ruptur, welche die Darstellung des Bandes in der MRT selbst betreffen, sind der VKB-Winkel [14], (Abb. 19) und der Winkel zwischen dem VKB und der Blumensaatlinie [22], (Abb. 20). Beide Zeichen beschreiben



Abb. 22 ▲ Oblique koronares T1-gewichtetes Bild einer teilrupturierten VKB-Plastik 3 Jahre nach Operation. Wogegen das Band in seinem proximalen Anteil ein normales Volumen mit normaler Signalintensität zeigt (weißer Pfeil) sind in seinem mittleren Anteil (schwarzer Pfeil) nur noch einzelne Fasern des Bandes zu beobachten

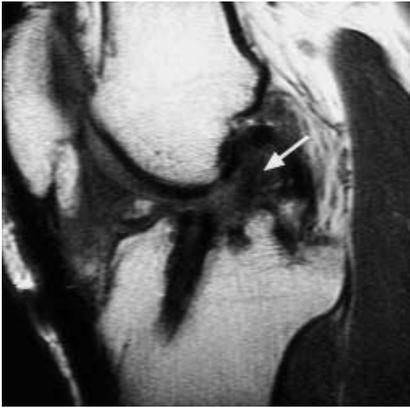


Abb. 23 ▲ Darstellung einer Reruptur einer VKB-Plastik im T1-gewichteten sagittalen Bild 24 Monate nach der Operation. Fehlende Kontinuität der Kreuzbandplastik mit Darstellung abnorm verlaufender Anteile (Pfeil) im Bereich der Fossa intercondylaris

den abnormen Verlauf des VKB nach der Ruptur und geben eine Möglichkeit zur Quantifizierung desselben.

Zusammenfassend ist den meisten sekundären Zeichen einer VKB-Ruptur eine relativ geringe Sensitivität bei relativ hoher Spezifität gemeinsam, wobei s. Tabelle 2 die primären und sekundären Zeichen zusammenfasst und in Zusammenhang mit den Abbildungen die in der Literatur beschriebenen Sensitivitäten und Spezifitäten wiedergibt.

Kreuzbandrekonstruktion

Bei der Beurteilung des VKB nach Rekonstruktion ist es entscheidend, den Zeitpunkt zwischen der Operation und der Bildgebung zu berücksichtigen. In den ersten 3 Monaten nach Rekonstruktion zeigt ein intaktes autologes Neoligament ein Signal vergleichbar dem des normalen VKB bzw. dem der Patellarsehne (Abb. 21). Innerhalb dieses Zeitraums können dementsprechend die direkten und indirekten Zeichen einer Ruptur wie bei einem originären Band Anwendung finden [30].

Nach etwa 3 Monaten zeigt sich ein beginnender Anstieg der Signalintensität des Bandes, von welchem initial nur Anteile des Neoligaments betroffen sind. Dieser führt jedoch im Weiteren zu einer homogenen Signalintensitätssteigerung des Neoligaments, welche das Transplantat als nicht mehr von den umliegenden Strukturen abgrenzbare Weichteilmasse erscheinen lassen.

Die Ursache für die Veränderung der Signalintensität des Bandes scheint sowohl in einem Einwachsen von Blutgefäßen in das Band als auch der Proliferation von Fibrozyten, welche vom Rand des Bandes zentrifugal in das Band einwachsen, zu liegen. Hierbei findet sozusagen eine Transformation des avitalen Bandes in ein „bioenergetisches“ Neoligament statt, wobei die wesentlichen Umbauprozesse nach etwa 1 Jahr abgeschlossen sind. Innerhalb dieses Zeitraums ist eine direkte Beurteilung des Verlaufs des Bandes in der MRT schwierig. Häufig kann jedoch der mittlere Teil des Bandes als hypointense Struktur abgegrenzt werden [36].

Etwa 1 Jahr postoperativ, nach Abschluss der Umbauprozesse, ist in der MRT einer Kreuzbandplastik wieder ein Absinken der Signalintensität des Bandes zu beobachten, welche im Weiteren zu einer homogen hypointensen Darstellung des Bandes führt.

Nach etwa 12–24 Monaten gelten bei der Beurteilung der Integrität dementsprechend wieder die Kriterien eines normalen VKB, wobei das Hauptaugenmerk bei der Beurteilung der Integrität auf der direkten Visualisierung des Bandes liegt (Abb. 22, 23). Die sekundären Zeichen einer VKB-Ruptur finden nur eingeschränkt Anwendung, da diese bei der Beurteilung von Neoligamenten eine deutlich eingeschränkte Sensitivität und Spezifität besitzen [30, 36].

Literatur

- Andrews JR, McLoad WD, Ward T, Howard K (1977) The cutting mechanism. *Am J Sports Med* 5: 111–121
- Barry KP, Mesgarzadeh M, Triolo J, Moyer R, Tehranzadeh J, Bonakdarpour A (1996) Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal Radiol* 25: 365–370
- Brandser EA, Riley MA, Berbaum KS, el Khoury GY, Bennett DL (1996) MR imaging of anterior cruciate ligament injury: independent value of primary and secondary signs. *Am J Roentgenol* 167: 121–126
- Chan KK, Resnick D, Goodwin D, Seeger LL (1999) Posteromedial tibial plateau injury including avulsion fracture of the semimembranous tendon insertion site: ancillary sign of anterior cruciate ligament tear at MR imaging. *Radiology* 211: 754–758
- Chan WP, Peterfy C, Fritz RC, Genant HK (1994) MR diagnosis of complete tears of the anterior cruciate ligament of the knee: importance of anterior subluxation of the tibia. *Am J Roentgenol* 162: 355–360
- Cobby MJ, Schweitzer ME, Resnick D (1992) The deep lateral femoral notch: an indirect sign of a torn anterior cruciate ligament. *Radiology* 184: 855–858
- Cross MJ, Schmidt DR, Mackie IG (1987) A no-touch test for the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br* 69: 300
- Daffner RH, Tabas JH (1987) Trauma oblique radiographs of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 69: 568–572
- Daniel DM (1990) Diagnosis of a ligament injury, 3–10 edn. In: Daniel DM, Akeson WH, O'Connor JJ (eds) *Knee ligaments*. Raven Press, New York
- Daniel DM, Stone ML, Barnett P, Sachs R (1988) Use of the quadriceps active test to diagnose posterior cruciate- ligament disruption and measure posterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 70: 386–391
- Egund N, Friden T, Hjarbaek J, Lindstrand A, Stockerup R (1993) Radiographic assessment of sagittal knee instability in weight bearing. A study on anterior cruciate-deficient knees. *Skeletal Radiol* 22: 177–181
- Eiskjaer S, Larsen ST, Schmidt MB (1988) The significance of hemarthrosis of the knee in children. *Arch Orthop Trauma Surg* 107: 96–98
- Fullerton LR, Jr, Andrews JR (1984) Mechanical block to extension following augmentation of the anterior cruciate ligament. A case report. *Am J Sports Med* 12: 166–168
- Gentili A, Seeger LL, Yao L, Do HM (1994) Anterior cruciate ligament tear: indirect signs at MR imaging. *Radiology* 193: 835–840
- Howell SM, Clark JA, Farley TE (1991) A rationale for predicting anterior cruciate graft impingement by the intercondylar roof. A magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med* 19: 276–282
- Kaplan PA, Gehl RH, Dussault RG, Anderson MW, Diduch DR (1999) Bone contusions of the posterior lip of the medial tibial plateau (contrecoup injury) and associated internal derangements of the knee at MR imaging. *Radiology* 211: 747–753
- Kaplan PA, Walker CW, Kilcoyne RF, Brown DE, Tusek D, Dussault RG (1992) Occult fracture patterns of the knee associated with anterior cruciate ligament tears: assessment with MR imaging. *Radiology* 183: 835–838
- King SJ (1997) Magnetic resonance imaging of knee injuries in children. *Eur Radiol* 7: 1245–1251
- Lee JK, Yao L, Phelps CT, Wirth CR, Czajka J, Lozman J (1988) Anterior cruciate ligament tears: MR imaging compared with arthroscopy and clinical tests. *Radiology* 166: 861–864
- Lee K, Siegel MJ, Lau DM, Hildebolt CF, Matava MJ (1999) Anterior cruciate ligament tears: MR imaging-based diagnosis in a pediatric population. *Radiology* 213: 697–704
- Manaster BJ, Andrews CL (1994) Fractures and dislocations of the knee and proximal tibia and fibula. *Semin Roentgenol* 29: 113–133

22. McCauley TR, Moses M, Kier R, Lynch JK, Barton JW, Joki P (1994) MR diagnosis of tears of anterior cruciate ligament of the knee: importance of ancillary findings. *Am J Roentgenol* 162: 115–119
23. Merchant AC, Mercer RL, Jacobsen RH, Cool CR (1974) Roentgenographic analysis of patellofemoral congruence. *J Bone Joint Surg Am* 56: 1391–1396
24. Murphy BJ, Smith RL, Uribe JW, Janecki CJ, Hechtman KS, Mangasarian RA (1992) Bone signal abnormalities in the posterolateral tibia and lateral femoral condyle in complete tears of the anterior cruciate ligament: a specific sign? *Radiology* 182: 221–224
25. Noesberger B (1990) Diagnose der frischen Ruptur und Erscheinungsbild der chronischen vorderen Instabilität. Springer, Berlin, Heidelberg New York
26. Palmer J (1958) Pathophysiology of the medial ligament of the knee joint. *Acta Chir Scand* 81 [Suppl]
27. Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM (1988) The forty-five-degree postero-anterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 70: 1479–1483
28. Schweitzer ME, Cervilla V, Kursunoglu-Brahme S, Resnick D (1992) The PCL line: an indirect sign of anterior cruciate ligament injury. *Clin Imag* 16: 43–48
29. Slocum DB, Larson RL (1968) Rotatory instability of the knee. Its pathogenesis and a clinical test to demonstrate its presence. *J Bone Joint Surg Am* 50: 211–225
30. Stockle U, Hoffmann R, Schwedke J, Lubrich J, Vogl T, Sudkamp NP et al. (1998) Anterior cruciate ligament reconstruction: the diagnostic value of MRI. *Int Orthop* 22: 288–292
31. Strobel M, Stedtfeld HW, Eichhorn HJ (1997) Diagnostik des Kniegelenks, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio
32. Torg JS, Conrad W, Kalen V (1976) Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med* 4: 84–93
33. Tung GA, Davis LM, Wiggins ME, Fadale PD (1993) Tears of the anterior cruciate ligament: primary and secondary signs at MR imaging. *Radiology* 188: 661–667
34. Umans H, Wimpfheimer O, Haramati N, Applbaum YH, Adler M, Bosco J (1995) Diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament of the knee: value of MR imaging. *Am J Roentgenol* 165: 893–897
35. Vahey TN, Hunt JE, Shelbourne KD (1993) Anterior translocation of the tibia at MR imaging: a secondary sign of anterior cruciate ligament tear. *Radiology* 187: 817–819
36. Vogl TJ, Schmitt J, Lubrich J et al. (2001) Reconstructed anterior cruciate ligaments using patellar tendon ligament grafts: diagnostic value of contrast-enhanced MRI in a 2-year follow-up regimen. *Eur Radiol* 11: 1450–1456
37. Walker CW, Moore TE (1997) Imaging of skeletal and soft tissue injuries in and around the knee. *Radiol Clin North Am* 35: 631–653
38. Yao L, Gentili A, Petrus L, Lee JK (1995) Partial ACL rupture: an MR diagnosis? *Skeletal Radiol* 24: 247–251

Halten in 10 Jahren künstliche Hüftgelenke doppelt solange?

Künstliche Hüftgelenksköpfe werden heute entweder aus Edelstählen, Cobalt-Chrom-Legierungen, oder Aluminiumoxidkeramiken hergestellt. Durch den Kontakt mit Körperflüssigkeit und Gewebe korrodieren Metalle jedoch, was die Lebensdauer eines solchen Hüftgelenks auf etwa fünf bis zehn Jahre begrenzt. Die Folge ist eine erneute, schmerzhaft Operation für den Patienten. Der Chrom- und Nickelanteil einiger Legierungen steht im Verdacht allergische Reaktionen des menschlichen Körpers auszulösen. Aluminiumoxid besitzt den Vorteil, nicht giftig und sehr abriebfest zu sein. Die Keramik ist aber z. B. bei einem Sturz des Patienten bruchgefährdet, und sie ist teuer.

Eine ideale Lösung wäre eine (preiswerte) Metallkugel als Kern mit einer Aluminiumoxidschicht als „Haut“. Eine ganze Reihe von Versuchen, eine solche keramische Beschichtung auf eine Metallkugel aufzubringen, sind bisher unbefriedigend verlaufen. Immer wieder gab es Probleme mit der Haftung oder der Porosität der Keramikschicht. Jetzt ist ein europäisches Forschungskonsortium auf einem vielversprechenden Weg.

Prof. Dr.-Ing. Günter Borchardt vom Institut für Metallurgie und sein Mitarbeiter Dipl. Phys. Gernot Strehl oxidieren einen Hochtemperaturwerkstoff, eine Eisen-Chrom-Aluminiumlegierung (Fe-20Cr-5Al). Bei hohen Temperaturen, aber noch unterhalb der Rekristallisationstemperatur bildet der Werkstoff selbst die Alumini-

umoxidhaut aus. Derart gefertigt, gibt es keine Haftungsprobleme zwischen Metall und Keramik. Die so hergestellte Oxidschicht ist dick genug, um als chemische Barriere zwischen dem Metall und der Körperflüssigkeiten zu wirken, und sie ist unter den simulierten Belastungen des Einsatzes im Körper so abriebfest, dass eine Lebensdauer von 10-20 Jahren prognostiziert wird.

„Die einzig offene Frage ist die Oberflächenbeschaffenheit, denn es bilden sich Nadeln auf der Korundschicht, die im Gegenstück, der Hüftgelenksschale aus Polyethylen, zu Schäden führen würden. Durch eine geeignete Führung des Oxidationsprozesses wollen wir diese Nadelbildung unterdrücken“, erklärt Strehl.

Die europäischen Projektpartner sind das spanische materialwissenschaftliche Forschungslaboratorium CENIM in Madrid, das Unternehmen Surgival in Valencia, das Unternehmen Plansee im österreichischen Reutte, das Biomechanische Institut (IBV) ebenfalls in Valencia, das europäische Forschungszentrum JRC in Ispra und das italienische Orthopädie-Institut (IOR) in Bologna.

Weitere Informationen:

Dipl. Phys. Gernot Strehl
Thermochemie und Mikrokinetik
Prof. Dr.-Ing. G. Borchardt
Technische Universität Clausthal
Robert-Koch-Straße 42
38 678 Clausthal-Zellerfeld
Tel. 0 53 23 / 72 20 94 oder 0 53 23 / 72 31 84
E-Mail: gernot.strehl@tu-clausthal.de