

Schmidt-Wiethoff R, Dargel J

Aktuelle Konzepte zur Diagnose und Therapie der vorderen Kreuzbandruptur

Current concepts in the diagnosis and treatment of anterior cruciate ligament tears

Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln

Zusammenfassung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes verursacht eine gravierende Störung der physiologischen Kinematik des Kniegelenkes. Sowohl als Folge des Traumas als auch sekundär im Sinne instabilitätsassoziierter Schäden werden begleitende meniskale und chondrale Läsionen beobachtet. Deren Ausmaß bestimmt wesentlich die langfristige Funktionalität des Kniegelenkes und somit die Sportfähigkeit des Patienten. Die initial durchgeführte klinische und apparative Untersuchung bildet die Grundlage für die Zuordnung operationspflichtiger bzw. funktionell-konservativ zu behandelnder Verletzungsformen. Die Diagnose der vorderen Kreuzbandruptur wird primär klinisch gestellt und kann durch eine MRT-Diagnostik verifiziert werden. Diese erhält ihren Stellenwert insbesondere zur Darstellung versorgungspflichtiger Begleitschäden. Die Operationsindikation richtet sich nach Alter, Aktivität und Instabilitätssymptomatik. Ziel der Kreuzbandrekonstruktion ist die Wiederherstellung physiologischer Stabilitäts- und Kinematikverhältnisse. Die Operation erfolgt nach Abklingen initialer Entzündungszeichen und wird idealerweise 4-6 Wochen nach der Verletzung terminiert. Der arthroskopische Kreuzbandersatz mittels autologer Patellar- oder Hamstringsehnen-Transplantate hat sich heute als Standard durchgesetzt und weist gute Ergebnisse bezüglich postoperativer Stabilität und Funktionalität auf. Die erfolgreiche Rekonstruktion ist im Wesentlichen abhängig von der anatomisch korrekten Transplantatpositionierung sowie der operativ erreichten Primärstabilität. Gegenwärtige Trends in der Kreuzbandchirurgie zielen auf eine Zwei-Bündel-Rekonstruktion entsprechend der nativen Kreuzbandstruktur als zweifacher Transplantatstrang. Während die Computernavigation eine zunehmende Präzisierung der Ansatzgeometrie des Transplantates verspricht, weisen erste Forschungsergebnisse über den Einsatz autologer Wachstumsfaktoren auf eine potentielle Beschleunigung der Transplantateinheilung hin.

Schlüsselwörter: Vorderes Kreuzband, Begleitverletzungen, Diagnosestellung, Kreuzbandrekonstruktion, Funktionelles Ergebnis

Einleitung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist eine schwerwiegende und im Verlauf oftmals karrierelimitierende Sportverletzung (65). Sie findet sich vorrangig in

Summary

Anterior cruciate ligament injury is regarded critical to the physiological kinematics of the femoral-tibial joint, its disruption causing long-term functional impairment in athletes. Both the initial trauma and the pathologic motion pattern of the injured knee may result in primary and secondary lesions of the medial and lateral meniscus as well as in biomechanical and macroscopical articular cartilage changes which are associated with the early onset of osteoarthritis. The clinical examination remains the key for diagnosing anterior cruciate ligament ruptures and associated injuries. In addition, magnetic resonance imaging is suitable for the detection of subchondral bone lesions and acute meniscal tears. Indications for operative treatment are the participation in sports with a high risk of pivoting, especially at competitive levels, and episodes of giving way. Timing for surgery should regard a non-inflamed knee with full range of motion to be more important with respect to postoperative knee function than the time interval from injury to reconstruction. Autologous graft sources such as the patellar- and hamstring-tendons have become the most frequently used graft types. Critical factors determining surgical success are considered to be the stable graft fixation and the precise anatomical graft placement. Under surveillance of these factors, the literature reports on encouraging mid to long-term clinical and functional outcomes. Current trends in anterior cruciate ligament surgery aim at a two-bundle reconstruction imitating the natural architecture of the ligament. Computer assisted navigation allows for a more precise geometry at the site of insertion of the transplant, and the administration of autologous growth factors appears to have the potential to facilitate the healing process.

Key words: Anterior cruciate ligament, associated injuries, diagnosis, ACL reconstruction, functional outcome

dynamischen Sportarten mit schnellen Richtungswechseln, bei denen neben Abbrems- und Beschleunigungsaktionen zusätzliche Drehbewegungen auftreten. Prädisponierende Sportarten sind die so genannten High-risk-pivoting Sportarten wie Fußball, Hockey, Volleyball, Ski-Alpin, Tennis und Basketball.

Der häufigste Mechanismus, der zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes führt, ist eine Kombination aus Flexion, Abduktion und Außenrotation im Kniegelenk bei relativer Fixierung von Fuß und Unterschenkel (53). Ferner stellen das Flexions-Varus-Innenrotationstrauma sowie die Hyperextension des Kniegelenkes typische Unfallmechanismen dar (66).

Die vordere Kreuzbandruptur ist in einem hohen Prozentsatz mit chondralen und meniskalen Begleitverletzungen kombiniert (69). Die häufigsten Begleitschäden betreffen den medialen und lateralen Meniskus sowie das mediale Seitenband (7, 45, 59, 66). Isolierte Kreuzbandrupturen treten dagegen selten auf. Als typisches Verletzungsmuster ist die von O'Donoghue beschriebene Kombination aus vorderer Kreuzbandruptur, Innenmeniskus- und Innenbandläsion bekannt (49). Ferner werden im Rahmen der vorderen Kreuzbandverletzung akut traumatische Gelenkknorpelverletzungen (Abbildung 1) sowie in bis zu 80% osteochondrale Kontusionsverletzungen des lateralen Femurkondylus beobachtet (32).

Nach einer vorderen Kreuzbandruptur steht für die

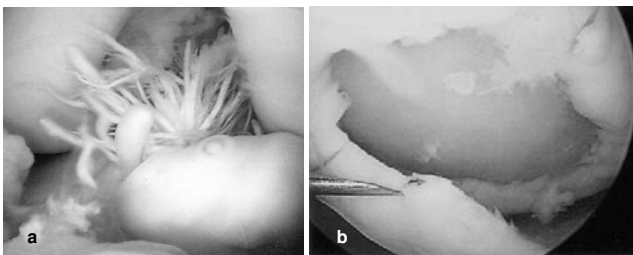


Abbildung 1: Arthroskopischer Befund einer frischen vorderen Kreuzbandruptur. a) Aufgefaserter und partiell abgerundeter Kreuzbandstumpf bei Komplett ruptur. b) Assoziierter traumatischer Knorpelschaden der medialen Femurkondyle.

meisten Patienten der Wunsch des Wiedererreichens der Sportfähigkeit im Vordergrund (46). Wenngleich beim muskulär und koordinativ geschulten Sportler die Instabilität unter konservativen Therapiemaßnahmen anfänglich kompensiert werden kann, sind im weiteren Verlauf jedoch nur noch wenige dieser Patienten sportlich aktiv oder hinreichend belastbar (22). Ausschlaggebend hierfür sind die mit der Kreuzbandinsuffizienz einhergehenden kinematischen Veränderungen.

Pathomechanisch führt die vordere Kreuzbandruptur zu einer Desintegration der Roll-Gleitbewegung zwischen Femur und Tibia. Als Folge der pathologischen Entkopplung des Roll-Gleit-Mechanismus werden die Hinterhörner der Menisken vermehrt zur Abbremsung der Tibiatranslation eingesetzt (47). Daraus resultiert eine chronische Überbeanspruchung dieser Strukturen (Abbildung 2). Aus den Kenntnissen über die kinematischen Veränderungen nach vorderer Kreuzbandruptur lässt sich die Kaskade der Entwicklung sekundärer degenerativer Begleitschäden mit der finalen Folge der instabilitätsbedingten Arthropathie ableiten (13). Allerdings führt nicht jede unbehandelte Kreuzbandruptur zur Arthrose. Der Langzeitverlauf hängt in erster Linie vom Zustand der Menisken ab, d.h. vom

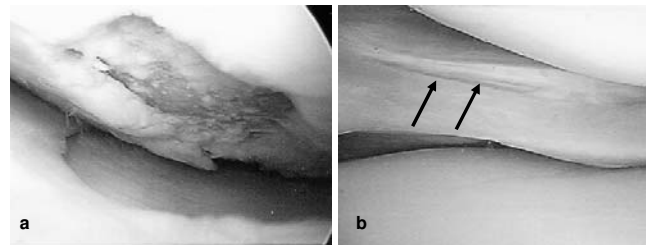


Abbildung 2: Sekundäre Begleitschäden bei chronischer vorderer Knieinstabilität. a) Degenerativer Knorpelschaden mediale Femurkondyle. b) Vertikaler Längsriss (Pfeile) des Außenmeniskus-Hinterhorns.

Zeitpunkt sekundärer Meniskusverletzungen und der Art deren Behandlung.

Vor diesem Hintergrund sowie angesichts der rasanten Entwicklung mit immer neuen Diagnose- und Therapiestrategien aktualisiert und diskutiert die vorliegende Übersichtsarbeit aktuelle Standards und Trends in der Chirurgie des vorderen Kreuzbandes.

Klinische Diagnostik

Die unmittelbaren Symptome der akuten Kreuzbandverletzung sind Schmerzen und Funktionseinschränkung, ein initial entstehender blutiger Kniegelenkserguss sowie ein in Abhängigkeit vom Ausmaß der Begleitschäden vorhandenes Instabilitätsgefühl (36). Die Freisetzung proinflammatorischer Zytokine führt in den ersten Tagen nach einer Knieverletzung zu einer „pseudo-entzündlichen“ Reaktion, welche die Aussagekraft klinischer Untersuchungsparameter beeinträchtigen kann. Im Postprimärstadium (ca. zwei bis vier Wochen nach Trauma) wird mit Absinken der Zytokinkonzentration ein „reizarmer Zustand“ erreicht, in welchem die vordere Kreuzbandruptur mit hoher Sicherheit klinisch diagnostiziert werden kann (42, 16).

Die klassischen Stabilitätstests basieren auf der Kenntnis, dass die anteriore Tibiatranslation bei Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes vermehrt ist. Entsprechend fällt die sogenannte „vordere Schubladenprüfung“ in 90° Knieflexion bei insuffizientem vorderem Kreuzband positiv aus. Bei frischer Ruptur sowie intaktem medialen Seitenbandapparat weist der Schubladentest jedoch eine deutlich geringere diagnostische Sensitivität auf. Demgegenüber liefert die extensionsnahe Translationsprüfung bei 20° bis 30° gebeugtem Kniegelenk (Lachman Test) auch im Akutstadium eine hohe Treffsicherheit (16). Neben der quantitativen Beurteilung der sagittalen Tibiaverschieblichkeit ist die Charakteristik des Anschlagphänomens diagnostisch wegweisend. Der Untersucher beurteilt hiermit das durch das vordere Kreuzband kontrollierte Abbremsverhalten der Tibiabewegung.

Zentrale Bedeutung bei der klinischen Stabilitätsprüfung erfährt die Auslösbarkeit des anterioren Subluxationsphänomens (Pivot-shift-Test) (25). Dabei wird eine extensionsnahe Subluxation des lateralen Tibiaplateaus mit spürbarer

Reposition durch Spannungsanstieg des Tractus iliotibialis bei zunehmender Beugung im Kniegelenk provoziert. Der positive Ausfall gilt als pathognomonisch für die Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes (47). Die sukzessive Verwendung der drei Rotationsstellungen der Tibia (Innen-, Neutral- und Außenrotation) ermöglicht die Graduierung der klinisch manifesten Instabilität (31). Klinisches Korrelat der anterioren Subluxation ist ein subjektiv geäußertes Unsicherheitsgefühl, welches der Patient im Alltag als unwillkürliches Wegknicken des Kniegelenkes, als so genanntes „giving-way Phänomen“ registriert (47).

Im Kontext einer instrumentierten Stabilitätsmessung, insbesondere auch zur standardisierten prä- und postoperativen Knieevaluation, hat sich die Verwendung von Kniearthrometern etabliert (15, 52). Der einfachen manuellen Handhabung steht gegenüber, dass es sich um die Erfassung rein translatorischer Bewegungen in sagittaler Ebene handelt, während sich gekoppelte kompartimentäre Bewegungen entlang der Rotationsachse einer instrumentellen Beurteilung entziehen.

Bildgebende Untersuchungen

Die konventionelle Röntgendiagnostik des verletzten Kniegelenkes in zwei Ebenen, ergänzt durch eine axiale Zielaufnahme der Patella, erfolgt standardisiert zum Abschluss knöcherner Verletzungen. Die Indikation zur Kernspintomografie ist bei entsprechender Traumaanamnese insbesondere zur Darstellung versorgungspflichtiger Begleitverletzungen, wie akuten Gelenkknorpelverletzungen oder nahtfähigen Meniskusläsionen, gegeben (4, 11). Als direkte kernspintomografische Zeichen der Kreuzbandverletzung sind der abnorme Bandverlauf mit inhomogener Signalveränderung und die ligamentäre Kontinuitätsunterbrechung zu werten (Abb. 3a). Indirekte kernspintomografische Zeichen sind:

- Dorsalverlagerung des Außenmeniskus
- Ventralisation des Tibiakopfes
- Abnormer Verlauf des hinteren Kreuzbandes
- Kontusionsödem (bone bruise) lateraler Femurkondylus und dorsolaterales Tibiaplateau (Abb. 3b).

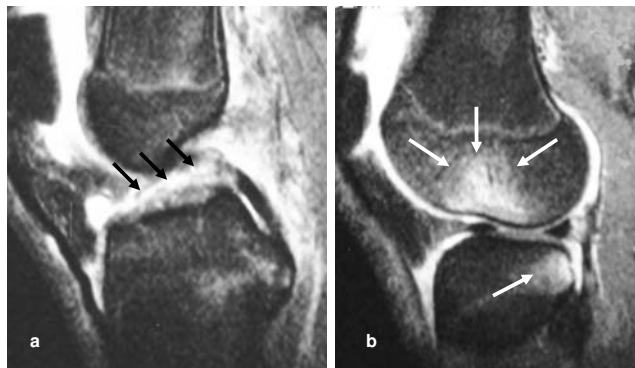


Abbildung 3: Kernspintomografischer Befund einer frischen vorderen Kreuzbandruptur. a) Kontinuitätsunterbrechung der vorderen Kreuzbandstruktur (Pfeile). b) Kontusionsödem lateraler Femurkondylus und dorsolaterales Tibiaplateau (bone bruise, Pfeile).

Sensitivität und Spezifität der Kernspintomografie bei vorderer Kreuzbandruptur werden zwischen 75 und 95% beziehungsweise 95 und 100% angegeben. Der kernspintomografische Nachweis osteochondraler Kontusionsherde korreliert mit einer nachgewiesenen Störung des Knorpelzellstoffwechsels. Derzeit bleibt jedoch noch unklar, inwiefern derartige Kontusionsherde durch ein restriktives Belastungsprotokoll im Sinne einer temporären Teilbelastung begleitet werden sollten (14, 32). Vor diesem Hintergrund erhält die Magnetresonanztomographie in Zukunft eine zusätzliche klinische Relevanz

Differentialindikation

Die Operationsindikation richtet sich nach der individuellen Symptomatik, dem Patientenalter, dem sportlichen Belastungsprofil sowie dem Ausmaß begleitender Gelenkschäden (6, 20, 72). Ein konservativer Behandlungsversuch ist bei geringer Instabilitätssymptomatik und niedrigem körperlichen Belastungsanspruch sowie bei Kreuzbandteiltrupturen mit hohem muskulärem Kompensationspotential gerechtfertigt (50). Indikationen zur operativen Kreuzbandrekonstruktion stellen hingegen ein hohes Aktivitätsniveau, ein hoher sportlicher Leistungsanspruch sowie das Vorliegen assoziierter Meniskus- und Knorpelschäden dar. Bei Kreuzbandverletzungen im Kindes- und Jugendalter sollte wegen des ungünstigen natürlichen Verlaufs mit sekundären Meniskusläsionen und dem frühzeitigem Auftreten von Arthrosezeichen eine primäre operative Rekonstruktion unter Berücksichtigung der Wachstumsprognose erwogen werden. Als Goldstandard bei offenen Wachstumsfugen hat sich die arthroskopische transepiphysäre Einkanaltechnik mittels autologer Semitendinosussehnentransplantate und gelenkferner Transplantatfixation etabliert (2, 58, 62).

Die Indikation zur Arthroskopie als rein diagnostische Maßnahme im Vorfeld der eigentlichen Rekonstruktion oder zur ausschließlichen Behandlung von meniskalen und chondralen Begleitverletzungen ist kritisch zu werten. Ausnahmen stellen akute Gelenkblockierungen, frische Flake Frakturen und nahtfähige Meniskusläsionen dar, deren Behandlung primär erfolgen sollte. Die Forderung aus früheren Zeiten, dass „jedes Kniegelenk mit einem Hämarthros arthroskopiert werden müsse“, kann in dieser Form heute nicht mehr bestätigt werden (67). In Kenntnis der Risiken, insbesondere einer erhöhten synovialen Vernarbungsstendenz, ist die Arthroskopie in der Akutphase nach vorderer Kreuzbandverletzung nur in Ausnahmefällen sowie vor dem Hintergrund einer gleichzeitigen operativen Rekonstruktion indiziert.

Aktuelle Operationsverfahren

Optimierte Operationstechniken, ein geringes Weichteiltrauma sowie die präzise Wiederherstellung der

physiologischen Gelenkinematik sind die Anforderungen an die moderne Kreuzbandchirurgie. Während sich kreuzbandrefixierende Nahtverfahren (19) sowie die Implantation synthetischer Kunstbänder aufgrund der publizierten negativen Effekte wie Abrieb, Synovialitis, Kriechverhalten und Materialermüdung (26, 48) längerfristig nicht etablieren konnten, hat sich heute der arthroskopisch assistierte Kreuzbandersatz mittels autologer Sehnentransplantate durchgesetzt. Verwendet werden Patellarsehnenstreifen mit endständigen Knochenblöcken sowie Hamstringsehnentransplantate (Semitendinosus- und Gracilissehne) in dreifach- und vierfach-Bündeltechnik (5, 17, 51). Gemeinsame Eigenschaft dieser Transplantate ist eine mit dem natürlichen vorderen Kreuzband vergleichbare Zerreißkraft und Elastizität. Dennoch unterscheiden sich die Transplantate hinsichtlich ihrer Spenderpathologie und ihrer Verankerungsmöglichkeiten. Die Patellarsehne stellt als "Bone-Tendon-Bone-Transplantat" aufgrund der



Abbildung 4: Arthroskopischer Befund nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion. Ersatzplastik mit Patellarsehnentransplantat.

Möglichkeit der gelenknahen und primärstabilen Fixation sowie der raschen Einheilung der endständigen Knochenblöcke das bis heute am weitesten verbreitete Transplantatmedium für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes dar (Abb. 4) (1). Nachteile des Patellarsehnentransplantates sind die Entnahmestellenmorbidity und eine vermehrt auftretende postoperative femoropatellare Schmerzsymptomatik (23).

Vorteile bei der Verwendung von Hamstringsehnen sind dem gegenüber vor allem in der geringeren Entnahmestellenmorbidity und einer Schonung des Extensorenmechanismus zu sehen. Relevante Störungen der Beugesehnenfunktion durch das Entfernen der Semitendinosussehne entstehen nicht (38). Die Hauptproblematik der Semitendinosus- und Gracilissehnenplastik ist die Weichteilfixierung der freien Sehnenenden im Knochen. Diese ist gemäß biomechanischen Testungen weniger stabil als die Fixation endständiger Knochenblöcke (10). In einigen spezialisierten Zentren wird derzeit bei Verwendung der Hamstringsehnentransplantate eine Zwei-Bündel-Rekonstruktion favorisiert. Bei dieser Technik erfolgt der Kreuzbandersatz entsprechend der nativen Kreuzbandstruktur als zweifacher Transplantatstrang, dem anteromedialen und posterolateralen Faserbündel entsprechend (12, 17, 34). Der bisher nur in experimentellen Simulationen belegten höheren biomechanischen Effizienz der Zwei-Bündel-Rekonstruktion steht jedoch eine aufwendigere Operations- und Verankerungstechnik gegenüber, deren langfristige Effizienz hinsichtlich einer optimierten Kniegelenksstabilisierung jedoch bislang nicht nachgewiesen werden konnte.

Das Quadrizepssehnentransplantat mit endständigem patellarem Knochenblöckchen findet vorwiegend in der

Revisionschirurgie Anwendung. Den mit dem natürlichen Kreuzband vergleichbaren biomechanischen Transplantateigenschaften steht eine operationstechnisch anspruchsvolle Transplantatentnahme gegenüber, welche sich zur Erstversorgung der Kreuzbandruptur nicht generell durchsetzen konnte (64).

Allogene Transplantate finden vorwiegend im amerikanischen Raum Anwendung und sind in Deutschland nur bedingt zugelassen. Vorteil dieser Methode ist der Wegfall der Entnahmestellenmorbidity. Nachteilig sind hingegen mögliche Immunreaktionen sowie eine nachgewiesene höhere Versagensrate (61).

Gemeinsames Ziel sämtlicher Rekonstruktionstechniken ist die primärstabile Transplantatverankerung. Hierfür stehen verschiedene Fixationsmaterialien wie metallische oder bioabsorbierbare Interferenzschrauben, Staples, Pins sowie Fixationsbuttons zur Verfügung (Abb. 5). Für alle gegenwärtig verwendeten Systeme wurde eine den postoperativen Stabilitätsanforderungen gerecht werdende Verankerungsfestigkeit nachgewiesen (10, 37, 41).

Prinzipiell sind gelenknahe (anatomische) und gelenkferne (extraanatomische) Fixationstechniken zu unterscheiden. In Abhängigkeit von der gewählten Verankerung stellen Transplantattunnelbewegungen und konsekutive Tunnelaufweitungen mögliche Probleme nach Kreuzbandersatzplastik dar. Besonders ausgeprägt findet sich dieses Phänomen bei allen extraanatomischen, gelenkfernen Fixationen. Eine gelenknahe Verankerung hat neben einer verbesserten Transplantatometrie den Vorteil, dass Längenänderungen des Transplantates innerhalb des Bohrtunnels vermieden werden, was einen wesentlichen Vorteil für das Transplantateinheilverhalten darstellt (70). Bei Verwendung des Ligamentum patellae hat sich die Press-fit Fixation zur implantatfreien und gelenknahen Verankerung etabliert (9, 29, 56). Letztendlich muss jedoch die Transplantatverankerung bis zur ossären Einheilung als eigentliche Schwachstelle der Kreuzbandplastik angesehen werden (3).

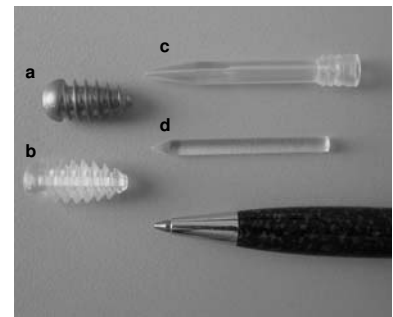


Abbildung 5: Fixationsmaterialien zur Kreuzbandrekonstruktion. a) Titan-, b) Interferenzschraube, c) Transfix®, d) Rigidfix®. Kugelschreiber zum Größenvergleich.

Zeitpunkt der Operation

Der „ideale“ Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion ist umstritten. Entscheidende Bedeutung kommt der initial nach einer Verletzung einsetzenden inflammatorischen Reaktion zu (30). Bei frischer Ruptur kann der Eingriff im Sinne der Primärversorgung innerhalb der ersten 24 bis 48 Stunden erfolgen. Diese Option kommt vornehmlich bei Spitzensportlern zur Anwendung, bei denen eine

Akutversorgung vor dem Hintergrund minimaler Ausfallzeiten und der Maßgabe einer optimierten leistungsorientierten Rehabilitation vorgenommen wird. Weitere Indikationen für eine Primärrekonstruktion bilden der knöcherne Kreuzbandauriss sowie akut versorgungspflichtige Begleitverletzungen wie nahtfähige Meniskusrupturen oder komplexe Kniebandinstabilitäten mit Komplettrupturen des Kollateralbandsystems (35). In den übrigen Fällen wird der Operationszeitpunkt nach Abklingen der Entzündungsreaktionen nach einem 4- bis 6-wöchigen Intervall geplant. Während der inflammatorischen Phase ist die operative Versorgung aufgrund der nachgewiesenen erhöhten Komplikationsrate im Sinne postoperativer Bewegungsstörungen (Arthrofibrose) generell nicht indiziert (60). Eine Verkürzung der „6 Wochen-Frist“ ist möglich und vertretbar, wenn sich das Gelenk bereits vorzeitig in einem reizfreien Zustand befindet (6, 7, 30). Bis zum Operationszeitpunkt wird das Gelenk funktionell konservativ behandelt. Der präoperative Einsatz stabilisierender Knieorthesen ist bei ausgeprägter Instabilitätssymptomatik und bei begleitenden Läsionen des medialen Seitenbandes indiziert (67).

Management von Begleitverletzungen

Verletzungen des Innenseitenbandkomplexes können aufgrund der guten Spontanheilungstendenz meist konservativ behandelt werden. Eine Ausnahme bildet die komplette Zerreißen des medialen Kapselbandkomplexes mit Beteiligung des hinteren Schrägbandes und der dorsomedialen Kapsel. Hier ist eine Operationsindikation mit Naht der rupturierten Bandstrukturen gegeben. Verletzungen auf der Lateralseite des Kniegelenkes zeigen im Allgemeinen keine günstige Spontanprognose. In diesen Fällen sollte eine operative Akutrekonstruktion angestrebt werden (40).

Bei dislozierten Meniskusrissen kann eine Bewegungsblockade bei Beugung oder Streckung des Kniegelenkes auftreten, wodurch sich eine operationspflichtige Notfallindikation ergibt. Frische basisnahe und gut durchblutete Längsrisse des Innen- und Außenmeniskus können zumeist mittels minimalinvasiver arthroskopischer Techniken refixiert werden. Nicht nahtfähige bzw. degenerative Horizontal-, Radial- und Lappenrisse werden hingegen sparsam reseziert.

Heilungsvorgänge nach Kreuzbandersatz

Die biologischen Transplantate sind avital und unterliegen einem natürlichen Umbauprozess der Nekrotisierung und Revitalisierung. Der intraartikuläre Bandanteil erfährt im Sinne einer „Ligamentisierung“ eine biochemische Adaptation. Ein Jahr postoperativ zeigt das Transplantat eine dem nativen vorderen Kreuzband entsprechende Kollagenfaservernetzung und Faseraus-

richtung (44). Während die knöcherne Einheilung der Transplantatenden in Abhängigkeit der Transplantatfixation nach einem Zeitintervall von 12 Wochen postoperativ angegeben wird, erreicht das Transplantat makroskopisch nach 6 Monaten sein relatives Querschnittsmaximum (68). Bei entsprechend suffizienter muskulärer und propriozeptiver Rehabilitation ist mit einer belastungsstabilen Wiederherstellung des kreuzbandverletzten Kniegelenkes nach einem halben Jahr zu rechnen. Durch den Einsatz autologer Wachstumsfaktoren ist eine im Tierexperiment nachgewiesene Beschleunigung des Transplantatumbaus möglich (71). Art, Applikation und Dosierung adjuvant eingesetzter Wachstumsfaktoren sind Gegenstand aktueller Forschung.

Stellenwert der Computernavigation

Die Präzision der Transplantatpositionierung ist für die postoperative Kinematik des Kniegelenkes von entscheidender Bedeutung (39, 63, 68). Fehlerhaft positionierte Ansatzareale führen zu einer unphysiologischen Transplantatlängen- und -Spannungsänderung und bergen ein erhöhtes Risiko postoperativer Bewegungsdefizite sowie eines frühzeitigen Transplantatversagens. Analysen von Revisionsoperationen weisen darauf hin, dass fehlerhaft positionierte Transplantate die häufigste Versagensursache nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes darstellen (67, 73). In Konsequenz ergibt sich, dass die Wiederherstellung der Funktion des vorderen Kreuzbandes entscheidend von den anatomischen Referenzpunkten zur Erhaltung der physiologischen Verlaufsrichtung und möglichst konstanter Bandspannungen des Transplantates abhängt (24, 31). Gegenstand zukunftsweisender technischer Entwicklungen ist daher im Rahmen der computerassistierten Navigationschirurgie, die intraartikuläre Transplantatpositionierung zu präzisieren sowie den geplanten Bandverlauf intraoperativ zu simulieren. Der höheren Reproduzierbarkeit der Bohrkanaalpositionierung steht derzeit der operative und technische Mehraufwand gegenüber, der die flächendeckende Akzeptanz der Kreuzbandnavigation beeinflusst (54).

Nachbehandlung

Die Rehabilitation nach Kreuzbandrekonstruktion stellt eine bedeutsame Komponente des Therapiekonzeptes dar. Das primäre Ziel rehabilitativer Maßnahmen ist einerseits die frühzeitige Wiedererlangung eines freien Bewegungsumfanges, adaptierter Belastbarkeit sowie muskulärer Kontrolle und Koordination ausgerichtet. Andererseits werden aktuelle Nachbehandlungskonzepte den wissenschaftlich nachgewiesenen Transplantatumbauprozessen angepasst und orientieren sich neben den klinischen Parametern (Schwellung, Trophik, Reizzustand) an den

operativen Individualitäten (Begleitverletzungen, Transplantatwahl und Fixationstechnik). Gegenwärtig ist das in den 90er Jahren propagierte akzelerierte Rehabilitationsprogramm (59) einer adaptierten und restriktiveren postoperativen Therapieplanung gewichen und berücksichtigt die individuelle Gewebereaktion und den Heilungsverlauf (66). Die postoperative Versorgung des Patienten mittels einer das Kniegelenk stabilisierenden Knieorthese wird kontrovers gehandhabt, kann jedoch gerade beim sportlich Aktiven erwogen und temporär verordnet werden (8).

Ergebnisevaluation

Weder Patellarsehnentransplantate noch Hamstringssehnentransplantate konnten in den letzten Jahren gegenüber dem jeweils konkurrierenden Verfahren eindeutige und insbesondere konsistente Vorteile aufweisen (28). Eine vergleichende Metaanalyse von Freedman et al. konnte nachweisen, dass die Patellarsehnensehnoplastik generell der stabilere und mit einer geringeren Quote an Transplantatversagen behaftete Bandersatz ist (23). Dem gegenüber stellt der vordere Knieschmerz, den im Mittel 17% der Patienten als Folgeerscheinung der Entnahme des Patellarsehnentransplantates angeben, einen wesentlichen Nachteil gegenüber Hamstringsehnentransplantat dar. Entsprechend konnten Goldblatt et al. in einer Metaanalyse, welche 11 randomisierte bzw. prospektive Studien mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 2 Jahren einschloss, verdeutlichen, dass der vordere Kreuzbandersatz mittels Patellarsehnentransplantat in den Funktions- und Stabilitätsparametern (Lachman-Test, Pivot-shift-Phänomen und resultierendes Beugedefizit) dem Hamstringsehnentransplantat signifikant überlegen ist (27). Die Untersuchungsparameter patellofemorale Krepitation, resultierendes Streckdefizit und vorderer Knieschmerz hingegen weisen einen signifikanten Vorteil der Kreuzbandrekonstruktion mittels Hamstringsehne auf. Bezüglich der subjektiven Parameter lässt sich generell in bis zu 95% eine hohe Patientenzufriedenheit nachweisen (18, 23, 43). Klinische Studien zeigen jedoch, dass Patienten ohne begleitende Meniskus- und Knorpelschäden signifikant bessere Resultate nach Kreuzbandrekonstruktion sowohl in subjektiven als auch in objektiven Parametern erzielen (33). Unbefriedigende postoperative Ergebnisse können auch operationstechnisch bedingt sein. Insbesondere ist die anatomisch und funktionell fehlerhafte Transplantatpositionierung sowie die operative Versorgung innerhalb der inflammatorischen Phase von Komplikationen im peri- und postoperativen Verlauf abzugrenzen.

Sportfähigkeit

Die erfolgreiche Rückkehr eines kreuzbandverletzten Sportlers zu leistungsorientierter und sportlicher Aktivität

ist in hohem Maße von begleitenden Meniskusläsionen und Knorpelschäden abhängig, die im Verlauf eine zunehmende Arthrose mit deren Folgebeschwerden verursachen können (22). Obwohl optimistische Resultate hinsichtlich der Wiedererlangung der Funktionalität und der Sportfähigkeit vorliegen, ist der Prozentsatz der Patienten, die eine Einschränkung der Aktivität aufgrund von Beschwerden im verletzten Knie angeben, relativ hoch (21). Die Einschränkungen betreffen vorrangig Patienten aus Sportarten der High-risk-Kategorie, wie Fußball oder Ski-Alpin. Dem entsprechend wird gerade in diesen Disziplinen ein deutlicher Rückgang der Sportfähigkeit deutlich. Schweiger et al. (57) fanden im Bereich der High-risk-Sportarten einen Rückgang von 34% der Patienten aufgrund von Beschwerden im verletzten Knie. Fink et al. (21) konstatieren, dass eine symptomfreie Rückkehr insbesondere zu Sportarten der High-risk-Kategorie nur in Ausnahmefälle zu erreichen sei.

Müller et al. (46) sind der Ansicht, dass die Wiederaufnahme einer High-risk-pivoting-Sportart nur durch Erreichen einer optimalen Kniestabilität möglich ist. Die Autoren konnten in ihrem Kollektiv zeigen, dass bei High-risk-Sportlern eine signifikante Korrelation zwischen der postoperativen Kniestabilität und der Sportaktivität besteht. Dieser Zusammenhang konnte in eigenen Untersuchungen jedoch nicht bestätigt werden (55). Neben der Knielaxizität scheinen hier weitere Parameter wie persistierende Entnahmestellenprobleme, muskuläre und koordinative Defizite sowie Einschränkungen aufgrund assoziierter Gelenkschäden eine Rolle zu spielen.

Bezüglich des Zeitpunktes der Rückkehr zu der vor der Verletzung ausgeübten Sportaktivität existieren in der Literatur Angaben zwischen 4 und 12 Monaten. Athleten, die vor Ihrer Verletzung auf Wettkampfniveau Sport ausübten, zeigen bezüglich der Zeitspanne bis zur Wiederaufnahme der Sportaktivität bessere Ergebnisse als weniger aktive Sportler (55). Gründe dafür sind nicht zuletzt, dass der leistungssportlich orientierte Patient ein hohes Maß sportmotorischer Vorerfahrungen besitzt, was für das postoperative Rehabilitationsprogramm und die Rückkehr zu vor der Verletzung ausgeübten Sportarten vorteilig ist.

Fazit

Gemäß dem aktuellen Kenntnisstand zur vorderen Kreuzbandverletzung kann schlussfolgernd konstatiert werden:

- Die vordere Kreuzbandverletzung hat gravierende Veränderungen der physiologischen Kniegelenkskinematik und damit auch eine Limitierung der Sportfähigkeit zur Folge.
- Die klinische Untersuchung des verletzten Kniegelenkes ist diagnostisch wegweisend. Neben der konventionellen Röntgenuntersuchung ist die Kernspintomografie zur Beurteilung primär versorgungspflichtiger Begleitverletzungen indiziert.

- Die Operationsindikation richtet sich nach dem Patientenalter, dem Aktivitätsprofil und den Instabilitätsbeschwerden sowie dem Ausmaß meniskaler und chondraler Begleitverletzungen.
- Empfohlene Operationszeitpunkte sind in Ausnahmefällen die Primärversorgung innerhalb der ersten 48 Stunden nach Verletzung sowie die Sekundärrekonstruktion nach Abklingen der inflammatorischen Phase und freiem Bewegungsumfang des Kniegelenkes.
- Heutige Operationstechniken unter Verwendung autologer Sehnentransplantate weisen hinsichtlich der Wiederherstellung der Kniegelenksfunktion und Stabilität hohe Erfolgsraten auf.
- Die Erwartungen an das postoperative Resultat werden maßgeblich durch die operativ erreichte präzise Wiederherstellung der physiologischen Kniegelenkskinematik beeinflusst.
- Postoperativ persistierende Beschwerden sind in hohem Maße auf begleitende Meniskusläsionen und Knorpelschäden zurückzuführen, die im Verlauf eine zunehmende Arthrose mit deren Folgebeschwerden verursachen können.

Literatur

1. Aglietti P, Buzzi R, Giron F, Simeone AJV, Zaccherotti G: Arthroscopic assisted anterior cruciate ligament reconstruction with the central third patellar tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 5 (1997) 138-144.
2. Aichroth P: The natural history and treatment of ACL ruptures in children and adolescents. *J Bone Joint Surg* 84 (2002) 38-41.
3. Amis AA: The strength of artificial ligament anchorages: a comparison experimental study. *J Bone Joint Surg* 70 (1988) 397-403.
4. Barry KP, Mesgarzadeh M, Triolo J, Moyer R, Tehraazadeh J, Bonakdarpour A: Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal Radiol* 25 (1996) 365-370.
5. Becker R, Starke C, Schröder M, Nebelung W: Biomechanische Eigenschaften tibialer Fixationsverfahren von Hamstring-Transplantaten zur Kreuzbandrekonstruktion. *Arthroskopie* 13 (2000) 314-317.
6. Benedetto KP: Der „Gold-Standard“ beim Kreuzbandersatz. *Chirurg* 66 (1995) 1061-1070.
7. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE: Treatment of anterior cruciate ligament injuries, Part I. *Am J Sports Med* 33 (2005) 1579-1602.
8. Birmingham TB, Kramer JF, Kirkley A, Inglis JT, Spaulding SJ, Vandervoort AA: Knee bracing after ACL reconstruction: effects on postural control and proprioception. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 1253-1258.
9. Boszotta H: Arthroskopische femorale Press-fit-Fixation des Lig.-patellae-Transplantats beim Ersatz des vorderen Kreuzbands. *Arthroskopie* 10 (1997) 126-132.
10. Brand J, Weiler A, Caborn DNM, Brown CH, Johnson DL: Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 28 (2000) 761-774.
11. Brandser EA, Riley MA, Berbaum KS, el-Khoury GY, Bennett DL: MR imaging of anterior cruciate ligament injury: independent value of primary and secondary signs. *Am J Roentgenol* 167 (1996) 121-126.
12. Brucker PU, Lorentz S, Imhoff AB: Anatomic fixation in double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Orthop* 15 (2005) 135-139.
13. Caborn DM, Johnson BM: The natural history of the anterior cruciate ligament-deficient knee. A review. *Clin Sports Med* 12 (1993) 625-636.
14. Costa-Paz M, Muscolo DL, Ayerza M, Makino A, Aponte-Tinajero L: Magnetic resonance imaging follow-up study of bone bruises associated with anterior cruciate ligament ruptures. *Arthroscopy* 17 (2001) 445-449.
15. Daniel DM, Sachs R, Stone ML, Malcom L: Instrumented measurement of anterior laxity in patients with acute ACL disruption. *Am J Sports Med* 13 (1989) 401-407.
16. Donaldson WF, Warren RF, Wickiewicz T: A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations. Initial versus examination under anesthesia. *Am J Sports Med* 13 (1985) 5-10.
17. Eichhorn J, Strobel M: Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit der Quadrupel-Semitendinosussehne in der 2-Kanal-Technik mit Dualbuttonfixation. *Arthroskopie* 10 (1997) 2-249.
18. Engebretsen L, Benum P, Fasting O, Molster A, Strand T: A prospective, randomized study of three surgical techniques for treatment of acute ruptures of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 18 (1990) 585-590.
19. Feagin JA, Curl WC: Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5 years follow-up study. *Am J Sports Med* 4 (1976) 95-100.
20. Fink C, Benedetto KP, Hoser C, Hackl W: Indikation zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands. *Arthroskopie* 10 (1997) 229-235.
21. Fink C, Hoser C, Benedetto KP: Sportfähigkeit nach vorderer Kreuzbandruptur - operative versus nicht operative Therapie. *Akt Traumatol* 23 (1993) 371-375.
22. 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* 22 (2001) 304-309.
23. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR: Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: A metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med* 31 (2003) 2-11.
24. Friederich NF, O'Brien WR: Zur funktionellen Anatomie der Kreuzbänder. In: Jakob RP, Stäubli HU (Hrsg.): *Kniegelenk und Kreuzbänder*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1990, 80-95.
25. Galway R, Beaupre A, McIntosh DL: Pivot shift - A clinical sign of symptomatic anterior cruciate ligament insufficiency. *J Bone Joint Surg* 54 (1972) 763-764.
26. Gillquist J: Kreuzbandprothesen. Techniken, Ergebnisse und Perspektiven. *Orthopäde* 22 (1993) 381-385.
27. Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC: Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy* 21 (2005) 791-803.
28. Herrington L, Wrapson C, Matthews M, Matthews H: Anterior cruciate ligament reconstruction, hamstring versus bone-patella tendon-bone grafts: a systematic literature review of outcome from surgery. *Knee* 12 (2005) 41-50.
29. Hertel P, Behrend H, Cierpinski T, Musahl V, Widjaja G: ACL reconstruction using bone-patellar tendon-bone press-fit fixation: 10-year clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13 (2005) 248-255.
30. Irie K, Uchiyama E, Iwaso H: Intraarticular inflammatory cytokines in acute anterior cruciate ligament injured knee. *Knee* 10 (2003) 93-96.
31. Jakob RP, Stäubli HU (Hrsg.): *Kniegelenk und Kreuzbänder*. Berlin; Springer Verlag, 1990.
32. Johnson DL, Urban WP, Caborn DNM, Vanarthos 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* 26 (1998) 409-414.
33. Kartus JT, Russel VJ, Salomon LJ, Magnusson LC, Brandsson S, Pehrsson NG, Pinczewski LA: Concomitant partial meniscectomy worsens outcome after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 73 (2002) 179-185.
34. Kennedy JC, Weinberg HW, Wilson AS: The anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg* 56 (1974) 223-235.
35. Klein W: Arthroskopisch-chirurgische Bandplastik im Kniegelenkbereich. *Orthopäde* 16 (1987) 157-167.
36. Kohn D, Schneider G, Dienst M, Rupp S: Diagnostik der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31 (2002) 719-730.
37. Kurosaka M, Shinichi Y, Andrich JT: A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 15 (1987) 225-229.
38. Lipscomb AB, Johnston RK, Snyder RB, Warburton MJ, Gilbert PP: Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 10 (1982) 340-342.
39. Lobenhoffer P, Bernard M, Agneskirchner J: Qualitätssicherung in der Kreuzbandchirurgie. Methoden zur Beurteilung der Bohrkäme bei der vorderen Kreuzbandplastik. *Arthroskopie* 16 (2003) 202-208.

40. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD: Vorderes Kreuzband – was ist gesichert? *Arthroskopie* 18 (2005) 11-14.
41. Magen HE, Nowell SM, Hull ML: Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts. *Am J Sports Med* 27 (1999) 35-43.
42. Malanga GA, Andrus S, Nadler SF, Mc Lean J: Physical examination of the knee: a review of the original test description and scientific validity of common orthopaedic tests. *Arch Phys Med Rehabil* 84 (2003) 592-603.
43. Marder RA, Raskind JR, Carroll M: Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction. Patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon. *Am J Sports Med* 19 (1991) 478-484.
44. Marumo K, Saito M, Yamagashi T, Fujii K: The „ligamentization“ process in human anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar and hamstring tendons. *Am J Sports Med* 33 (2005) 1166-1173.
45. Metak G, Scherer MA: Beanspruchungswandel der Menisken bei Läsion des vorderen Kreuzbandes. In: Hasselbach C, Scherer MA, eds.: *Wiederherstellende Chirurgie des vorderen Kreuzbandes*. Gräfeling: Demeter, 1995, 18-27.
46. Müller B, Rupp S, Kohn D, Seil R: Sportfähigkeit nach arthroskopisch assistierter vorderer Kreuzbandplastik mit dem mittleren Drittel der Patellarsehne. *Arthroskopie* 13 (2000) 298-301.
47. Müller W: *Das Knie. Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982, 7-78.
48. Neumann K, Ekkernkamp A: Sinn und Unsinn von Kreuzbandprothesen. *Chirurg* 66 (1995) 1079-1084.
49. O'Donoghue DH: Injury to the ligaments of the knee. *Am J Orthop* 3 (1961) 46-52.
50. Paar O, Magin MN: Möglichkeiten und Grenzen der konservativen Behandlung von Kreuzbandverletzungen. *Chirurg* 66 (1995) 1050-1060.
51. Pässler HH, Mastrokalos DS: Anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendons, bone patellar tendon, or quadriceps tendon-graft with press-fit fixation without hardware. A new and innovative procedure. *Orthop Clin N Am* 34 (2003) 49-64.
52. Peters G, Wirth CJ, Kohn D: Vergleich von Scores und Bewertungsschemata bei Kniebandinstabilitäten. *Z Orthop* 135 (1997) 63-69.
53. Petersen W, Rosenbaum D, Raschke M: Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Dtsch Z Sportmed* 56 (2005) 150-156.
54. Sati M, Stäubli HU, Bourquin Y, Kunz M, Käsermann S, Nolte LP: Clinical integration of computer-assisted technology for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Orthop* 10 (2000) 40-49.
55. Schmidt-Wiethoff R (Hrsg.): *Biomechanische, morphologische und klinische Studien zum vorderen Kreuzbandersatz in Pressfit-Technik*. Deutsche Sporthochschule Köln, Habil. Schr., Shaker Verlag, Aachen, 2005, 1-220.
56. Schmidt-Wiethoff R, Dargel J, Gerstner M, Schneider T, Koebeke J: Bone plug length and loading angle determine the primary stability of patellar tendon-bone grafts in press-fit ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14 (2006) 108-111.
57. Schweiger, KA, Hellerer O, Kommer N, Köhlein HE: Sportfähigkeit nach arthroskopisch versorgter Ruptur des vorderen Kreuzbandes mittels Patellarsehnentransplantat. *Dtsch Z Sportmed* (1995) 3-355.
58. Seil R, Robert H: VKB-Plastik bei offenen Wachstumsfugen. *Arthroskopie* 18 (2005) 48-52.
59. Seitz H, Marlovits S, Kolonja A, Chichakli N, Vécsei V: Meniskusläsionen nach vorderen Kreuzbandrupturen. *Arthroskopie* 11 (1998) 82-85.
60. Shelbourne KD, Nitz P: Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 18 (1990) 229-239.
61. Siebold R, Buelow JU, Bos L, Ellermann A: Primary ACL reconstruction with fresh-frozen patellar versus achilles tendon autografts. *Arch Orthop Trauma Surg* 123 (2003) 180-185.
62. Stadelmaier DM, Arnoczky SP, Dodds J, Ross H: The effect of drilling and soft tissue grafting across open growth plates. *Am J Sports Med* 23 (1995) 431-435.
63. Stäubli HU: Peri- und postoperative Komplikationen. In: Jakob RP, Stäubli HU (Hrsg): *Kniegelenk und Kreuzbänder*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1990, 601-612.
64. Stäubli HU: The quadriceps tendon-patellar bone construct for ACL reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev* 5 (1997) 59-67.
65. Steinbrück K: Epidemiologie von Sportverletzungen – 25-Jahres-Analyse einer sportorthopädisch-traumatologischen Ambulanz. *Sportverletz Sportschaden* 13 (1999) 38-52.
66. Strobel M, Stedtfeld HW, Eichhorn HJ (Hrsg): *Diagnostik des Kniegelenkes*. Springer Verlag Berlin (1995).
67. Strobel M (Hrsg): *Arthroskopische Chirurgie*. Springer Verlag Berlin 1998
68. Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Yamazaki S, Tohyama H: Comparison of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 17 (2001) 1-476.
69. Tandogan RN, Taser O, Kayaalp A: Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: Relationship with age, time from injury and level of sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12 (2004) 262-270.
70. Weiler A, Scheffler S, Höher J: Transplantatwahl für den primären Ersatz des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31 (2002) 731-740.
71. Weiler A, Förster C, Hunt R et al.: The influence of locally applied platelet-derived growth factor-BB on free tendon graft remodelling after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 32 (2004) 881-891.
72. Wirth CJ: Indikationsstellung für die konservative oder operative Versorgung der Kreuzbandverletzungen. In: Jakob RP, Stäubli HU (Hrsg): *Kniegelenk und Kreuzbänder*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1990, 272-274.
73. Woods GW, Fincher AL, O'Connor DP, Bacon SA: Revision anterior cruciate ligament reconstruction using the lateral third of the ipsilateral patellar tendon after failure of a central-third-graft. *Am J Knee Surg* 14 (2001) 23-30.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. habil. R. Schmidt-Wiethoff
Deutsche Sporthochschule Köln
Carl-Diem-Weg 6
50933 Köln
e-Mail: schmidt-wiethoff@dshs-koeln.de