

Wolf Petersen¹, Theresa Diermeier², Julian Mehl², Amelie Stöhr³, Andree Ellermann⁴, Peter Müller⁵, Jürgen Höher⁶, Mirco Herbort⁷, Ralf Akoto⁸, Thore Zantop⁹, Elmar Herbst², Tobias Jung¹⁰, Thomas Patt¹¹, Thomas Stein¹², Raymond Best¹³, Thomas Stoffels¹⁴, Andrea Achtnich²

Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen

Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen

Prevention of knee and ACL injuries

Guidelines of the ligament committee of the DKG (German Knee Society)

Zusammenfassung: Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die dynamische Valgusstellung ein Risikofaktor für das Erleiden einer Knie- und VKB-Verletzung ist. Risikoathleten landen nach einem Sprung zudem aufrechter mit einem nur wenig gebeugten Kniegelenk. In dieser Position ist das vordere Kreuzband nur schlecht durch die ischiokrurale Muskulatur geschützt. Zusätzlich sind Risikoathleten häufig quadrizepsdominant. Die valgische Kniestellung wird durch eine Schwäche der Hüftrotatoren und eine verminderte Rumpfstabilität unterstützt. Mit Sprungtests und einbeinigen Kniebeugen können Risikoathleten identifiziert werden, bei denen gezielt an einer Bewegungsmodifikation gearbeitet werden kann. In den letzten Jahren wurden verschiedene Präventionsmaßnahmen entwickelt, die in ein Aufwärmprogramm integriert werden können. Allen Übungen liegt die Korrektur der Risiko-Bewegungsmuster zugrunde. Diese verschiedenen Elemente wurden in sportartspezifischen Aufwärmprogrammen kombiniert und in verschiedenen Studien untersucht. Eine Metaanalyse dieser Studien hat zeigen können, dass Verletzungen des Kniegelenks mit diesen Programmen um 27 % und Rupturen des vorderen Kreuzbandes um 51 % reduziert werden können.

Schlüsselwörter: Verletzungsmechanismen, Nicht-Kontakt-Verletzungen, Präventions-Programm, Hüftrotatoren, Rumpfstabilität, vorderes Kreuzband

Zitierweise

Petersen W, Diermeier T, Mehl J, Stöhr A, Ellermann A, Müller P, Höher J, Herbort M, Akoto R, Zantop T, Herbst E, Jung T, Patt T, Stein T, Best R, Stoffels T, Achtnich A: Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen. OUP 2016; 10: 542–550 DOI 10.3238/oup.2016.0542–0550

Summary: Various studies have shown that dynamic valgus thrust is a risk factor for knee and ACL injuries. Athletes at risk tend to land a jump more upright with a slightly flexed knee with an additional valgus moment. The muscle mechanics in this position show limited ACL protecting mechanisms by favoring the quadriceps muscle while denying the hamstrings to coneract the quadriceps. Athletes at risk have greater quadriceps to hamstring ratio. This leads to a quadriceps-induced anterior drawer maneuver while cutting, which results in an increased risk for an ACL injury. The dynamic valgus is additionally increased by weakness of the hip external rotators and limited trunk stability. Drop jump tests and one legged squats are screening tests to identify athletes at risk. During the last 20 years several neuromuscular prevention strategies have been developed. These elements have been combined to warm up programs. Various studies have shown that these training programs can reduce the incidence of knee injuries by 27 % and ACL injuries by 51 %.

Keywords: Injury mechanism, non contact injury, prevention program, hip rotator, core stability, anterior cruciate ligament.

Citation

Petersen W, Diermeier T, Mehl J, Stöhr A, Ellermann A, Müller P, Höher J, Herbort M, Akoto R, Zantop T, Herbst E, Jung T, Patt T, Stein T, Best R, Stoffels T, Achtnich A: Prevention of knee and ACL injuries. Guidelines of the ligament committee of the DKG (German Knee Society). OUP 2016; 10: 542–550 DOI 10.3238/oup.2016.0542–0550

¹ Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Martin Luther Krankenhaus, Berlin
² Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, TU München
³ OCM, München
⁴ Arcus Sportklinik, Pforzheim
⁵ Klinikum der Universität München, München
⁶ Sportsclinic Cologne, Köln
⁷ Klinik für Unfall- Hand-, und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster, Münster

⁸ Klinik für Unfall- Hand-, und Wiederherstellungschirurgie, Asklepios Klinikum St. Georg, Hamburg
⁹ Sporthopaedicum, Straubing
¹⁰ Centrum für muskuloskeletale Chirurgie, Charité, Berlin
¹¹ Orthopaedicum, Delft, NL
¹² Abteilung für Sportorthopädie – BG Unfallklinik Frankfurt am Main
¹³ Sportklinik Stuttgart, Stuttgart
¹⁴ Unfallklinik Berlin

Einleitung

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

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

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

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

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

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

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

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

Verletzungsmechanismen und Risiko-„Screening“

Verletzungsmechanismen

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

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

Die gefährlichsten Spielsituationen im Ballsport sind:

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

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

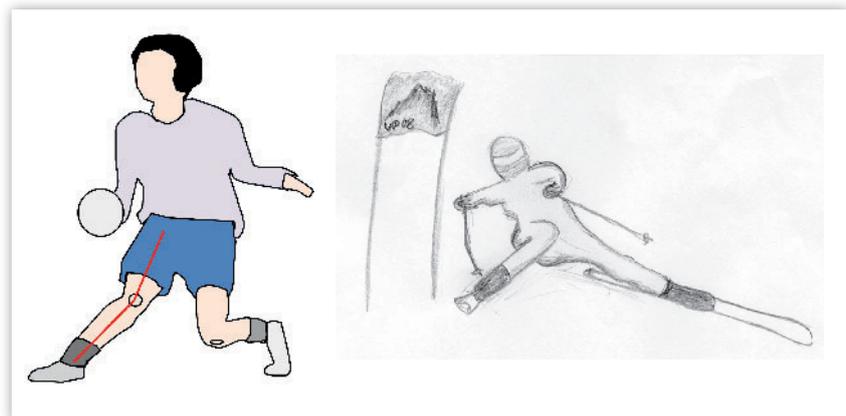


Abbildung 1 Typische Verletzungssituation für das VKB im Ballsport. Die Zeichnungen wurden nach Videoanalysen angefertigt. Das Kniegelenk befindet sich zur Zeit der Verletzung in nur leichter Beugung und Valgusposition. Der Körperschwerpunkt liegt hinter dem Knie. In dieser Position ist die Spannung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

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

Tabelle 1 Risikofaktoren für eine Knie oder VKB Verletzung

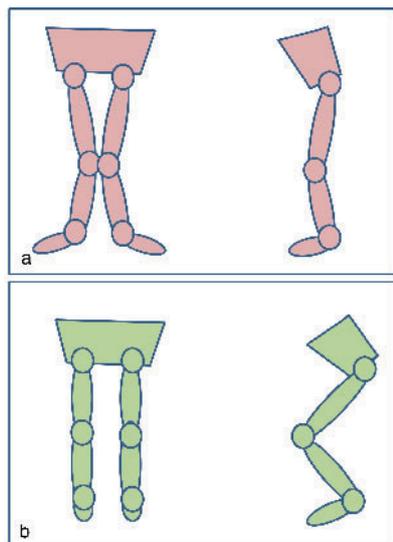


Abbildung 2a-b a) Schematische Darstellung der Risiko-Bewegungsmuster in der Frontalebene und Sagittalebene: Dynamischer Valgus und aufrechte Haltung bei der Landung. **b)** Schematische Darstellung, wie das Risiko von Knieverletzungen verringert werden kann: Gerade Stellung des Kniegelenks und 90°-Beugung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

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

Risikoathleten

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

„Screening“ Tests

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

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

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

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

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

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

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

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



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



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

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

Präventionsmaßnahmen

Aufklärung über Verletzungsmechanismen und Modifikation gefährdender Bewegungsmuster

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

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

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

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

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

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

Tabelle 3 Vermeidung von Risikobewegungen

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

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

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

Balance-Training

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

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

Kreuzbandverletzungen sind jedoch widersprüchlich.

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

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

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



Abbildung 6 Balanceübungen können mit sportartspezifischen Übungen kombiniert werden.

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

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

Neuromuskuläres Training

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



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

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

postulierten Grundsätze zur Bewegungsmodifikation zu sein [23].

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

Krafttraining

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

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

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

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

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

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

Lauf- und Beweglichkeitstraining

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

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

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

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

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



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



Abbildung 9 Kraftübung für die Hüft- und Rumpfmuskulatur



Abbildung 10 Kraftübung für die Hüft-Abduktoren und Außenrotatoren

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

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

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

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

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

Tabelle 4 Übersicht über etablierte Aufwärmprogramme zur Verletzungsprävention

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

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

Etablierte Präventionsprogramme

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

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

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

Fazit

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

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

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

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

Literatur

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

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