

VORDERES KREUZBAND

PRÄVENTION VON KREUZBANDVERLETZUNGEN

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

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

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

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

Präventionsstrategien

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

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

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

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

In der Folge sollen die bestehenden Maßnahmen und Programme zur Prävention von VKB-Verletzungen auf den verschiedenen Ebenen dargestellt werden.

Extrinsische Faktoren

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

Wettkampf in Training und Spiel

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

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

Sportschuhe und Spielbelag

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

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

Wetterbedingungen

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

Knieorthesen

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

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

Intrinsische Faktoren

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

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

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

Prävention nicht-modifizierbarer Risikofaktoren

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

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

Prävention modifizierbarer Risikofaktoren

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

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

Tabelle 1

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

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

Tabelle 2

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

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

Präventionsprogramme

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

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

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

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

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

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

Ziele der Präventionsprogramme

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

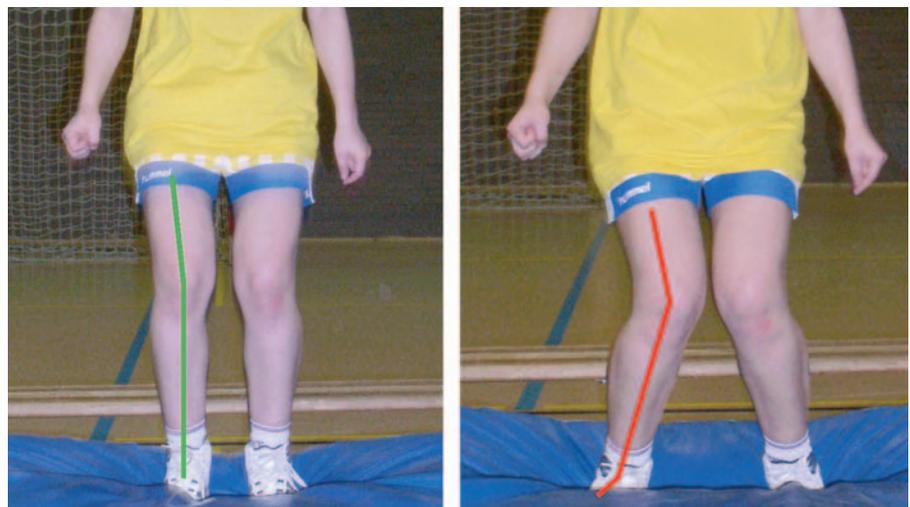


Abbildung 1 Angestrebte richtige Bewegungsausführung (links) und zu vermeidende falsche Bewegungsausführung (rechts).

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

Neuromuskuläres Training

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

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

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

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

Balancetraining / Gleichgewichtstraining

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



Abbildung 2

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

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

Plyometrics / Plyometrietraining

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

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

Beweglichkeit / Agilität

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

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

Präventionsprogramme – Evidenz

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

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

Tabelle 3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Individuelle Risikoabschätzung – Screening-Test – Risiko-Score

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

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

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

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

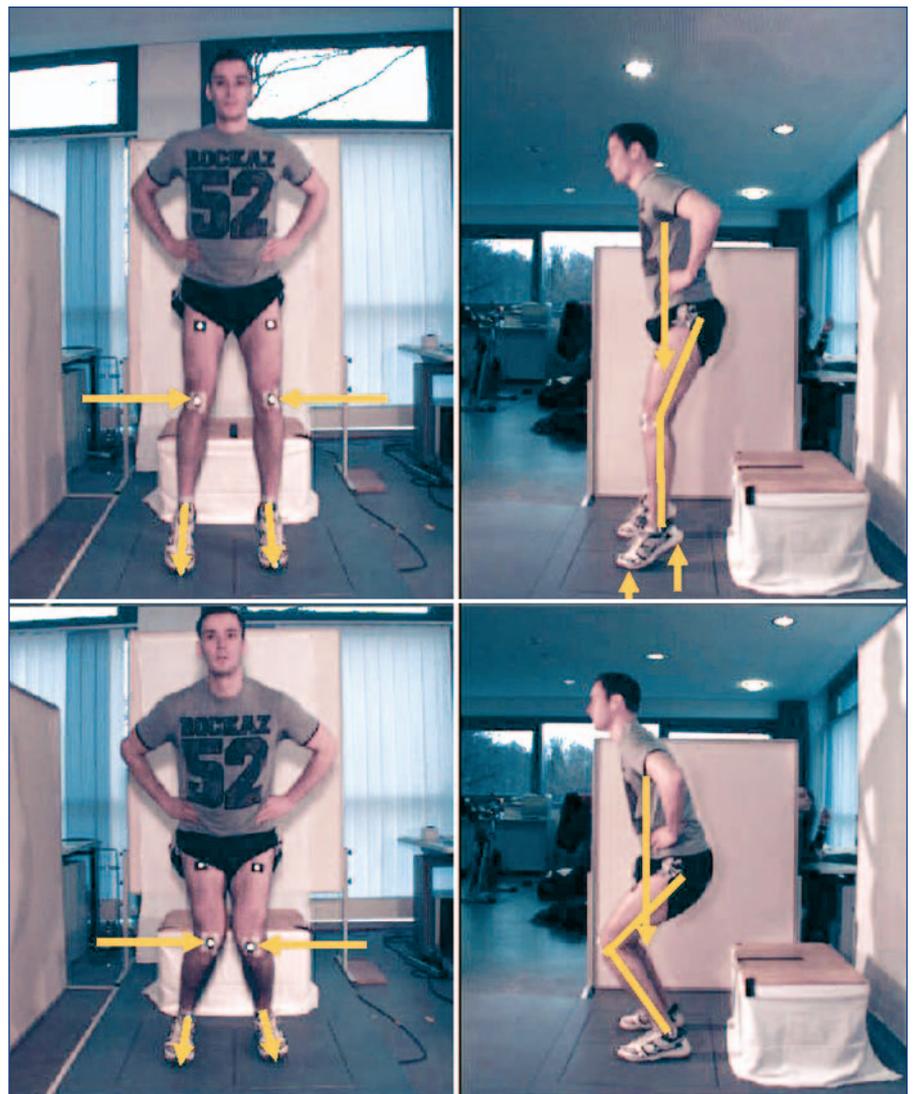
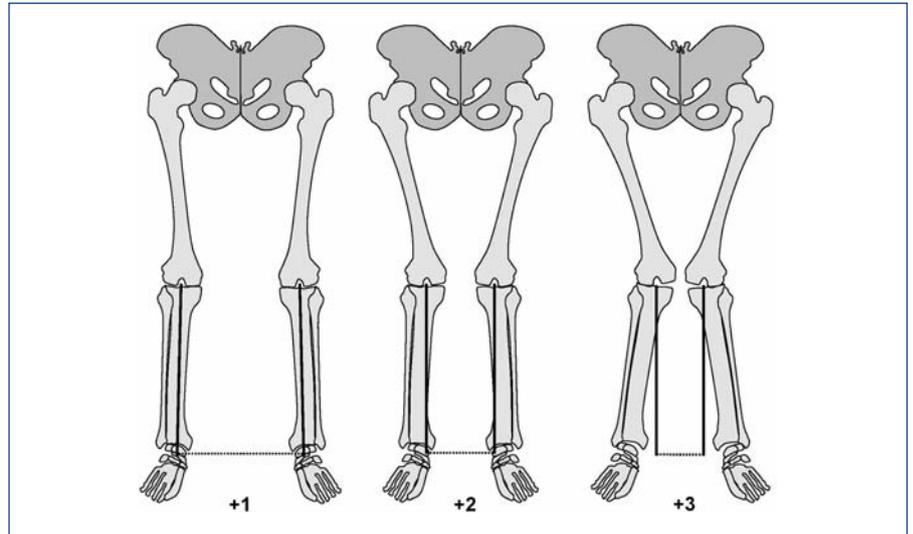


Abbildung 4
Screening-Test zur Abschätzung des Risikos für VKB-Verletzungen, Landung nach Drop Jump im Moment des ersten Bodenkontaktes (oben) und in tiefster Beugestellung (unten), links Frontalebene: Bestimmung von Hüft-, Knie- und Fußabstand sowie Fußstellung, rechts Sagittalebene: Bestimmung von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

Präventionsprogramm – Empfehlungen

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

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

sich Präventionsprogramme gerade im Hochleistungssport nicht unbedingt in einem merklichen Leistungsfortschritt niederschlagen, vermeintlich schwer in den Trainingsrhythmus zu integrieren sind und die Effektivität nicht bewusst zu Tage tritt. Ohne die Akzeptanz von Trainern und auch Spielern wird sich ein Präventionsprogramm nicht auf Dauer realisieren lassen. Es ist das Bewusstsein und die Erkenntnis zu vermitteln, dass es sich hierbei lediglich um 20 Minuten Einsatz 3-mal wöchentlich bzw. insgesamt nur 1 Stunde pro Woche handelt, die bei regelmäßiger Durchführung die Gefahr für VKB-Verletzungen reduzieren und massive sportliche wie finanzielle Konsequenzen für Spieler und Verein abwenden kann. Besondere Bedeutung erlangt die Durchführung eines VKB-Präventionsprogrammes auch im Rahmen der Rehabilitation nach VKB-Rekonstruktion wie nach konservativer Behandlung. Je nach zugelassener Belastung sollten die verschiedenen Komponenten frühzeitig in den Rehabilitationsprozess eingearbeitet und nach Wiedererlangung der vollen Sportfähigkeit komplett als elementarer Bestandteil des Trainings fortgeführt werden, um die deutlich erhöhte Gefahr einer Re-Ruptur bzw. einer contralateralen VKB-Ruptur zu reduzieren.

Ausblick

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

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

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

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

Literatur

- Alentorn-Geli E, Myer GD, et al., Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2009), 17 (7), 705–729.
- Alentorn-Geli E, Myer GD, et al., Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2009), 17 (8), 859–879.
- Bahr R, Krosshaug T, Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* (2005), 39, 324–329.

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