

VORDERES KREUZBAND EPIDEMIOLOGIE

Alli Gokeler, Thore Zantop, Thomas Jöllenbeck

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

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

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

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

GOTS-Expertenmeeting 2010

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

Inzidenz

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

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

Alter

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

Geschlecht

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

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

Sportart

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

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

Skifahren

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

Fußball

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

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

Handball

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

Inzidenz während Wettkampf oder Training

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

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

Verletzungsmechanismen und Risikofaktoren

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

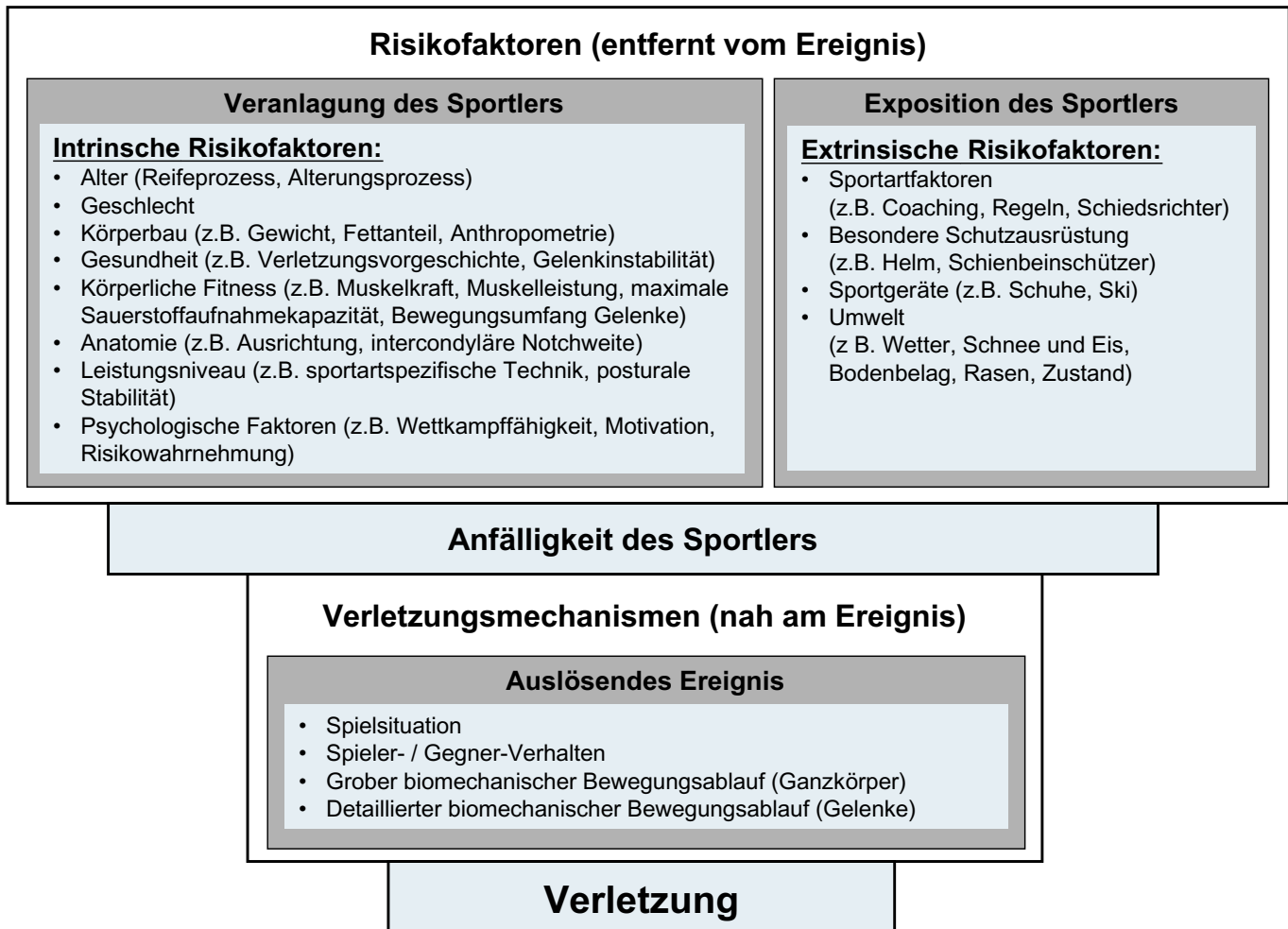


Abbildung 1
Umfassendes Modell von Verletzungsursachen im Sport [modifiziert nach Bahr & Krosshaug 2005].

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

der Gelenk- und Gewebebiomechanik beeinflusst.

Sportartspezifische Verletzungsmechanismen

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

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

Verletzung zu bieten (siehe Kapitel Prävention).

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

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

Fußball

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

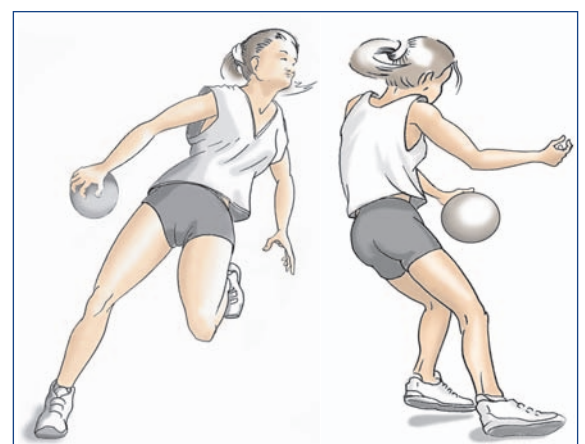
dere Richtung dreht. Weiter kann es bei Landungen oder langen Schritten jeweils mit gestrecktem Knie zu VKB-Verletzungen kommen. Dies geht meistens einher in Kombination mit unerwarteten Bewegungen von Gegenspieler oder Ball, bei denen der Spieler ungeplante Bewegungen ausführt und ihm somit nicht genügend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

Handball

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

Abbildung 2

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



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

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

Skifahren

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

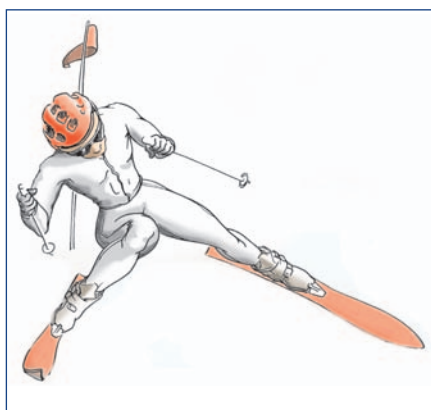


Abbildung 3
Schematische Darstellung des typischen Kreuzbandverletzungsmechanismus im Skisport [mit freundlicher Genehmigung aus Petersen & Zantop, Das vordere Kreuzband, DÄV 2009].

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

Sportarten allgemein

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

Risikofaktoren

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

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

Frühere VKB-Verletzung

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

Anatomische Risikofaktoren

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

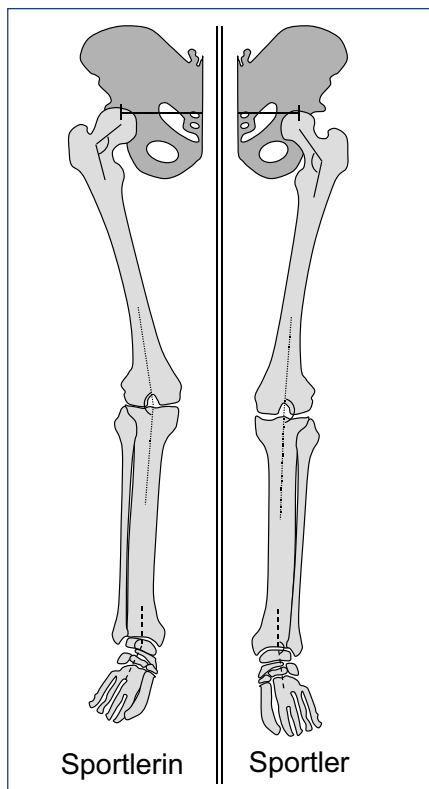


Abbildung 4

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

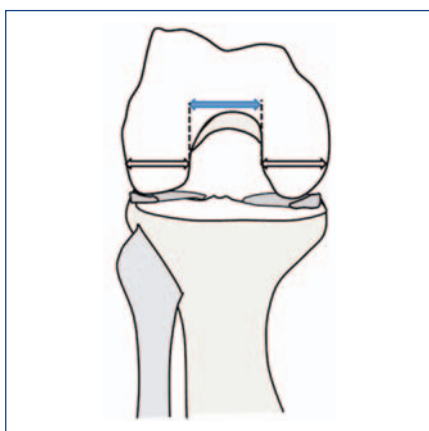


Abbildung 5

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

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

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

Hormonelle Risikofaktoren

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

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

Neuromuskuläre Risikofaktoren

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

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

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

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

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

Biomechanische Risikofaktoren

Valgus Collapse

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

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

Ligament Dominanz

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

Seitenunterschiede

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

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

Alter

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

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

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

Äußere Risikofaktoren

Schuhe und Spielfläche

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

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

Messverfahren der Verletzungsmechanismen

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

oftmals auch als biomechanische Risikofaktoren bezeichnet.

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

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

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

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

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

Ausblick

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

- Alentorn-Geli E, Myer GD, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2009), 17 (7), 705–729.
- Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* (2005), 39, 324–329.
- Benjaminse A, Gokeler A et al. What is the true evidence for gender-related differences during plant and cut maneuvers? A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2011), 19 (1), 42–54.
- Beynon BD, Shultz SJ. Anatomic alignment, menstrual cycle phase, and the risk of anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train* (2008), 43 (5), 541–542.
- Biau DJ, Tournoux C, et al. ACL reconstruction: a meta-analysis of functional scores. *Clinical orthopaedics and related research* (2007), 458, 180–187.
- Boden B, Dean G, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* (2000), 23 (6), 573–578.
- Colby S, Francisco A, et al. Electromyographic and kinematic analysis of cutting maneuvers. Implications for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* (2000), 28 (2), 234–240.

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