

# Funktionelle Kniestabilität im Handball: Ein unverzichtbares Kriterium für sicheren Sport

## Functional Knee Stability in Handball: An Indispensable Criterion For Safe Sport

### Autoren

Alina Rühlemann<sup>1</sup>, Constantin Ulrich Mayer<sup>1</sup>, Lennard Götte<sup>2</sup>, Michael Behringer<sup>3</sup>, Marcus Jäger<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Universitätsklinikum Essen, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Essen
- 2 TUSEM Essen, Handballabteilung, Essen
- 3 Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Sportwissenschaften, Frankfurt a.M.

### Schlüsselwörter

Handball, Kniegelenk, Verletzung, Prävention

### Key words

handball, knee joint, injury, prevention

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0753-2285>

Online-Publikation: 27.2.2019

Sportverl Sportschad 2019; 33: 87–95

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 0932-0555

### Korrespondenzadresse

Univ.-Prof. Dr. med. Marcus Jäger  
 Department of Orthopaedics and Trauma Surgery  
 Universitätsklinik Essen, Hufelandstr. 55, 45147 Essen,  
 Germany  
[marcus.jaeger@uk-essen.de](mailto:marcus.jaeger@uk-essen.de)

### ZUSAMMENFASSUNG

Verschiedene Untersuchungen in den vergangenen Jahren haben gezeigt, dass innerhalb der Ballsportarten Handball-

spieler einem besonders hohen Verletzungsrisiko ausgesetzt sind. Dabei ist das Kniegelenk die am häufigsten verletzte Körperregion und ein Riss des vorderen Kreuzbandes die häufigste Verletzung am Knie. Um Folgeschädigungen oder erneuten Verletzungen vorzubeugen, ist eine gute situative Kniestabilität entscheidend. Diese kann nicht nur Verletzungen vorbeugen, sondern ist auch ausschlaggebend für die Optimierung handballspezifischer Bewegungsabläufe und eine verletzungsfreie Ausübung des Sports. Obwohl es zahlreiche Studien zu Verletzungen im Handball gibt (meist an Profisportlern durchgeführt), ist das Forschungsfeld in Bezug auf die situative Kniestabilität defizitär. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand. Zudem werden aktuelle Präventionsansätze aufgegriffen und diskutiert.

### ABSTRACT

Various studies in recent years have shown that, within ball sports, handball players have a high risk of accidents and injuries. The knee joint is the most frequently injured body region, and ruptures of the anterior cruciate ligament the most common injury to the knee. To prevent consequential damage or recurrent knee injury, good functional stability of the knee is of high importance. Stability not only prevents injuries, but is also crucial for optimising handball-specific movements. Although there are numerous studies on injuries in handball – mostly performed on professional athletes – the field of research focusing on functional knee stability is deficient. This article provides an overview of the current state of research and discusses existing prevention approaches.

## Einleitung

Athleten im Handballsport sind immer höheren Belastungsumfängen und -intensitäten ausgesetzt. Um einen Leistungseinbruch durch Verletzungen und damit verbundenen Zwangspausen zu verhindern, sind evidenzbasierte Trainingsprogramme von zunehmender Wichtigkeit. Es gilt, konditionelle Merkmale zu verbessern, um handballspezifische Fähigkeiten zu optimieren und hierdurch Verletzungen vorzubeugen. Neben kognitiven Fähigkeiten schafft erst eine auf die Funktion abgestimmte physische Ausgangssituation (Koordination, Kraft, Ausdauer, Technik) die

Voraussetzung zu sportlichen Höchstleistungen. Trotz dieser Erkenntnis zählt Handball in Deutschland zu den verletzungsreichsten Sportarten. Mit 15,2% an Sportverletzungen im Vereinssport liegt der Handball an zweiter Stelle hinter dem Fußball. Vergleicht man die durchschnittliche Anzahl an Verletzungen pro eingesetzten Spieler, so übersteigt die Anzahl der Verletzungen im Handball jene im Fußball sogar (2,7 Verletzungen vs. 2,5 Verletzungen) [1, 2]. Auch die Medien berichten immer wieder über Verletzungen von Handballspielern. So auch im Juni 2017. Simon Ernst, der 23-jährige Mittelmann des VfL Gummersbach, zog sich beim Training mit der deutschen Handball-Nationalmannschaft in

Frankfurt einen Riss des vorderen Kreuzbandes am rechten Knie zu. „Für Simon tut uns das sehr leid. Das ist für ihn unheimlich bitter. Wir drücken ihm und Gummersbach die Daumen, dass er möglichst schnell wieder zurückkehrt (...)“, sagte Bundestrainer Christian Prokop [3]. Doch was bedeutet möglichst schnell wieder zurückkehren und welche Entscheidungskriterien gibt es für die Rückkehr in den Sport? Eine detaillierte Kenntnis über die funktionelle Stabilität stark beanspruchter Gelenke ist eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Sportfähigkeit innerhalb des Ballsports, insbesondere nach Verletzungen. Dabei ist der oft chirurgisch wiederhergestellte Zustand (norwegische Daten von 57 Krankenhäusern berichten von ca. 2800 primären vorderen Kreuzband-Operationen innerhalb von 18 Monaten [4]) des aktiven sowie des passiven Bewegungsapparates ausschlaggebend. Obwohl das Knie im Handballsport das am häufigsten verletzte Gelenk ist und somit nach wie vor das größte Problem im Handball darstellt [5], weist der bisherige Forschungsstand zur funktionellen Stabilität im Handballsport deutliche Lücken auf. Die Zahl der Untersuchungen zu dieser Problematik nimmt erst in den letzten Jahren zu. Die meisten Daten wurden jedoch im Profibereich erhoben. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Spielklassen ist somit nur eingeschränkt möglich. Zumindest unterscheiden sich die Trainingsfrequenz, der Trainingsumfang, das physiologische Leistungsniveau, die Intensität der sportmedizinischen Betreuung und die persönliche Erwartungshaltung der Sportler in beiden Bereichen. Studien konnten zwar herausfinden, dass sich die körperliche Fitness von Profisportlern im Vergleich zu Nicht-Profisportlern unterscheidet [6–8], objektivierbare Daten der funktionellen Kniestabilität zur Übertragbarkeit auf den Freizeitsportler fehlen jedoch.

In einem Bericht der Gesellschaft für Arthroscopie und Gelenkchirurgie (AGA) äußerten weiterhin über 90 % der befragten Operateure, dass sie sich trotz ihrer Erfahrung eine valide praxistaugliche Testbatterie bei der Frage nach dem Zeitpunkt des return to sport (RTS) bzw. return to competition (RTC) wünschen [9]. Der nachfolgende Beitrag soll den aktuellen Forschungsstand im Handballsport bezogen auf die funktionelle Kniestabilität abbilden.

## Funktionelle Stabilität am Kniegelenk

Handball gehört zu einer körperbetonten Sportart, die nicht nur durch schnelle Ballwechsel auf einem kleinen Spielfeld, sondern ebenso durch zahlreiche Sprünge, Abstopp- und Drehbewegungen gekennzeichnet ist (► **Abb. 1–3**). Vor allem das Kniegelenk wird hierdurch stark belastet [10]. Bis auf Bagateltraumata der oberen Extremität ist es die am häufigsten von Verletzungen betroffene Körperregion. Akute Sportverletzungen sowie langandauernde Fehl- oder Überbelastungen rufen immer wieder verletzungsbedingte Sportunterbrechungen hervor. Zur Vermeidung dieser, sowie für die sportspezifische Leistungsfähigkeit nach einer Verletzung kommt der funktionellen Kniestabilität eine wichtige Rolle zu. Obwohl eine große Anzahl an Publikationen zu sportbedingten Verletzungen des Kniegelenkes existiert [1, 5, 11–19], berücksichtigen nur wenige Veröffentlichungen die Bedeutung der funktionellen Gelenkstabilität [19–24].

Eine häufig zitierte Definition stammt von Wagner und Schabus [25]: „Unter funktioneller Gelenkstabilität versteht man die Möglichkeit des menschlichen Körpers, Bewegungen des Gelenks zu kontrollieren...“. Burstein und Wright [26] führen die Definition weiter aus und bezeichnen die funktionelle Gelenkstabilität als „Fähigkeit eines Gelenks, über den gesamten Bewegungsspielraum hinweg eine adäquate funktionelle Position einzunehmen“. Die Gelenkstabilität sorgt somit für ein funktionelles Gleichgewicht und die Regulation von Translations- und Rotationsbewegungen. Dabei kann zwischen aktiven und passiven Stabilisierungsmechanismen unterschieden werden. Zu den aktiven Stabilisierungsmechanismen zählen alle Kräfte, die durch das neuromuskuläre System erzeugt werden [27]. Weitere Stabilität erhält das Kniegelenk über den passiven Halteapparat, bestehend aus Bändern (u. a. Lig. collaterale laterale et mediale, Lig. patellae, Lig. popliteum obliquum/arcuatum, Lig. transversum, meniskeale Bänder, MPFL), Menisken und der Gelenkkapsel einschließlich der entsprechenden Retinaculæ. Bezogen auf das Kniegelenk spielen neben dem Zustand der gelenkumgreifenden Muskulatur und der neuromuskulären Funktion die Kapsel-Band-Laxizität sowie die Gelenksteifigkeit eine wichtige Rolle. Unter einer Laxizität versteht man das messbare Maß einer Bandlockerung. Dies kann sowohl physiologisch-konstitutioneller Art (individuelle, nicht therapiebedürftige Beweglichkeit des Gelenks), strukturell bedingt pathologischer Natur (z. B. Kollagenosen) oder traumatisch bedingt sein. Führt die Bandlockerung zu einer subjektiven oder objektivierbaren Funktionsbeeinträchtigung, spricht man von einer Instabilität. Hierbei sind die Grenzen zwischen physiologischer, konstitutioneller Laxizität und pathologischer Instabilität fließend. Hinweise für Pathologien ergeben sich insbesondere bei Seitendifferenzen und bei Beschwerden.

Kapsel-Band-Laxizitäten können unidirektional, isoliert oder multidirektional sein. In der klinischen Praxis wird vom Untersucher hierbei, beispielsweise im Rahmen der routinierten klinischen Untersuchung eines Kniegelenks, der Schweregrad der Aufklappbarkeit des Gelenks angegeben: 1+ (3–5 mm Aufklappbarkeit), 2+ (6–10 mm Aufklappbarkeit) und 3+ (>10 mm Aufklappbarkeit) [28]. Da die Einschätzung des Ausmaßes der pathologischen Bewegung sehr subjektiv ist, kann dies zu Problemen einer objektiven Stabilitätstestung führen.

Die sog. Gelenksteifigkeit (joint stiffness) bezeichnet den Funktions- und Bewegungsverlust von Gelenken. Durch strukturelle, fibröse oder knöcherne Veränderungen werden Bewegungen und Kraftübertragungen in der Gelenkeinheit verhindert [29].

Die funktionelle Kniestabilität ist somit komplex, da zahlreiche Einflussgrößen beteiligt sind (u. a. neuromuskuläre, muskuläre, arthrogene und einwirkende Gewichtskraft). Zur genauen Beurteilung der einzelnen Parameter bedarf es neben biomechanischen Verfahren (z. B. Knie-Kinematik, Ganganalysen mit Hautmarkern usw.) ebenso funktioneller Untersuchungen.

## Bedeutung der funktionellen Kniestabilität im Handball

Modifikationen im Regelwerk durch den internationalen Handballverband (IHF), welche beispielhaft eine „schnelle Mitte“ möglich



► **Abb. 1** Charakteristisch für den Handballsport sind die relativ hohen und weiten Sprünge zum Torabschluss mit in Einzelfällen durchaus akrobatischen Leistungen, wie z. B. Luftdreher. Ziel ist unter anderem die Distanz zwischen Tor und Werfer zu verringern, um hierdurch die Torchancen für den Schützen zu verbessern. Einige Daten aus der Literatur weisen darauf hin, dass nach dem Absprung der Tonus der unteren Extremität in der Luft abnimmt, während sich die Anspannung in Schulter, Nacken und der oberen Extremität steigern, um in der Wurfphase eine maximale Kraft zu entwickeln [30 – 35]. Kommt es in dieser Phase zu einer unerwarteten seitlichen Krafteinleitung von Körperkontakt, besteht für das Kniegelenk eine erhöhte Verletzungsgefahr. Bei der 1-beinigen Landung nach Sprungwürfen, mit einem exzessiven Valgus und einer Außenrotation des Kniegelenks bei annähernd voller Streckung, treten besonders häufig Verletzungen auf [10]. Beim sog. verzögerten Sprungwurf wird der Wurf erst während der Sinkbewegung ausgeführt. Hier ist insbesondere die obere Extremität verletzungsgefährdet. So endete auch der Wurf des „Erfinders“ Hansi Schmidt mit einer Schulterluxation [36].

machen, haben das aktuelle Handballspiel nachhaltig dynamischer und schneller gemacht. Wurden im Rahmen des olympischen Handballturniers 1972 im Durchschnitt 38,8 Angriffe gespielt, trugen die Spieler bei den Olympischen Spielen 2008 bereits 56 Angriffe vor [38]. Um einerseits die handballspezifische Leistung zu steigern und andererseits Knieverletzungen und Überlastungsschäden vorzubeugen, sollten die konditionellen Parameter Kraft, Beweglichkeit, Schnelligkeit, Koordination und Ausdauer vor allem im Bereich der unteren Extremität optimal ausgeprägt sein.

Obwohl sportmedizinische Erkenntnisse zur Optimierung der Leistungsfähigkeit und zur Prävention von Verletzungen immer mehr Einzug in den modernen Sport gewinnen und in einigen Bereichen zu einem niedrigeren Verletzungsrisiko geführt haben [22, 39 – 41], persistiert im Handball weiterhin ein hohes Ver-

letzungsrisiko: Vergleicht man ältere Studien mit neueren Untersuchungen stellt man fest, dass die Gesamtverletzungsrate im Handball, abhängig vom Spielniveau, immer noch bei ca. 10 – 40 Verletzungen pro 1000 Spielstunden liegt [5, 18, 22, 42, 43]. Eine besondere Bedeutung im Handball kommt dem Kniegelenk zu, da dieses durch starke Belastungen (Hallenboden, Sprünge, Richtungswechsel, Sprints) besonders anfällig für Verletzungen und Überlastungsschäden ist. Das Knie ist im Handball mit 18 – 35% das am häufigsten betroffene Gelenk [5]. Vor allem das vordere Kreuzband weist eine hohe Verletzungshäufigkeit auf. Bezogen auf 1000 Handballspielstunden werden statistisch bei Männern 0,2 – 0,8 Rupturen, bei Frauen 0,7 – 2,8 Rupturen des vorderen Kreuzbandes beschrieben [5].

Betrachtet man die Verletzungshäufigkeit ungeachtet der verletzten Struktur im Detail, ergeben sich hierbei Unterschiede



► **Abb. 2** Charakteristischer direkter Körperkontakt in der Angriffsphase. Rumpf und Oberkörper fokussieren auf den Ball. Während der Körpertauschungsmanöver (Gegenwurfhandseite täuscht einen Durchbruch oder Wurf an und leitet anschließend einen Durchbruch oder Wurf auf der Wurfhandseite ein) oder beim Durchbruch durch die Abwehr des Gegners kommt es durch Richtungswechsel mitunter zu extremen Gewichtsverlagerungen, welche der Muskel-Band-Apparat des Kniegelenks vollständig kompensieren muss. Der Körperkontakt mit dem gegnerischen Spieler kann ggf. zu einer Störung des Gleichgewichts führen, welche in einigen Untersuchungen ebenfalls für eine Verletzung des Kniegelenks verantwortlich gemacht wurde [37].

zwischen den Trainings- und Wettkampfeinsätzen. Henke, Schulz und Wilke geben in ihrer Untersuchung von Berufshandballern 0,7 Verletzungen/1000 Trainingsstunden und 46,5 Verletzungen/1000 Wettkampfstunden an [44]. Moller, Attermann, Myklebust und Wedderkopp veröffentlichten vergleichbare Zahlen. Sie konnten bei dänischen Profihandballern im Training lediglich 3,4 Verletzungen/1000 Stunden verzeichnen, während im Wettkampf 31,7 Verletzungen/1000 Stunden beobachtet wurden [16], in der Handballbundesliga sind dies sogar 81,1 Verletzungen/1000 Stunden Spielzeit [1]. Junge und Kollegen versuchen sich durch eine prozentuale Analyse der Thematik zu nähern und beziffern in ihrer Studie zu den Olympischen Spielen eine Häufigkeit von 7,4% an Sportverletzungen innerhalb des Trainings und 92,6% während des Wettkampfes [45].

Das 2-bündelige vordere Kreuzband (VKB) als wichtiger komplexer Stabilisator zählt zu der am häufigsten verletzten Struktur am Knie [24], wobei Frauen auch hier (u. a. aufgrund des anatomischen Skelettaufbaus sowie des Hormonhaushaltes) ca. doppelt so häufig betroffen sind [14]. Betrachtet man die Kreuzbandverletzungsrate für den Handballsport ebenfalls im Training bzw. im Wettkampf, so ziehen sich Männer 0,21 – 0,84 Kreuzbandverletzungen pro 1000 Stunden Wettkampf bzw. 0,03 Kreuzbandverletzungen pro 1000 Stunden Training zu. Für Frauen liegt die Rate bei 0,72 – 2,79/1000 Stunden Wettkampf bzw. 0,03/1000 Stunden Training [2]. Zusammenfassend belegen die verfügbaren Daten, dass ein Großteil von Verletzungen (sowohl allgemein, als auch bezogen auf das VKB) während des Wettkampfs entsteht.

Das VKB wird oftmals bei der Landung nach einem Sprung, einem sog. „Valgus-Moment“, durch Drehbewegungen oder abruptes Abbremsen ohne Gegnerkontakt geschädigt. Die genauen biomechanischen Aspekte dieser Bewegungsabläufe sowie deren Risiken sind in klinischen und Kadaver-Studien gut untersucht [10, 14]. Solche Nicht-Kontakt-Verletzungen sind nach Stoffels et al. für bis zu 72 – 95% der Kreuzbandrupturen verantwortlich [19]. Hierbei sind, abhängig von der Spielerposition und dem damit verbundenem Bewegungsprofil, die Häufigkeiten innerhalb einer Mannschaft ebenfalls stark unterschiedlich verteilt [1, 2]. Im Rahmen einer Analyse des Unfallgeschehens in den 2 höchsten Ligen des Männerhandballs werden 29,4% der Verletzungsmechanismen am Kniegelenk hingegen einem direkten Kontakt zugeschrieben [1]. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine differenzierte Betrachtung von VKB-Schädigungen, sondern um die Summe aller Kniegelenkverletzungen. Dennoch geben diese Zahlen einen kritischen Hinweis darauf, dass der direkte Kontakteinfluss im Handball (trotz hoher Nicht-Kontakt-Verletzungsraten) nicht unterbewertet werden darf. Die hohen Zahlen an Kontakt- bzw. Nicht-Kontakt-Verletzungen spiegeln die Beanspruchung und das hohe Anforderungsprofil an die funktionelle Kniestabilität als Zusammenspiel aus aktiven und passiven Stabilisatoren wider. Ungeachtet des Verletzungsmechanismus konnten erste Ergebnisse des Kieler Handball-Verletzungs-Präventionsprogramms zeigen, dass Verletzungen durch Propriozeptions-Training reduziert werden konnten. Propriozeptive Trainingsanteile sollten somit als prophylaktische Maßnahmen im Handball etabliert werden, um Verletzungen zu vermeiden [22].

Der mit Knieverletzungen verbundene Ausfall ist bei Handballspielern im Vergleich zu andern Ballsportarten größer, 13% der



► **Abb. 3** Beim sog. „Tempo-Gegenstoß“ wird ein Angriff der gegnerischen Mannschaft ausgekontert. Elementar ist hierbei das schnelle Umschalten von Abwehr auf Angriff, wobei mit möglichst wenigen Anspielen der Spieler vor das Tor des Gegners gelangt. Voraussetzung hierfür ist ein Sprint mit maximaler Kraftentwicklung der kniegelenkübergreifenden Muskelgruppen a. Ebenso kommt es beim Angriff auf das Tor zur starken seitlichen Krafteinwirkung auf das Kniegelenk b oder zur endgradigen Streckung in der Abwehr c. Eine große Gefahr für eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes besteht dann, wenn sich das Bein in einer Position der annähernd vollständigen Streckung mit einer leichten Außenrotation des Kniegelenks befindet. In Untersuchungen wurde beobachtet, dass sich Verletzungen in dieser Ausgangslage besonders dann ereigneten, wenn der Fuß fest auf dem Boden verankert war [51].

Knieverletzten sorgen für 35 % der Ausfallzeit, vergleichsweise verursachen im Fußball 15 % der Knieverletzten nur 31 % der Ausfallzeit [1].

Zeitgleich ist die Re-Ruptur-Rate gerade bei frühem return to play (RTP) erhöht. Paterno et al. haben in ihrer Untersuchung herausgestellt, dass das Risiko einer erneuten vorderen Kreuzbandverletzung innerhalb der ersten 2 Jahre um das 6-fache erhöht ist. 29,9% der untersuchten Athleten erlitten innerhalb von 24 Monaten nach RTP eine erneute Kreuzbandverletzung (9% Re-Ruptur, 20,5% kontralateral) [47]. Einer konsequenten Ausbehandlung bis zur Wiedererlangung des Leistungsniveaus vor Eintritt in den Wettkampfalltag kommt somit eine besondere Bedeutung zu [48, 49]. Hierbei muss auch mit dem unverletzten Knie gearbeitet werden, um das hohe Risiko einer kontralateralen Verletzung zu minimieren [50]. Eine gute neuromuskuläre Funktion muss nicht nur zur Rückkehr auf das vorherige Leistungsniveau, sondern auch als Prävention vor degenerativen Sekundärschäden fokussiert trainiert werden. Um dieses Risiko zu reduzieren, bedarf es genauerer Kenntnisse über den aktuellen Status der situativen wettkampforientierten Kniestabilität.

Stellt man rückblickend auf die Verletzungsraten im Handball die Frage nach der funktionellen Kniestabilität als präventives Merkmal bzw. Entscheidungskriterium für RTP, so wird diese Frage bisher nur unschlüssig beantwortet.

## Diagnostik/Beurteilung der funktionellen Kniestabilität

In der Vergangenheit wurde die Kniestabilität wenig funktionell, sondern vielmehr passiv für isolierte Bandstrukturen, am liegenden Patienten mit entlastetem Knie, z. B. in Form des Lachmann-

Tests oder mittels Knie-Arthrometern (z. B. KT 1000), untersucht [51]. Die passive Kniegelenkstabilität ist jedoch nur bedingt auf die aktive bzw. funktionelle Kniegelenkstabilität übertragbar. Trotz zunehmend neuer Erkenntnisse zur Funktionalität des Kniegelenks fokussieren sich viele wissenschaftliche Untersuchungen zum Knie im Handballsport häufig lediglich auf die Analyse von Unfallsituationen/-mechanismen oder der Erfassung von Verletzungsstatistiken [1, 2, 5, 10, 11, 13, 15, 18, 42, 45, 50, 52 – 55]. Die Frage nach der funktionellen Kniestabilität bleibt weiterhin unzureichend beantwortet. Mit Eintritt in den Trainingsalltag bzw. zur Prävention von Verletzungen ist jedoch die situative Stabilität in Vollausspragung gefordert.

Hier knüpft das Stop-X-Programm des Komitees Ligament-Verletzungen der Deutschen Kniegesellschaft (DKG) an. Auf Basis wissenschaftlicher Daten wurde ein Präventionsprogramm entwickelt, mithilfe dessen Knieverletzungen verhindert werden können. Bei dem Konzept sollen spezielle Übungen in das reguläre Training integriert werden. Dabei werden die 5 Präventionsansätze „Aufklärung, Risikoanalyse und Korrektur der gefährdeten Bewegungsmuster“, „Laufübungen“, „Balancetraining“, „Sprungtraining“ und „Kraftübungen“ verfolgt. Es wird empfohlen, die Übungen zu den Ansätzen 2 bis 5 ungefähr 2 – 3-mal pro Woche in ein 20 – 30-minütiges Aufwärmprogramm zu integrieren [56, 57].

Sollte es dennoch zu einer Verletzung des VKB kommen, versucht das Ligament-Komitee der DKG in Form eines return-to-sport-Algorithmus das Risiko einer Re-Ruptur nach einem Ersatz des vorderen Kreuzbandes zu senken und den Zeitpunkt einer sicheren Rückkehr in den Sport zu definieren [24, 48]. Hierbei soll neben klinischen Basiskriterien zur Gelenkfunktion (Ergussneigung, passive Stabilität und Beweglichkeit) im Rahmen der Entscheidungsfindung (neben dem zeitlichen Abstand zur Operation)

die Muskelkraft, funktionelle Stabilität und der dynamische Valgus beurteilt werden. Zur Untersuchung der Gelenkfunktion wird empfohlen, die Parameter mittels des International Knee Documentation Committee-Schema (IKDC-Score) zu beurteilen. Dieser wendet die Neutral-Null-Methode, den Lachman-Test und den Pivot-shift-Test an. Das Schema ordnet die Parameter in A (normal), B (fast normal), C (abnormal) und D (stark abnormal) zu. Vor einem RTP sollten die Basiskriterien der IKDC-Klassifikation A oder B entsprechen. Trotz der klaren Klassifikation unterliegen die einzelnen Basiskriterien zur Gelenkfunktion der subjektiven Beurteilung des Untersuchers. Der Lachman-Test kann zwar mittels Knie-Arthrometer durchgeführt werden, für den Pivot-shift-Test hingegen liegen keine validen instrumentellen Messinstrumente vor [48]. Eine standardisierbare Unterteilung bzw. eine Interrater-Reliabilität ist somit nur bedingt möglich.

Zur Beurteilung der Kraft der angrenzenden Muskulatur (z. B. M. Quadriceps femoris) des Kniegelenks können verschiedene Verfahren angewendet werden. Häufig kommen Kraftmessungen in Form von isokinetischen Untersuchungen im geschlossenen System zum Einsatz [58]. Dabei werden die Kniebeuger und -streckler auf verschiedene Qualitäten, wie z. B. konzentrische oder exzentrische Kraft, getestet. Präoperative Muskelschwächen gelten bereits als Prädiktor für spätere Kraftdefizite. So fanden Eitzen und Kollegen [59] heraus, dass beispielsweise bei Probanden mit einem präoperativen Quadriceps-Kraftdefizit von mehr als 20 % auch 2 Jahre nach der Operation noch große Schwächen auftreten. Auch bezogen auf den Ausprägungsgrad der Kraft im Vergleich zwischen verletztem und unverletztem Bein sollte eine Seitengleichheit angestrebt werden.

Zur Überprüfung der dynamischen Stabilität werden in der Literatur hauptsächlich Sprungtests, häufig 1-Bein-Sprungtests (one-leg-hop-tests), durchgeführt [60–65]. Dabei kommt es zu einem Vergleich der erzielten Testergebnisse von einem Bein mit denen des Gegenbeins. Mithilfe von 1-beinigen Sprungtests kann der sog. Sprung-Symmetrie-Index der unteren Extremitäten (Lower Limb Symetry Index = LSI) ermittelt werden. Dieser zeigt intrapersonelle Defizite (krank vs. gesund) auf. Innerhalb verschiedener Untersuchungen wurde ein LSI von >85 % als Kriterium für eine sichere Rückkehr in den Sport postuliert [24]. Hierbei muss insbesondere auf das individuelle Leistungsniveau des Athleten eingegangen werden. Während der Vergleich zu den Mitspielern (bzw. Spielern der gleichen Sportart, Spielniveau, Spielerposition usw.) bei einem objektivierbaren Test als Vergleich für den Leistungsstand herangezogen werden sollte, muss der Vergleich zum Vor-Verletzungszeitpunkt als Gold-Standard für jeden einzelnen Athleten gelten, da nur so die Wiederherstellung auf das Ausgangsniveau (restitutio ad integrum) evaluiert werden kann. Zudem müssen Risikofaktoren, die bereits vor der Verletzung bestanden haben, identifiziert und möglichst beseitigt werden. Dazu gehören insbesondere Defizit-orientierte Trainingsprogramme. Eine solche Evaluation bedarf mehrerer konsekutiver Tests im Saisonverlauf. Nur so können auffällige Befunde frühzeitig erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Im Anschluss an eine Verletzung sind diese regelmäßigen Evaluationen wichtig, um den Heilungsprozess engmaschig mitzuverfolgen. Die verletzungsfreie Rückkehr zum alten Leistungsniveau steht für den ambitionierten Athleten an erster Stelle. Dieses Ziel

wird allerdings nur von rund 2/3 der Athleten erreicht. In einer Übersichtsarbeit von Ardern und Kollegen wird aus 57 Studien eine Rückkehrbilanz nach einer Verletzung in einen beliebigen Sport von 81 % der Sportler herausgearbeitet. In weiteren 50 Studien mit 2663 Teilnehmern stellen sie heraus, dass 65 % der Sportler nach einer Verletzung wieder an ihr altes Leistungsniveau anknüpfen können. Ardern und Kollegen konnten im Rahmen ihrer Übersichtsarbeit weitere 30 Studien mit insgesamt 1338 Teilnehmern identifizieren, in denen jedoch nur 55 % der Sportler nach einer Verletzung in den Wettkampfsport zurückkehren konnten [66]. Aufgrund der hohen Verletzungs- und Wiederverletzungsrate des vorderen Kreuzbandes im Handballsport wird vor allem hier nach zuverlässigen Entscheidungskriterien für eine sichere Rückkehr in den Sport gesucht. Hierbei scheint es aktuell noch keinen Konsensus zu geben [67].

Darüber, dass die erste Zeit nach einer Verletzung der Regeneration der verletzten Struktur bzw. ggf. der Heilung eines Transplantats dienen sollte, herrscht Einigkeit. Die Ansicht über eine anschließend (früh-) funktionell geprägte Rehabilitation hingegen ist sehr unterschiedlich. Muskuläre und neuromuskuläre Defizite nach einer Verletzung bestimmen im Wesentlichen den Zeitpunkt für eine sichere Wiederkehr in den Sport. In welcher Form die funktionelle Leistungsfähigkeit jedoch überprüft und objektiviert werden soll, ist noch nicht hinreichend beantwortet. Die bis dato vorgeschlagenen Funktionstests beschränken sich im Wesentlichen auf einzelne Bewegungsabläufe. Hop-Tests korrelieren zwar mit der RTS-Fähigkeit [68], evaluieren jedoch hauptsächlich die Sprungkraft. Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass 1-Bein-Sprünge auch für unverletzte untrainierte Personen sehr schwierig sind und einem hohen Lerneffekt unterliegen. Um aktive objektivierbare Bewegungsradien festzuhalten und einen weiteren Ansatz zu nutzen, kann der Star-Exkursion-Balance-Test (SEBT) angewendet werden [69]. Zur Durchführung des Tests müssen Athleten auf 1 Bein balancieren und das Spielbein so weit wie möglich in 8 vorgegebene Richtungen führen. Der SEBT misst das dynamische Gleichgewicht und wird oft als Indikator für das Verletzungsrisiko der unteren Extremität genutzt. Dennoch objektiviert er nur den Bewegungsumfang. Die Testdurchführung kann nicht in einer objektiven Skala Untersucher-unabhängig dokumentiert werden. Neben dem dynamischen Gleichgewicht spielen Parameter wie z. B. Kraft und Schnelligkeit zur Beurteilung der funktionellen Kniestabilität ebenfalls eine große Rolle. Um die Aussagekraft zur Leistungsfähigkeit des Kniegelenks zu steigern, sollte der SEBT mit weiteren Tests (z. B. sowohl Schnelligkeits- als auch Muskelkrafttest) kombiniert durchgeführt werden.

Zur Beurteilung der Kniefunktion nach einer Verletzung ist der Vergleich zur unverletzten Gegenseite bis dato Goldstandard, obgleich diese bei bekanntem erhöhtem Verletzungsrisiko ebenfalls defizitär ausgebildet sein kann (gerade in Anbetracht einer langen Trainingspause nach Verletzung). Auch die Seitendominanz findet häufig wenig Beachtung. Diese kann jedoch eine mögliche Ursache für Asymmetrien in der Kraft oder Kraftdefizite zwischen Muskelgruppen von Agonist und Antagonist darstellen. Referenzwerte zu Mitspielern fehlen meist. Gleichzeitig bildet keiner der zuvor aufgeführten Tests eine annähernd handballspezifische Wettkampfsituation ab. So bleiben sie hinsichtlich der Wirksamkeit des positiven Vorhersagewertes zumindest zweifel-

haft. Der ideale Test sollte somit objektivierbar mögliche funktionelle Defizite erfassen können (hohe Sensitivität). Diese müssen gleichzeitig für die sportartspezifischen Bewegungsabläufe typisch (handballspezifisch) als auch objektivierbar sein, um so eine verlässliche Aussagekraft machen zu können (positiver resp. negativer Vorhersagewert).

Als Testerweiterung könnte die Tensiomyografie (TMG) herangezogen werden. Dabei handelt es sich um eine nichtinvasive Methode zur neuromuskulären Beurteilung. Sie ermöglicht die spezifische Messung von Muskelkontraktionseigenschaften und -reaktionen während verschiedener Trainings- und Wettkampfbedingungen. Die erhobenen Daten können muskuläre Ungleichgewichte und Defizite aufdecken, wodurch Trainingsempfehlungen ausgesprochen werden können. Dazu dienen die Parameter der Verzögerungszeit ( $T_d$ ; Zeit zwischen elektrischem Impuls und Muskelkontraktion), Kontraktionszeit ( $T_c$ ), anhaltende Kontraktionszeit ( $T_s$ ; Zeit zwischen Kontraktion und Entspannung), Entspannungszeit ( $T_r$ ) und Verschiebung ( $D_m$ ; maximale radiale Verschiebung des Muskelbauches) [70]. Die TMG-Messung findet bereits in einem breiten Feld der sportlichen Leistungsdiagnostik Anwendung [71–73].

## Wichtigkeit der Erholung und Beanspruchung im Handball

Während psychologische Komponenten in der Sportverletzungsforschung lange Zeit unterschätzt wurden, rückt die mentale Erholung in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus. Es besteht die Annahme, dass Verletzungen und Leistungseinbußen nicht allein durch biomedizinische Faktoren hervorgerufen werden, sondern psychosoziale Einflüsse ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen [74], gerade im Umgang mit Verletzungen – Langfristig für den Karriereverlauf, als auch bei der Bewältigung und Vermeidung einer Wiederverletzung [46]. Handballer sind oft enormen Stress-Situationen ausgesetzt (z. B. Wettkampfdichte, Trainererwartungen, medialer Druck), die sie mithilfe von personalen Ressourcen (z. B. Selbstwirksamkeitsüberzeugung, Kontrollüberzeugung, Optimismus) bewältigen müssen. Eine ausgewogene Balance zwischen Erholung und Beanspruchung spielt im sportlichen Alltag eine wichtige Rolle und stellt eine Voraussetzung für die optimale Wettkampfvorbereitung dar. Ungenügende Erholung kann sowohl zu psychischen, als auch zu physischen Leistungseinbußen bis hin zum Übertrainingssyndrom führen, welches sich interindividuell unterschiedlich auswirken kann [75]. Obwohl in der Literatur bereits auf unterschiedliche Anforderungsprofile der Spielerpositionen im Handball eingegangen wird [46], wird die individuelle Verarbeitung solcher Belastungen bisher nicht berücksichtigt. Da defizitär verarbeitete Stress-Situationen mit einer allgemeinen physischen Leistungsminderung einhergehen können [46] ist zu spekulieren, ob der Erholungs-Belastungs-Zustand des Athleten ebenfalls einen Einfluss auf die Kniestabilität aufweisen könnte.

Mit der Theorie, dass nicht nur strukturelle Gegebenheiten einen Einfluss auf die Entstehung von Verletzungen haben könnten, sondern auch psychosoziale Faktoren, wurde 1988 schon früh durch Andersen und Williams im Stress-Verletzungs-Modell

diskutiert [76]. Dieses beruht auf empirischen Untersuchungen zu psychologischen Ursachen von Verletzungen und Krankheit. Wie Kleinert in seinem Beitrag herausstellt, kamen diese zu der Schlussfolgerung, dass Sportverletzungen das Ergebnis psychischer Eigenschaften (Stressvergangenheit und Stressbewältigungs-Ressourcen) im Zusammenhang mit spezifischen situativen Faktoren (Bewertung einer potenziell verletzungsträchtigen Situation) sind [74]. Somit sollten sowohl auf dem Weg zu einem erfolgreichen RTS nach einer Kreuzbandverletzung, als auch unter präventivem Aspekt individuelle psychologische Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Zusammenhänge zwischen psychologischen Faktoren und der Kniestabilität sollten daher in zukünftigen Studien genauer untersucht werden. Denn wie die Übersichtsarbeit von Ardern, Taylor, Feller und Webster zeigt, ist die Anzahl von Rückkehrern in den Sport nach einer Verletzung zu ihrem vorherigen Leistungslevel erschreckend gering. Obwohl viele Sportler nach einer Operation eine gute Kniefunktion aufweisen, kehren sie dennoch nicht in den Wettkampf zurück [66].

## Ausblick

Der Überblick über die Literatur zeigt deutlich, dass das Knie im Handball zu der Körperregion mit dem höchsten Verletzungsrisiko zählt. Obwohl es zahlreiche Studien zum Knie und zu Knieverletzungen gibt, ist die Forschung zur funktionellen Stabilität defizitär. Der Hauptanteil der verfügbaren Untersuchungen basiert auf Untersuchungen im Profisport. Aufgrund unterschiedlicher Belastungen und leistungsdiagnostischer Betreuung im Profi- und Freizeitsport ist eine Handlungsempfehlung oder Übertragung dieser Ergebnisse auf den Breitensport für ein erfolgreiches RTS nur bedingt möglich. Dementsprechend wären künftige Untersuchungen auch außerhalb des Profihandballs notwendig, um umfassende Kenntnisse über die funktionelle Kniestabilität im Handballsport zu erlangen.

Weiterhin sollte untersucht werden, ob und inwieweit sich die funktionelle Kniestabilität bei bekannt positionsbedingtem Verletzungsrisiko innerhalb der verschiedenen Spielerpositionen, sowie zwischen unteren und oberen Spielklassen unterscheidet. Aus der Bearbeitung dieser Fragestellungen könnten weitere Interventionen sowohl zur Leistungsoptimierung, als auch zur Verletzungsprävention und Trainingssteuerung abgeleitet werden.

Gleichzeitig muss eine Prüfung vorhandener Tests bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf den Handballsport gelingen. Die Etablierung einer möglichst großen handballspezifischen Datenbank zur funktionellen Kniestabilisation wäre wünschenswert, um die höchst unterschiedlichen Belastungen der einzelnen Spielergruppen (z. B. Berufssport vs. Freizeitsport, Angriffsspieler vs. Abwehrspieler) zu identifizieren. Der tatsächliche handballspezifische Ist-Zustand der funktionellen Kniestabilität könnte so spielergruppenspezifisch abgebildet werden, um daraus Interventions- und Prophylaxe-Programme zu entwickeln.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Kenntnisstand zur funktionellen Kniestabilität im Breitensport Handball trotz bekannt hohem Verletzungsrisiko bisher noch Lücken aufweist. Neben bereits erfolgten Untersuchungen zu Verletzungen sind weitere Studien zur funktionellen Kniestabilität überfällig und sinnvoll.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- [1] Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG). Sportreport 2017. Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball (05.2017). Im Internet: [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBGsportreport%202017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/VBGsportreport%202017.pdf?__blob=publicationFile&v=7); Stand: 02.12.2017
- [2] Pieper HG, Muschol M. Sportverletzungen und Überlastungsschäden im Handballsport. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2007; 23: 4–10
- [3] Deutscher Handballbund (DHB). Kreuzbandriss bei Simon Ernst (13.06.2017). Im Internet: <https://dhb.de/detailsansicht/datum/2017/06/13/artikel/kreuzbandriss-beisimon-ernst.html>; Stand: 17.11.2017
- [4] Gokeler A, Zantrop T, Jöllenbeck T. Vorderes Kreuzband – Epidemiologie. GOTSExpertenmeeting: Vorderes Kreuzband. 2010: 3–14
- [5] Seil R, Nührenböcker C, Lion A et al. Knieverletzungen im Handball. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2016; 32: 154–164
- [6] Gorostiaga E, Granados C, Ibanez J et al. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine* 2005; 26: 225–232
- [7] Granados C, Izquierdo M, Ibanez J et al. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *International Journal of Sports Medicine* 2007; 28: 860–867
- [8] Wagner H, Fuchs PX, von Duvillard SP. Specific physiological and biomechanical performance in elite, sub-elite and in non-elite male team handball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2018; 58: 73–81
- [9] Gesellschaft für Arthroscopie (AGA). Auswertung der AGA-Instruktoren-umfrage: „Nachbehandlungsschemata nach isolierter Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes“ (05.02.2017). Im Internet: [http://www.aga-online.ch/ccUpload/upload/files/AUSWERT\\_Umfrage%205.2.2017.pdf](http://www.aga-online.ch/ccUpload/upload/files/AUSWERT_Umfrage%205.2.2017.pdf); Stand: 19.11.2017
- [10] Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *American Journal of Sports Medicine* 2004; 32: 1002–1012
- [11] Henke T, Schulz D, Wilke G. Sportunfälle im Berufshandball – Epidemiologie und Prävention (Abschlussbericht). Bochum: Lehrstuhl für Sportmedizin der Ruhr-Universität Bochum. 2004
- [12] Egloff C, Valderrabano V, Pagenstert G. Knieverletzungen im Sport – Die Partialruptur des VKB. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2011; 27: 35–41
- [13] Koga H, Nakamae A, Shima Y et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *American Journal of Sports Medicine* 2010; 38: 2218–2225
- [14] Lind M, Menhert F, Pedersen AB. The first results from the Danish ACL reconstruction registry: epidemiologic and 2 year follow-up results from 5818 knee ligament reconstructions. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2009; 17: 117–124
- [15] Luig P, Henke T. Acute Injuries in Handball. EHF Scientific Conference. Vienna-Austria, 2011
- [16] Moller M, Attermann J, Myklebust G et al. Injury risk in Danish youth and senior elite Handball using a new SMS test messages approach. *British Journal of Sports Medicine* 2012; 46: 759–766
- [17] Myklebust G, Bahr R, Nilstad A et al. Knee function among elite handball and football players 1–6 years after anterior cruciate ligament injury. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2017; 27: 545–553
- [18] Nielsen AB, Yde J. An Epidemiologic and Traumatologic Study of Injuries in Handball. *International Journal of Sports Medicine* 1988; 9: 341–344
- [19] Stoffels T, Achtnich A, Petersen W. Prävention von Knieverletzungen – besteht da Evidenz? *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2017; 33: 344–352
- [20] Bruhn S. Funktionelle Stabilität am Kniegelenk [Dissertation]. Freiburg: Universität Freiburg. 1999; 149
- [21] Panariello RA, Stump TJ, Maddalone D. Postoperative Rehabilitation and Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Operative Techniques in Sports Medicine* 2016; 24: 35–44
- [22] Petersen W, Zantrop T, Steensen M et al. Prävention von Verletzungen der unteren Extremität im Handball: erste Ergebnisse des Kieler Handball-Präventionsprogrammes. *Sportverletzung Sportschaden* 2002; 16: 122–126
- [23] Shelbourne KD, Davis TJ. Evaluation of Knee Stability before and after Participation in a Functional Agility Programm during Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine* 1999; 27: 156–161
- [24] Stöhr A. „Return to play“ nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2017; 33: 404–409
- [25] Wagner M, Schabus R. Funktionelle Anatomie des Kniegelenks. Berlin: Springer Verlag; 1982
- [26] Burstein AH, Wright TM. Biomechanik in der Orthopädie und Traumatologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1997
- [27] Alt W. Biomechanische Aspekte zur Gelenkstabilisierung dargestellt am Beispiel des Sprunggelenks. Geislingen: C.Maurer Verlag; 2001
- [28] Hohmann D. Orthopädische Technik. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005
- [29] Brüggemann M, Schaps KP, Kessler O et al. Gesundheitsstörungen: mit 294 Tabellen 2008.
- [30] McGhie D, Osteras S, Ettema G et al. Strength Determinants of Jump Height in the Jump Throw Movement in Women Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2018. doi:10.1519/JSC.0000000000002684
- [31] Hermassi S, Wollny R, Schwesig R et al. Effects of in-season circuit training on physical abilities in male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2017. doi:10.1519/JSC.0000000000002270
- [32] Srhoj V, Rogulj N, Papis V et al. The influence of anthropological features on ball flight speed in handball. *Collegium Anthropologicum* 2012; 36: 967–972
- [33] Wagner H, Pfusterschmied J, Tilp M et al. Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2014; 24: 345–354
- [34] Bayios IA, Anastasopoulou EM, Sioudris DS et al. Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2001; 41: 229–235
- [35] Wagner H, Pfusterschmied J, von Duvillard SP et al. Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sports Science and Medicine* 2011; 10: 73
- [36] Steiner J. Hansi Schmidt. Weltklasse auf der Königsposition. Biografie eines Handballers. Troisdorf: Gilder und Köster; 2005
- [37] Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British Journal of Sports Medicine* 2008; 42: 394–412
- [38] Luig P. Verletzungen im deutschen Profihandball der Männer – Epidemiologische Aspekte von Wettkampfverletzungen bei Erst- und Zweitligaspielern (2010–2013) unter Berücksichtigung systematischer Videoanalysen [Dissertation]. Bochum: Ruhr-Universität Bochum. 2015; 137
- [39] Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O et al. Efficacy of the FIFA 11 + injury prevention program in the collegiate male soccer player. *The American Journal of Sports Medicine* 2015; 43: 2628–2637

- [40] Gomes Neto M, Sena Conceicao C, Alves de Lima AJ et al. Effects of the FIFA II training program on injury prevention and performance in football players: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation* 2017; 31: 651–659
- [41] Dorrel BS, Long T, Shaffer S et al. Evaluation of the functional movement screen as an injury prediction tool among active adult populations: a systematic review and meta-analysis. *Sports Health* 2015; 7: 532–537
- [42] Seil R, Rupp S, Tempelhot S et al. Sports Injuries in Team Handball. *The American Journal of Sports Medicine* 1998; 26: 681–687
- [43] Wedderkopp N, Katoff M, Lundgaard B et al. Injuries in young female players in european team handball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1997; 7: 342–347
- [44] Henke T, Schulz D, Wilke G. *Sportunfälle im Berufshandball*. Bochum: Ruhr-Universität Bochum. 2005
- [45] Junge A, Engebretsen L, Mountjoy ML et al. Sports injuries during the Summer Olympic Games 2008. *American Journal of Sports Medicine* 2009; 37: 2165–2172
- [46] Kleinert J, Hermann HD. Umgang mit Verletzungen aus sportpsychologischer Sicht. *Leistungssport* 2007; 37: 43–49
- [47] Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC et al. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *American Journal of Sports Medicine* 2014; 42: 1567–1573
- [48] Petersen W, Stöhr A, Ellermann A et al. *Wiederkehr zum Sport nach VKBRekonstruktion. Empfehlungen der DKG\_Ecperternguppe Ligament*. Deutscher Ärzte Verlag 2016; 5: 167–176
- [49] Salmon L, Russel V, Musgrove T et al. Incidence and Risk Factors for Graft Rupture after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy* 2005; 21: 948–957
- [50] Myklebust G, Maehlum S, Holm I et al. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian teamhandball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1998; 8: 149–153
- [51] Petersen W, Zantrop T. Return to play following ACL reconstruction: survey among experienced arthroscopic surgeons (AGA-Instructors). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 2013; 133: 969–977
- [52] Holdhaus H. Summary of the Injury Study conducted at the EHF Men's Euro 2008 in Norway. Maria Enzersdorf. Österreich: Institut für medizinische und sportwissenschaftliche Beratung. 2008
- [53] Langevoort G, Myklebust G, Dvorak J et al. Handball injuries during major international tournaments. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2007; 17: 400–407
- [54] Lindblad BE, Hoy K, Terkelsen C et al. Handball injuries: An epidemiologic and socioeconomic study. *American Journal of Sports Medicine* 1992; 20: 441–444
- [55] Pieper HG, Kohlhaas K, Zinser W et al. Epidemiologie von Verletzungen in der 1. Handballbundesliga der Herren. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 1998; 14: 58–62
- [56] Deutsche Kniegesellschaft (DKG). Prävention von Knieverletzungen und VKB Rupturen – Empfehlungen des DKG Komitees Ligamentverletzungen. *Deutscher Ärzteverlag OUP* 2016; 10: 542–550
- [57] Mehl J, Diermeier T, Herbst E et al. Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of ligament committee of German Knee Society (DKG). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 2018; 138: 51–61
- [58] Petersen W, Taheri P, Forkel P et al. Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 2014; 134: 1417–1428
- [59] Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine* 2009; 43: 371–376
- [60] Reid A, Birmingham T, Stratford PW et al. Hop Testing Provides a Reliable and Valid Outcome Measure During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Physical Therapy in Sport* 2007; 87: 337–349
- [61] Augustsson J, Thomee R, Karlsson J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2004; 12: 350–356
- [62] Bjorklund K, Andersson L, Dalen N. Validity and responsiveness of the test of athletes with knee injuries: the new criterion based functional performance test instrument. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2009; 17: 435–445
- [63] Fitzgerald GL, Lephart SM, Hwang JH et al. Hop Tests as Predictors of Dynamic Knee Stability. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 2001; 31: 588–597
- [64] Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S et al. Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2017; 25: 192–199
- [65] Jang SH, Kim JG, Ha JK et al. Functional performance tests as indicators of returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* 2014; 21: 95–101
- [66] Ardern CL, Taylor NF, Feller JA et al. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48: 1543–1552
- [67] Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2011; 27: 1697–1705
- [68] Thomee R, Kaplan Y, Kvist J et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2011; 19: 1798–1805
- [69] Herrington L, Hatcher J, Hatcher A et al. A comparison of Star Excursion Balance Test reach distances between ACL deficient patients and asymptomatic controls. *Knee* 2009; 16: 149–152
- [70] Šimunič B, Rozman S, Pišot R. Detecting the velocity of the muscle contraction. Sarajevo: International Symposium of New Technologies in Sport. 2005
- [71] Maeda N, Urabe Y, Tsutsumi S et al. Symmetry tensiomyographic neuromuscular response after chronic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2018; 26: 411–417
- [72] Rey E, Lago-Penas C, Lago-Ballesteros J et al. The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography and perceived muscle soreness in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2012; 26: 3081–3088
- [73] Gil S, Loturco I, Tricoli V et al. Tensiomyography parameters and jumping and sprinting performance in Brazilian elite soccer players. *Sports Biomech* 2015; 14: 340–350
- [74] Kleinert J. *Das Stress-Wiederverletzungs-Modell: psychologische Ansätze zur Erklärung und Vermeidung von Wiederverletzungen im Sport*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie 2002; 50: 49–57
- [75] Kellmann M, Kölling S, Hitzschke B. *Das Akutmaß und die Kurzskaala zur Erfassung von erholung und Beanspruchung im Sport*. Hellenthal: Sportverlag Strauß; 2016
- [76] Andersen MB, Williams JM. A model of stress and athletic injury: Prediction and prevention. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 1988; 10: 294–306