

Jens Richter, Sven Behrendt, Thomas Henke, K. Donald Shelbourne, Jens-Peter Stahl

Warum reißt das vordere Kreuzband im Profifußball?

Quadrizepskontraktion – ein neuer Unfallmechanismus

Zusammenfassung:

Vordere Kreuzbandrupturen (VKB) zählen zu den schwerwiegendsten Verletzungen im Profifußball. Während frühere Studien den Valguskollaps als Hauptursache betrachteten, soll untersucht werden, ob eine explosive Quadrizepskontraktion ebenfalls eine eigenständige Verletzungsursache darstellt.

Material und Methoden: In einer retrospektiven Analyse durch 3 unabhängige Untersucher wurde Videoaufnahmen aus den 1. europäischen und mittelamerikanischen Ligen mit männlichen Profifußballern, die einer VKB-Ruptur erlitten, untersucht. Rupturen zwischen 2012 und 2021 wurden eingeschlossen, die Unfallsituationen und die Verletzungsmechanismen kategorisiert und die zum Knie angrenzenden Gelenke bewegungsanalytisch untersucht.

Ergebnisse: 33 Unfallvideos wurden identifiziert. 67 % der Rupturen traten ohne direkten Kontakt auf, wobei in 48,5 % eine übermäßige Quadrizepskontraktion eine vordere Tibiatranslation/ Schublade auslöste. Diese war an dem snap-back-Phänomen indirekt zu erkennen. Besonders betroffen waren offensive Spieler (42,4 % der Verletzungen), gefolgt von Abwehrspielern (27,3 %).

Das Unfallmechanismus-Analysemuster ergab, dass dynamische Valgusstellungen (33,3 %) und isolierte Quadrizepskontraktionen (15,2 %) signifikante Risikofaktoren sind. Besonders gefährdet sind Spieler in instabilen Körperpositionen, die reflexartig ihre Quadrizepsmuskulatur aktivieren, um ihre Körperposition zu stabilisieren.

Schlussfolgerungen: Die explosive Quadrizepsaktivierung kann eine ventrale Schublade provozieren und die Reißfestigkeit des VKB übertreffen. Präventionsprogramme sollten damit nicht nur statische Valguskollaps-Situationen, sondern auch die neuromuskuläre Kontrolle der Quadrizeps-Hamstrings-Interaktion verbessern.

Schlüsselwörter:

Vorderes Kreuzband, Rupturmechanismus, Quadrizeps, Prävention, Videoanalyse, Fußball

Zitierweise:

Richter J, Behrendt S, Henke T, Shelbourne KD, Stahl J-P: Warum reißt das vordere Kreuzband im Profifußball? Quadrizepskontraktion – ein neuer Unfallmechanismus

OUP 2025; 14: 174–178

DOI 10.3238/oup.2025.0174-0178

Einleitung

Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB) zählen zu den life-changing und karrieregefährdendsten Verletzungen im professionellen Fußball. Die durchschnittliche Inzidenz in europäischen Profiligen zeigt, dass mindestens ein Spieler pro Mannschaft alle 2 Jahre eine VKB-Verletzung erleidet [19]. Intrinsische Risikofaktoren, wie anatomische

Variationen, neuromuskuläre Defizite und hormonelle Einflüsse [3, 14] interagieren mit extrinsischen Faktoren wie Spielfeldbeschaffenheit, Schuhwerk und Spielintensität [1, 3, 10]. Aus deutschen Sport-Ligen fehlen reliable Daten zur Inzidenz von VKB-Rupturen [12]. Amerikanische Arbeiten und die deutsche VBG-Analyse [12] machen deutlich, dass Angriffsspieler in der

gegnerischen Hälfte (Sturm), bzw. Abwehrspieler in der eigenen Hälfte unter Wettkampfsituationen, im Gegensatz zu Trainingsspielen, das höchste Risiko haben [5]. Es handelt sich hierbei um dynamische Spielsituationen mit intuitiven und schnellen Richtungswechseln [12]. Kontrollierte Spielaktionen, wie z.B. der Strafstoß, haben demgegenüber kaum ein Risiko.

J. Richter, J.-P. Stahl: 1.Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Dortmund, Universität Witten/Herdecke
S. Behrendt: Praxis für Knie- und Schulterchirurgie, Dortmund
T. Henke †: Lehrstuhl für Sportmedizin und Sporternährung, Fakultät für Sportwissenschaft Ruhr-Universität Bochum
D. Shelbourne: Shelbourne Knee Center Indianapolis, USA

Why does the ACL tear in pro-soccer?

Quadriceps contraction – a new injury mechanism

Summary: Anterior cruciate ligament (ACL) ruptures are among the most serious injuries in professional soccer. While previous studies considered valgus collapse as the main cause, the aim of this study was to investigate whether explosive quadriceps contraction is also an independent cause of injury.

Material and Methods: In a retrospective analysis, video recordings from the 1st European and Central American leagues with male professional soccer players who suffered an ACL rupture were examined by three independent investigators. Ruptures between 2012 and 2021 were included, the accident situations and injury mechanisms were categorized and the joints adjacent to the knee were motion analyzed.

Results: 33 accident videos were identified. 67 % of the ruptures occurred without direct contact, with an tibial anterior translation/drawer triggered by excessive quadriceps contraction in 48.5 %. This was indirectly recognizable by the snap-back phenomenon. Offensive players were particularly affected (42.4 % of injuries), followed by defensive players (27.3 %). The analysis of the accident mechanism pattern revealed that dynamic valgus positions (33.3 %) and isolated quadriceps contractions (15.2 %) were significant risk factors. Players in unstable body positions who reflexively activate their quadriceps muscles to stabilize their body position are particularly at risk.

Conclusions: Explosive quadriceps activation can provoke a ventral drawer and exceed the tensile strength of the ACL. Prevention programs should thus improve not only static valgus collapse situations but also neuromuscular control of quadriceps-hamstrings interaction.

Keywords: acl, injury mechanism, quadriceps force, prevention, video analysis, soccer

Citation: Richter J, Behrendt S, Henke T, Shelbourne KD, Stahl J-P: Why does the ACL tear in pro-soccer? Quadriceps contraction – a new injury mechanism OUP 2025; 14: 174–178. DOI 10.3238/oup.2025.0174-0178

Bis zu 70 % der VKB-Rupturen entstehen in Non-Kontakt-Situationen [2]. Als Ursache wird traditionell der Valguskollaps mit einer Innenrotation des Oberschenkels und geringen Kniebeugung betrachtet [9, 15, 17]. Neue Erkenntnisse deuten darauf hin, dass eine explosive Quadrizeps-Muskelkontraktion eine vordere Tibiaschublade erzeugt, die das VKB überlastet [9].

Ziel dieser Studie war es, diesen neuartigen Mechanismus in professionellen Fußballspielen zu analysieren und seine Bedeutung für die Prävention von VKB-Verletzungen zu evaluieren.

Material und Methode

Für diese retrospektive Studie wurde eine Studienpopulation aus männlichen Profifußballspielern der Jahre 2012 bis 2021 herangezogen, deren Verletzungsvideos frei auf YouTube zugänglich waren (1. europäische Ligen sowie Mittelamerika: Deutschland, Italien, Frankreich, Spanien, Vereinigtes Königreich, Mexiko). Zur Auswahl der YouTube-Videos wurden

die Suchbegriffe „ACL injury“, „severe knee injury“ und „soccer injury“ verwendet. Die Verletzung wurde dann in einer internationalen Fußballdatenbank („Transfermarkt“) sowie durch Einträge in sozialen Medien und Google überprüft. Es wurden nur Videos berücksichtigt, die sich auf die Profi-Fußballligen bezogen und durch Nahaufnahmen eine Analyse der Bein- und Kniebewegungen während des Unfallzeitpunktes ermöglichten. Exkludiert wurden unscharfe Bildaufnahmen und diejenigen, die keine Beurteilung der Kniebewegungen zuließen.

Drei unabhängige Beobachter überprüften die Videos mittels Zeitlupenanalyse und Einzelbildbetrachtung (25 Bilder/Sek.) über die Software Pinnacle StudioTM24. Verletzungen wurden in die Kategorien Nicht-Kontakt, indirekter Kontakt und direkter Kontakt unterteilt. Eine detaillierte Frame-für-Frame-Analyse wurde zur Bewertung der Gelenkstellungen und Quadrizepsaktivierung durchgeführt. Fünf Verletzungs-

mechanismen wurden den Kategorien zugeordnet:

1. statischer Valgus-Kollaps (der Spieler kollabiert nach einem Sprung in der Knie-X-Stellung)
2. dynamischer Valgus (der Spieler befindet sich in einer Vorwärtsbewegung/Richtungswechsel und erleidet die Ruptur mit einer X-Stellung im Knie)
3. Hyperextension des Knies
4. traumatische externe Kraft und 5. isolierte quadrizepsinduzierte vordere Tibiaschublade (Quadrizepsgruppe).

Ein Zurückschnappen des Tibiakopfes („tibial shear“) wurde als Zeichen einer vorderen Knieschublade und als indirektes Zeichen einer Hyper-Quadrizeps-Kontraktion interpretiert. Der Rupturzeitpunkt wurde der Spielposition zugewiesen (aus Sicht des Verletzten: 16-Meter-Raum, Abwehr, Mittelfeld, Sturm). Wir notierten dabei die Beckenposition im Vergleich zum Knie (posterior, anterior), die Hüftstellung (Flexion, Abduktion, Adduktion), die Kniestellung (Valgus, Gerade,

Abb. 1–4: J. Richter

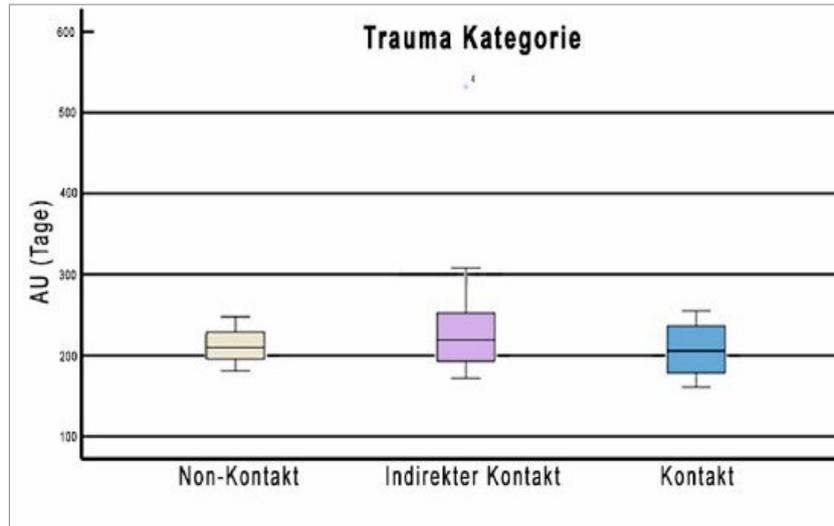


Abbildung 1 Boxplotdarstellung der Arbeitsunfähigkeitszeiten (AU/Tage; N = 33). Die Box umfasst 50 % der Messwerte, mit dem Median im Zentrum. Je 25 % der AU-Zeiten liegen oberhalb oder unterhalb der Box. * = Ausreißer. Kein sign. Unterschied zwischen den Unfallkategorien ($p > 0,05$)

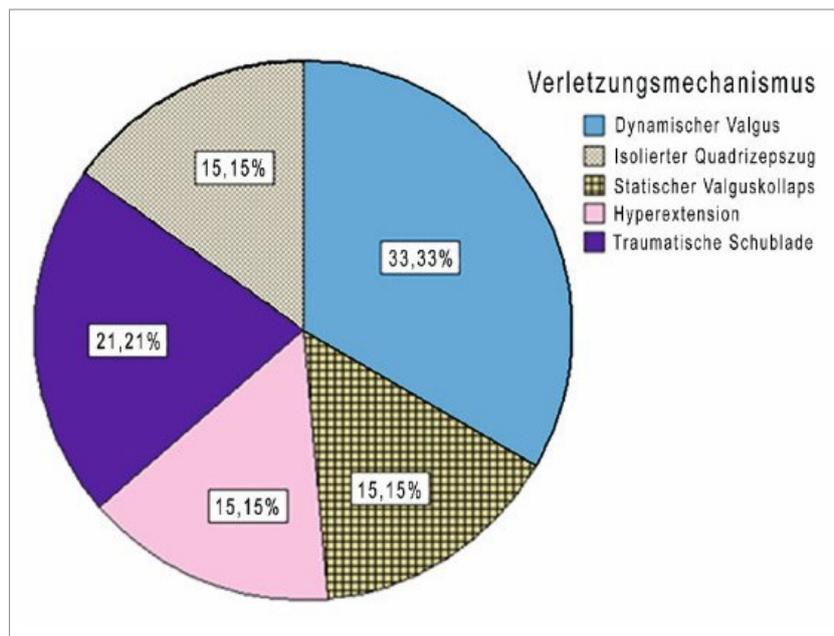


Abbildung 2 Prozentuale Verteilung der Verletzungsmechanismen (N = 33)

O-Bein) und extrapolierten über die Abweichung der Fußstellung zur Sagittal-Achse die Rotation des Oberschenkels. Alle Winkelgrade wurden in 10 Grad-Inkrementen notiert. Zuletzt dokumentierten wir den Fuß-Bodenkontakt (kein, partiell, > 50%).

Nachdem ein Spieler anhand seines Vereins und der Hemdaufschrift identifiziert wurde, konnten weitere Details, wie Alter, Spielpräferenz, Fußigkeit, Verletzungsdatum, Dauer der

Arbeitsunfähigkeit (AU) im Internet recherchiert werden (z.B. www.transfermarkt.de). Die Datenaufbereitung erfolgte mit Excel (Microsoft Office 2019) und IBM SPSS Statistics Vers. 27. Für nicht-parametrische Analysen benutzten wir den Wilcoxon-Rank-Test, für Gruppenvergleiche mit inhomogener Verteilung den Mann-Whitney-U-Test und bei homogener Verteilung den t-Test. Ein p-Wert < 0,05 wurde als signifikant gewertet.

Ergebnisse

33 relevante Videosequenzen aus dem Männer-Profifußball von 2012 bis 2021 wurden ausgewertet. Das Durchschnittsalter der Spieler betrug zum Unfallzeitpunkt 26,1 Jahre, der Median lag bei 25 Jahren (19–36). Zehnmal (30%) war das linke Kreuzband, 23-mal (70%) die rechte Seite betroffen. Die Seitenverteilung betraf mit 54% etwas häufiger das dominierende Bein, was man angesichts der Stichprobengröße als ausgeglichen bezeichnen kann. Die Verteilung der Arbeitsunfähigkeitsdauer (AU) stellt die Box-Plot-Abbildung dar (Abb. 1). Die mittlere AU betrug 228,9 Tage (± 72). Der Median lag bei 216,5 Tagen. Es gab einen Ausreißer mit 532 Tagen. Mehrfache Gelenkoperationen waren hier die Ursache. Eine Korrelation zwischen dem Alter (zum Unfallzeitpunkt) und der Dauer der AU (Pearson-Chi-Quadrat-Test) lag nicht vor ($X^2 = -0,145$).

67% der VKB-Rupturen traten ohne direkten Gegnerkontakt auf (Non-Kontakt). Eine übermäßige Quadrizepskontraktion führte in 48,5% der Fälle zu einer vorderen Schublade. Dieser Mechanismus trat sowohl mit dynamischem Valgus (33,3%) als auch isoliert (15,2%) auf (Abb. 2).

Spielerposition während des Unfalles

Die Position zum Unfallzeitpunkt des Spielers auf dem Feld veranschaulicht die Abbildung 3. Am häufigsten ereigneten sich VKB-Rupturen im Sturmangriff (42,4%), gefolgt von Spielaktionen in der Abwehr (27,3%) und dem Mittelfeld (21,2%). Selten kam es beim Torwart bzw. im 16-Meterraum zu einer VKB-Ruptur (9,1%).

Knieaktion und Beinstellung während des Unfalles

Die VKB-Verletzungen traten bevorzugt in Valgusstellungen des Kniegelenks auf, nämlich in 79%. In 21% lag eine gerade Beinachse oder ein erzwungener Varus vor (Tab. 1). Demnach dominierten dynamische X-Beinstellungen mit 33,3%.

Den klassischen Valguskollaps und die Knie-Hyperextension (Stolpern, Block durch Gegenspieler) dokumentierten wir jeweils nur in

15,2 %. Eine traumatisch induzierte Schublade (Kontakt-Situation) beobachteten wir immerhin in 21,2 % und eine isolierte explosive Anspannung des Quadrizepsmuskels (gerade Vorwärtsbewegung) in 15,2 %. Damit machten traumatisch provozierte Schubladen nur ein Fünftel der Verletzungen aus. Ein „klassischer“ (bzw. „statischer“) Valguskollaps im Rahmen eines Landemansövers ereignete sich fünfmal, als der Spieler nach einem Sprung instabil mit dem Fuß aufkam und das Knie auf der Stelle in der X-Stellung kollabierte.

Die Unterschiede der Knie- und Hüftstellungen zum Unfallmechanismus waren in der univariaten Analyse hoch signifikant ($p < 0,01$). So lag bei dem Unfallmechanismus des dynamischen Valgus im Mittel eine Kombination aus Knieflexion von 41° , Femurinnenrotation von 30° , Hüft-Abduktion von 35° und Hüft-Flexion von 43° vor. Bei allen beobachteten Spielern lag in dieser Situation der Körperschwerpunkt durch das nach ventro-lateral abgespreizte innenrotierte Bein dorsal vom Knie.

Beim statischen Valguskollaps war demgegenüber die durchschnittliche Hüftabduktion signifikant mit 50° erhöht ($p < 0,01$). In Unfallsituationen mit explosivem Quadrizepszug dokumentierten wir niedrigere Werte für die Femurinnenrotation und Hüft-Abduktion sowie Hüft-Flexion (Tab. 1).

Fuß-Rasenkontakt zum Unfallzeitpunkt

Bei allen Unfallmechanismen, bis auf den explosiven Quadrizeps-Zug, hatte der Fuß mindestens hälftig Rasenkontakt. Viermal wollte der Spieler sich mit dem Vorfuß abstoßen und nach vorne schnellen. In den anderen Situationen war die Ferse aufgesetzt und der Spieler versuchte sich durch die Quadrizepsspannung zu balancieren. In der Quadrizepsgruppe ereignete sich die vordere Schublade kurz bevor der Fuß auf den Rasen aufsetzte. Es sah in den slow-Motion-Sequenzen so aus, dass der Spieler das Aufsetzen des Fußes erwartete, zur Balance seine Quadrizepsmuskulatur einsetzte, was wiederum den „tibial shear“ auslöste.

Diskussion

Frühere Studien ordneten die meisten Nicht-Kontakt-VKB-Verletzungen dem Valguskollaps zu [4, 8, 11]. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine explosive Quadrizepskontraktion eine eigenständige Verletzungsursache darstellt. Diese tritt in Situationen auf, in denen der Sportler sich aus einer „instabilen“ Körperposition durch eine reflexartige Quadrizepsaktivierung wieder stabilisieren möchte. Bei leichter Kniebeugung und innenrotiertem Oberschenkel löst der Muskel über das Ligamentum patellae eine vordere Schublade aus [12, 18]. Mit dem Bodenkontakt kommt es zu einer kurzfristigen Verhakung zwischen der Femurkondyle und der Tibiahinterkante.

Ein bemerkenswertes „Snap-Back“-Phänomen des Tibiakopfs konnte als indirektes Zeichen in diesem Zusammenhang beobachtet werden. Diese Befunde stimmen mit DeMorat et al. [6] überein, die nachwiesen, dass eine übermäßige Quadrizepskontraktion sehr hohe ventral gerichtete Schubladenkräfte erzeugt, die in der Lage sind, die Reißfestigkeit des Kreuzbandligaments zu übertreffen.

Unfallmechanismus		Knie Flexion (Grad)	Femur Innenrotation (Grad)	Hüft-Abduktion (Grad)	Hüft-Flexion (Grad)	Becken Position (n in %)	Rasenkontakt (n in %)
Dynamischer Valgus- Quadrizeps-Zug	Mittelwert	40,91°	30,00°	35,45°	42,73°	Posterior 100 %	Ja 100 %
	N	11	11	11	11	11	11
Statischer Valgus-Kollaps	Mittelwert	36,00°	30,00°	50,00°	34,00°	Posterior 100 %	Ja 100 %
	N	5	5	5	5	5	5
Hyper-Extension Extension	Mittelwert	-8,00°	0,00°	8,00°	0,00°	Neutral 80 %	Ja 100 %
	N	5	5	5	5	4	5
Traumatische Schublade	Mittelwert	32,86°	22,86°	28,57°	34,29°	Posterior 71 %	Ja 100 %
	N	7	7	7	7	5	7
Isolierter Quadrizeps-Zug	Mittelwert	36,00°	24,00	30,00°	28,00°	Posterior 60 %	Nein 100 %
	N	5	5	5	5	3	5

Tabelle 1 Gelenkstellungen von Knie und Hüfte, Beckenposition und Fuß-Rasenkontakt zum Unfallzeitpunkt, N = 33

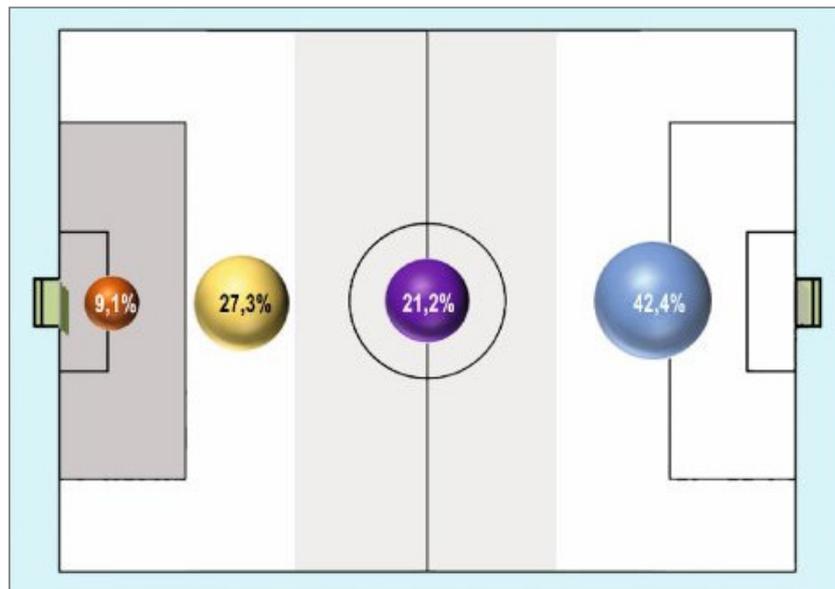


Abbildung 3 Verteilung (%) der Unfallposition aus Sicht des Verletzten (n = 33, Tor/16 m, Abwehr, Mittelfeld, Sturm)

Shelbourne [16] postulierte zudem, dass eine unsichere Körperlage kurz vor der Bodenberührung eine explosive Quadrizepsaktivierung begünstigt. Spieler in instabilen Spielsituationen, beispielsweise nach Sprüngen oder schnellen Richtungswechseln mit posteriorer Beckenposition, innenrotiertem Oberschenkel und leicht gebeugtem Knie mit X-Bein (dynamischer Valgus; Abb. 4), sind in Bezug auf das vordere Kreuzband einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt.

Die Erkenntnisse dieser Studie verdeutlichen, dass Präventionsprogramme nicht nur auf die Reduktion von statischen Valguskollaps-Risiken ausgerichtet sein sollten, sondern insbesondere auf die Verbesserung der neuromuskulären Kontrolle der Quadrizeps-Hamstrings-Interaktion. Eine gezielte Aktivierung der Hamstrings kann helfen, die überschießende Quadrizepsmuskelaktivierung mit konsekutivem Zug am Schienbeinkopf zu verhindern. Zudem ist eine Prävention der posterioren Beckenposition notwendig, um eine ungünstige Kombination aus Oberschenkelinnenrotation und leichter Kniebeugung zu vermeiden [7].

Unsere Untersuchungen zeigten weiterhin, dass Kreuzbandbezogene Verletzungshäufigkeiten und Spielposition korrelieren. Insbesondere sind offensive Mittelfeldspieler und

Stürmer einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Diese Spieler sind durch häufige und schnelle Bewegungen, plötzliche Stopps und Richtungswechsel besonders gefährdet. Dies legt nahe, dass positionsspezifische Präventionsprogramme entwickelt werden sollten, um das Verletzungsrisiko zu reduzieren.

Das StopX-Programm der Deutschen Kniegesellschaft [13] fokussiert sich auf die Prävention von Valguspositionen. Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen erneut die Relevanz dynamisch instabiler Körperpositionen als Verletzungsrisiko im Fußball sowie die Notwendigkeit einer ausgewogenen Koaktivierung der Kniemuskulatur. Individuelle Trainingsmaßnahmen auf Basis von Bewegungs- und Risikoanalysen sollten konsequent implementiert werden, um gefährdete Spieler besser zu schützen. Die Bochumer Arbeitsgruppe von Klein et al. [11] konnte aufdecken, dass dies in den deutschen Profiligen nicht selbstverständlich ist.

Künftige Studien sollten hochauflösende Videos mit elektromyografischen Analysen kombinieren, um die Muskelaktivierungsmuster im Verletzungsmoment des Fußballsports genauer zu erfassen. Angesichts der steigenden Spielgeschwindigkeit im Profifußball sind diese Untersuchun-

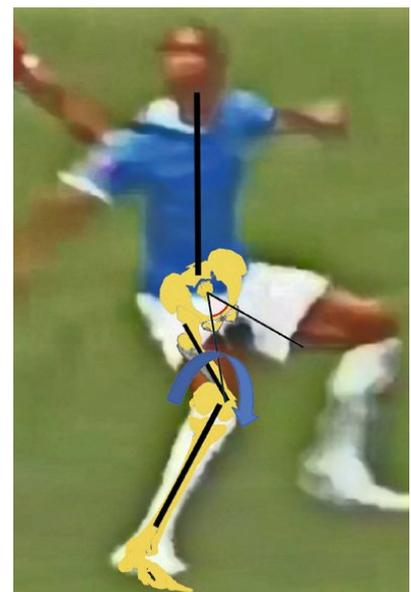


Abbildung 4 Offensiver Mittelfeldspieler (linker Fuß dominant), Millisekunden bevor sein rechtes Kreuzband reißt. Er befindet sich in einer Vorwärtsbewegung, mit Richtungsänderung, um einen Pass anzunehmen. Gegenspieler in der Nähe, kein direkter Kontakt. Dynamische Valgusstellung: Hüfte abduziert – Oberschenkel nach innen rotiert – Knie in 45°-Flexion mit Valgus. Becken nach hinten. Teilweiser Bodenkontakt.

gen erforderlich, um das Verletzungsrisiko weiter zu minimieren.

Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:
www.online-oup.de.



privat

Korrespondenzadresse

Priv. Doz. Dr. med. Jens Richter
 Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
 Klinikum Dortmund
 Münsterstr. 240
 44145 Dortmund
JensAlexander.Richter@klinikumdo.de