

Persönliche PDF-Datei für

Matthias Keller, Frank Diemer, Eduard Kurz

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Tests zur Beurteilung der
Bewegungsqualität nach
ligamentären Verletzungen des
Kniegelenks: eine systematische
Übersichtsarbeit

Sportverl Sportschad 2022; 36: 38–
48

Nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt.
Keine kommerzielle Nutzung, keine Einstellung
in Repositorien.

Verlag und Copyright:

© 2022. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 0932-0555

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags

 **Thieme**

Tests zur Beurteilung der Bewegungsqualität nach ligamentären Verletzungen des Kniegelenks: eine systematische Übersichtsarbeit

Judging movement quality in patients who sustained a knee ligament injury: a systematic review

Autoren

Matthias Keller¹, Frank Diemer², Eduard Kurz^{1,3}

Institute

- 1 OSINSTITUT ortho & sport, München, Germany
- 2 DIGOTOR GbR, Fortbildungen für Orthopädische Medizin und Manuelle Therapie, Brackenheim, Germany
- 3 Universitätsklinikum Halle, Halle (Saale), Germany

Schlüsselwörter

VKB, Kniegelenk, Valgus, Test, Bewertung

Key words

ACL, knee joint, valgus, screen, test, assessment

online publiziert 04.01.2022

Bibliografie

Sportverl Sportschad 2022; 36: 38–48

DOI 10.1055/a-1551-4388

ISSN 0932-0555

© 2022. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Eduard Kurz

Department für Orthopädie, Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinikum Halle, Ernst-Grube-Str. 40,
06120 Halle (Saale), Germany
eduard.kurz@uk-halle.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Rupturen der kapsuloligamentären Strukturen dominieren die Verletzungsstatistik am Kniegelenk. Die Beurteilung posttraumatischer Defizite oder Dysfunktionen bei dynamischen Bewegungsmustern erfolgt sowohl quantitativ als auch qualitativ. Ziel dieser Übersichtsarbeit war es, Werkzeuge, die zur Bewertung der Bewegungsqualität nach einer Kniebandverletzung bei Erwachsenen eingesetzt werden, zusammenzutragen.

Methode In folgenden Primärquellen wurde eine systematische Suche nach Originalarbeiten durchgeführt: Ovid, PubMed, Scopus, Web of Science. Sowohl die konservativen als auch die operativen Therapieoptionen wurden berücksichtigt. PROSPERO Registrierung des Studienprotokolls: CRD42020175359.

Ergebnisse Insgesamt wurden 1153 Arbeiten identifiziert. In diese Arbeit wurden 11 Originalarbeiten aus 4 verschiedenen Arbeitsgruppen eingeschlossen. In allen Arbeiten wurde die Bewegungsqualität bei Erwachsenen nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes beurteilt. Insgesamt wurden in den eingeschlossenen Studien 348 (70 nicht operiert, 278 rekonstruiert) Patienten nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes und 119 Erwachsene mit intaktem vorderem Kreuzband untersucht.

Schlussfolgerung In der Praxis ist es möglich, die Bewegungsqualität nach einer Kniebandverletzung mit geringem zeitlichem und technischem Aufwand zu erfassen. Die erfassten Veränderungen resultieren in einem funktionellen Valgus, dessen Ausmaß basierend auf den Ergebnissen der einzelnen Arbeiten in einen isolierten Knievalgus, in einen medialen Kollaps oder einen posturalen Kollaps weiter differenziert werden kann.

ABSTRACT

Background Knee joint injury statistics are dominated by ruptures of the capsular ligament structures. Post-traumatic deficits in dynamic movement patterns are assessed quantitatively as well as qualitatively. The aim of this review was to compile tools that are used to assess the quality of movement after knee ligament injuries in adults.

Methods A systematic search for original papers was carried out in the following primary sources: Ovid, PubMed, Scopus and Web of Science. Both conservative and surgical treatment options were considered. PROSPERO registration of the study protocol: CRD42020175359.

Results A total of 1153 papers were identified. Eleven original papers from four different working groups were included in this work. All papers assessed the quality of movement in adults after anterior cruciate ligament (ACL) injury. A total of 348 (70 deficient, 278 reconstructed) patients after an ACL injury and 119 adults with an intact ACL were examined in the studies included.

Conclusion It is possible to assess movement quality after a knee ligament injury with a low temporal and technical effort. The changes recorded result in a functional valgus, which, based on the study results, may be further differentiated into isolated knee valgus, medial collapse or postural collapse.

Einleitung

Rupturen der kapsuloligamentären Strukturen dominieren die Verletzungsstatistik am Kniegelenk. Eine regionale Auswertung von 3,8 Millionen Krankenversicherten (Baden-Württemberg) zeigte bei Frauen eine Inzidenz von 152,0/100 000 und bei Männern von 283,8/100 000. Kniegelenkverletzungen standen dabei nach Kopf-, Hand- und Sprunggelenkverletzungen mit 13,6% an vierter Stelle [1]. Die Partizipation an Sportarten stellt grundsätzlich ein höheres Risiko für eine Knieverletzung dar [2]. In einer großen Kohorte von High-School-Athleten fanden Swenson et al. [3] in 36,1% der Fälle Läsionen des medialen Kollateralbandes. Mit 29,5% war die Patella bzw. die Patellarsehne etwas seltener betroffen, gefolgt von Rupturen des vorderen Kreuzbandes (25,4%), Meniskusläsionen (23%) sowie Traumen des lateralen Kollateralbandes (7,9%) und des hinteren Kreuzbandes (2,4%).

Für eine schnelle, aber auch sichere Rückkehr zu Alltag, Beruf und Sport ist eine zielgerichtete, planmäßige und kriterienbasierte Rehabilitation notwendig [4]. In der Praxis existiert kein einheitliches Nachbehandlungsmodell. Allerdings haben Schemata, die neben den Wundheilungszeiten auch die motorische Funktion und die Belastbarkeit prüfen sowie die Bewegungsqualität beurteilen, in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen [5, 6].

Mithilfe funktioneller Tests wird beispielsweise die Qualität grundlegender Bewegungsmuster geprüft oder es werden Belastungen simuliert, die als Voraussetzung für eine Rückkehr zur sportart- und aktivitätsspezifischen Anforderung angesehen werden [5, 7]. Diese zu evaluieren und zu objektivieren stellt eine wesentliche Herausforderung für die aktive Rehabilitation von Patienten nach Kniebandverletzungen dar. Belastungen (Abspringen, Landen, Abbremsen, Richtungswechsel) in extensionsnahen Kniegelenkwinkeln mit einem Valgusmoment und einer hohen Quadrizepsaktivität können zu den intrinsischen Einflussfaktoren für Kniebandverletzungen gezählt werden [8, 9]. Darüber hinaus verstärken individuelle Dominanzen [10] oder Dysbalancen für einzelne Körperregionen oder Muskelgruppen die Kniebelastung. Solche für Kniegelenktraumata prädisponierenden Muster beruhen häufig auf erlernten Strategien, die auch nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bestehen bleiben können [11, 12]. Um solche posttraumatischen Defizite oder Dysfunktionen bei dynamischen Bewegungsmustern zu beurteilen, kommen sowohl quantitative als auch qualitative Tests zum Einsatz. Dabei werden bei quantitativen Tests Parameter wie Reichweite, Sprungweite, Sprunghöhe, Zahl der Kontakte oder Zeit durch Testkits, Maßbänder, Messplatten oder Stoppuhren ermittelt. Qualitative Aspekte der motorischen Leistung hingegen werden durch einen geübten Untersucher mithilfe eines auf klaren Kriterien basierenden Bewertungskatalogs erfasst. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Quantifizierung beziehungsweise Objektivierung einer subjektiven Beurteilung. Außerdem lassen sich aus den Testergebnissen trainingstherapeutische Konsequenzen ableiten und es lässt sich eine Bewertung des Therapieerfolgs vornehmen [13].

Ziel dieser systematischen Übersichtsarbeit war es herauszufinden, welche Werkzeuge zur Bewertung der Bewegungsqualität nach einer Kniebandverletzung bei Erwachsenen eingesetzt werden. Insbesondere sollten Instrumente identifiziert werden, die

in der Praxis einfach zu implementieren sind und ein Minimum an technischer Ausrüstung erfordern.

Methode

Ende 2020 wurde unter Berücksichtigung der PRISMA-Richtlinien [14] eine systematische Suche nach Originalarbeiten (1990–2020) in folgenden Primärquellen durchgeführt: *Ovid*, *PubMed*, *Scopus* und *Web of Science* (► **Abb. 1**). Die verwendeten Suchbegriffe sind der ► **Tab. 1** zu entnehmen. Ferner wurden die Quellenangaben relevanter Artikel manuell nach zusätzlichen Arbeiten durchsucht. Berücksichtigt wurden Querschnittsstudien in deutscher und englischer Sprache.

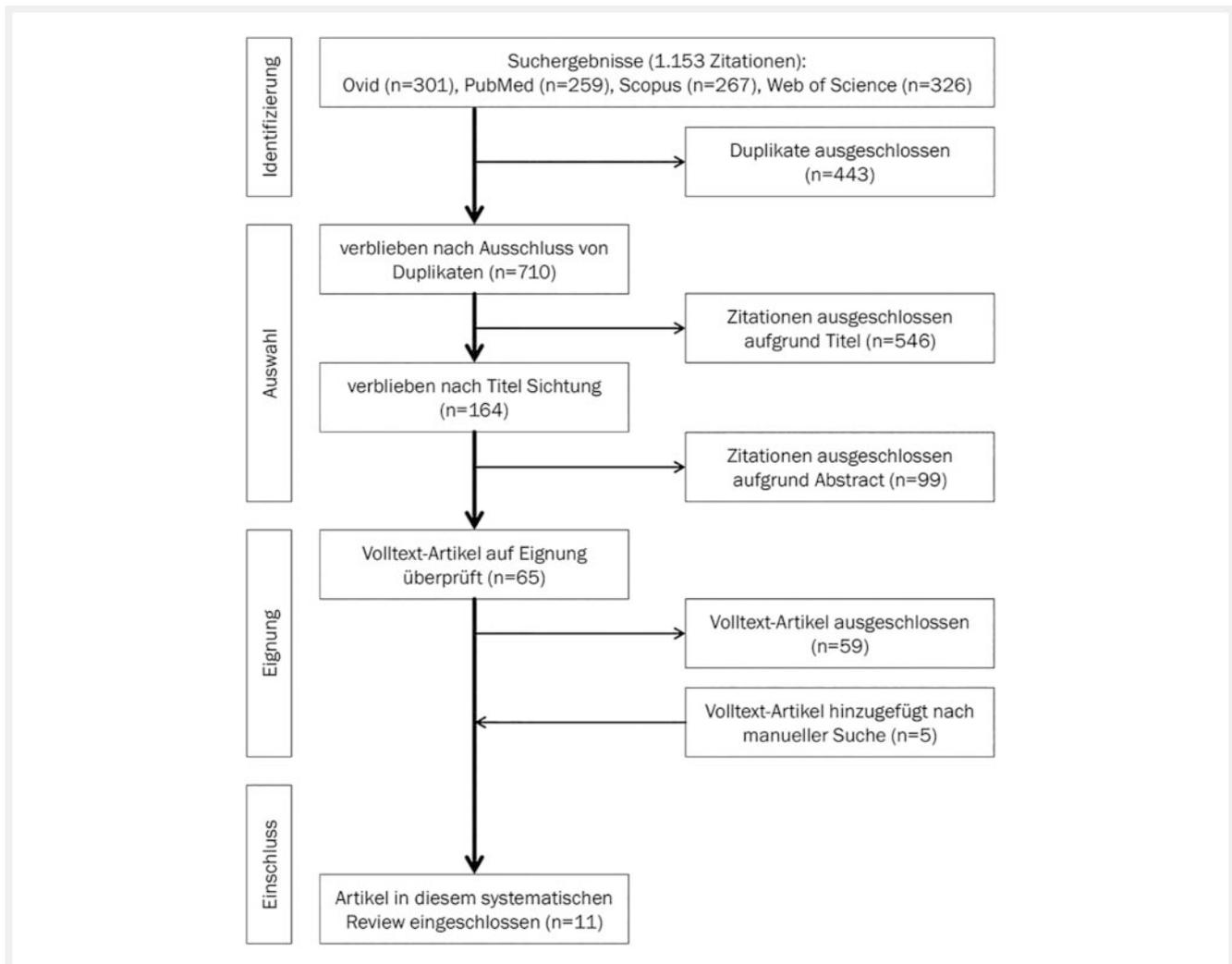
Ausgeschlossen wurden Übersichtsarbeiten, Fallstudien, Konferenzbeiträge und Buchkapitel. Die Ergebnisse beschränken sich auf erwachsene Patienten, die eine Kniebandverletzung erlitten hatten. Sowohl die konservativen als auch die operativen Therapieoptionen wurden berücksichtigt. Dementsprechend fanden Arbeiten, in denen lediglich gesunde, unverletzte Personen untersucht wurden, keine Berücksichtigung. Des Weiteren wurden sämtliche Arbeiten, in denen komplexe technische Instrumente (*motion capture*, *force plate*) sowie herkömmliche Ganganalysen verwendet wurden, um Aussagen über die Bewegungsqualität zu treffen, zugunsten praktikabler Testverfahren bewusst ausgeschlossen. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in der ► **Tab. 2** gegenübergestellt. Die Qualität der identifizierten Arbeiten (Risikobewertung) wurde anhand des *appraisal tool for cross-sectional studies* (AXIS [15]) unabhängig voneinander durch 2 Gutachter (FD, EK) beurteilt. Der Wertebereich des AXIS-Instruments liegt zwischen 0 und 20. Höhere Werte lassen auf eine bessere Studienqualität schließen (geringeres Verzerrungspotenzial). Folgende Informationen wurden zusammengetragen: Zusammensetzung der Studienpopulation, Therapieoption, verwendete(r) Test oder Testbatterie, bewertete Körperebene (Blick in die Sagittal- oder Frontalebene), Zahl der beurteilten Segmente, Ausführung (unilateral, bilateral), *Impact* bzw. Intensität der Aufgabe. Das Protokoll der vorliegenden Übersichtsarbeit wurde im *international prospective register of systematic reviews* (PROSPERO) begutachtet und registriert (CRD42 020 175 359).

Die in den Arbeiten verwendeten Testbewegungen können entsprechend ihren motorischen Anforderungen und der resultierenden Gelenkbelastung in *Low-Threshold-* (LTT) oder *High-Threshold* (HTT)-Tests unterschieden werden [16, 17]. Die LTT werden langsamer ausgeführt, sind daher besser willkürlich zu kontrollieren und erfordern geringe bis mittlere Krafteinsätze. Die HTT hingegen sind durch höhere Bewegungsgeschwindigkeiten und Zusatzlasten sowie hohe Belastungsspitzen, die auch als *Impacts* bezeichnet werden, gekennzeichnet.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 1153 Arbeiten identifiziert. Nach Ausschluss von Duplikaten und irrelevanten Studien blieben 65 Arbeiten, von denen die Volltexte angefordert wurden.

In diese systematische Übersichtsarbeit konnten 11 Originalarbeiten aus 4 verschiedenen Arbeitsgruppen eingeschlossen



► **Abb. 1** Selektionsprozess der Studien für das systematische Review (PRISMA flow diagram).

► **Tab. 1** Verwendete Suchstrategie mit Suchbegriffen und Verknüpfungen in der Suchoberfläche PubMed (Zeitraum: 1990–2020).

Schritt	Schlagwörter, Operatoren und Kombination	Zitationen
#1	knee OR "knee joint"	150 636
#2	ligament	75 867
#3	injury	1189 348
#4	"movement quality" OR "motion analysis"	7950
#5	#1 AND #2 AND #3 AND #4	259

► **Tab. 2** Ein- und Ausschlusskriterien der Studien.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> Studien an > 10 Patienten mit ligamentären Verletzungen am Kniegelenk Erwachsene Querschnittstudien 	<ul style="list-style-type: none"> Studien an Unverletzten Patienten unter 18 Jahren Reviews, prospektive Studien, Interventionsstudien, Case Reports Studien, in denen komplexe Messverfahren (Motion-Capture-Technik, Kraftmessplatten) eingesetzt wurden

werden (► **Tab. 3**). Die Qualität der identifizierten Studien wurde als moderat eingeschätzt (Median: 15, Minimum–Maximum: 15–16). In allen berücksichtigten Arbeiten wurde die Bewegungsqualität von Erwachsenen ausschließlich nach einer Ruptur des vorderen

Kreuzbandes beurteilt. Insgesamt wurden in den eingeschlossenen Studien 348 (70 nicht operierte, 278 rekonstruierte) Patienten nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes sowie 119 Erwachsene mit intakten vorderen Kreuzbändern untersucht (► **Tab. 3**). In den eingeschlossenen Arbeiten sind zwischen

► **Tab. 3** Übersicht über die untersuchten Kollektive und die vorgenommene Bewertung innerhalb der eingeschlossenen Studien.

Studie	Kollektiv (M/F)	Alter (Jahre)	Transplantat	Zeitpunkt der Untersuchung	Bewertete Körperebene, Körpersegmente, Ausführung	Auswertung	AXIS (x/20)
Trulsson et al. 2010a	24 Patienten nach VKB-Ruptur (12/12), 49 Kontrollen (23/26)	VKB: 28, 17–44 Kontrollen: 27, 17–44	kein	2,8 (SD 2,4) Jahre nach Verletzung	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Nacken, Arme; einbeinig und beidbeinig	direkte Beobachtung (TSP)	15
* Trulsson et al. 2010b	17 Patienten nach VKB-Ruptur, 36 VKBR-Patienten, VKB & VKBR (38/15)	30 (SD 5) 20–39	unklar	2–5 Jahre nach Verletzung bzw. Operation	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Nacken, Arme; einbeinig und beidbeinig	direkte Beobachtung (TSP)	15
# Bell et al. 2014	27 VKBR-Patienten (4/23), 27 Kontrollen (4/23)	VKBR: 20 (SD 2) Kontrollen: 21 (SD 2)	15 BPTB graft, 9 hamstring autograft 3 hamstring allograft	39,2 (SD 17,6) Monate nach Verletzung	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf; beidbeinig	videobasiert (LESS)	16
\$ Cronström & Ageberg 2014	13 Patienten nach VKB-Ruptur (7/4), 38 VKBR-Patienten (19/19)	25 (SD 5)	unklar	Patienten nach VKB-Ruptur: M, 66 (SD 57,9) Wochen; F, 45 (SD 42,1) Patienten VKB-Operation: M, 47 (SD 42,5); F, 36 (SD 40,7)	Frontalebene; Knie; einbeinig und beidbeinig	videobasiert	16
Kuenze et al. 2015	22 VKBR-Patienten (12/10), 24 Kontrollen (12/12)	VKBR: 23 (SD 5), Kontrollen: 22 (SD 4)	10 BPTB graft, 12 hamstring autograft	31,5 (SD 23,5) Monate nach VKB-Operation	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf; beidbeinig	videobasiert (LESS)	15
Trulsson et al. 2015	16 Patienten nach VKB-Ruptur (6/10)	30 (SD 10) 19–48	kein	3,6 (SD 2,3) Monate nach VKB-Ruptur	Frontalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Nacken, Arme; einbeinig und beidbeinig	videobasiert, direkte Beobachtung (TSP)	15
* Ageberg & Roos 2016	18 (17) Patienten nach VKB-Ruptur (12/6), 36 VKBR-Patienten (27/9)	30, 20–39	20 BPTB graft, 16 hamstring tendon graft	3 (SD 0,9) Jahre nach VKB-Ruptur bzw. VKB-Operation	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Nacken, Arme; einbeinig und beidbeinig	videobasiert, direkte Beobachtung (TSP)	15
\$ Nae et al. 2017	13 Patienten nach VKB-Ruptur, 38 VKBR-Patienten VKB & VKBR (28/23)	25 (SD 5)	unklar	58 (SD 52) Wochen nach VKB-Ruptur, 42 (SD 47) Wochen nach VKB-Operation	Frontalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf; einbeinig und beidbeinig	videobasiert	16

► Tab. 3 (Fortsetzung)

Studie	Kollektiv (M/F)	Alter (Jahre)	Transplantat	Zeitpunkt der Untersuchung	Bewertete Körperebene, Körpersegmente, Ausführung	Auswertung	AXIS (x/20)
§ Cronström 2018	13 Patienten nach VKB-Ruptur (7/4), 38 VKBR-Patienten (19/19)	25 (SD 5)	unklar	21,3 (16,6–52,6) Wochen nach VKB-Ruptur, 27,8 (19,7–47,1) Wochen nach VKB-Operation	Frontalebene; Knie; einbeinig und beidbeinig	videobasiert	16
# Kuenze et al. 2018	168 VKBR-Patienten (41/127)	Median: 19 (Einschluss: 18–35)	92 BPTB autograft, 59 hamstring autograft, 17 hamstring allograft	25 (15–38) Monate nach VKB-Operation	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf; beidbeinig	videobasiert (LESS)	15
van Melick et al. 2019	14 VKBR-Patienten (14/0), 19 Kontrollen (19/0)	18–30	unklar	12,4 (SD 3,5) Monate nach VKB-Operation	Frontal- und Sagittalebene; Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf; beidbeinig	videobasiert (LESS)	16

AXIS, Appraisal tool for cross-sectional studies; BPTB, Bone-patellar tendon-bone; VKB, vorderes Kreuzband; VKBR, vorderes Kreuzband rekonstruiert; LESS, Landing Error Scoring System; TSP, Test for substitution patterns;

* ,#,\$ Daten derselben Kohorte. Angaben sind Mittelwerte mit Standardabweichung (SD) oder Minimum-Maximum.



► **Tab. 4** Kategorisierung der in den eingeschlossenen Studien relevanten Tests und Testbatterien zur Beurteilung der Bewegungsqualität nach Ruptur des VKB.

Autor und Jahr	LTT	HTT
Trulsson et al. 2010a	Body-weight altering, Single-limb mini-squat, Tiptoe standing single-limb mini-squat, Forward lunge from stairs, Mini-squat,	One-leg standing bouncing on trampoline
Trulsson et al. 2010b	Body-weight altering, Single-limb mini-squat, Tiptoe standing single-limb mini-squat, Forward lunge from stairs, Mini-squat	Countermovement jump, Front hop, Side hop
Bell et al. 2014	–	Drop vertical jump
Cronström & Ageberg 2014	Single-limb mini-squat, Stair descending, Forward lunge	Drop jump
Kuenze et al. 2015	–	Drop vertical jump
Trulsson et al. 2015	Single-limb mini-squat, Double-limb mini-Squat	–
Ageberg & Roos 2016	Body-weight altering, Single-limb mini-squat, Tiptoe standing single-limb mini-squat, Forward lunge from stairs, Mini-squat	Countermovement jump, Front hop, Side hop
Nae et al. 2017	Mini-squat, Single-leg mini-squat, Step up, Step down, Forward lunge, Deep squat	Drop jump, Front hop, Crossover hop
Cronström 2018	Mini-squat	Front hop, Crossover hop
Kuenze et al. 2018	–	Drop vertical jump
van Melick et al. 2019	–	Countermovement jump

LTT, Low-Threshold-Test; HTT, High-Threshold-Test.

13 [18, 19] und 168 [20] VKB-Patienten untersucht worden. In die Studie mit der größten Stichprobe [20] wurden ausschließlich Patienten nach VKB Rekonstruktion eingeschlossen, während in den Studien mit den kleinsten Stichproben nicht operierte VKB-Patienten untersucht wurden [18, 19]. In 4 Arbeiten [18, 19, 21, 22] wurden konservativ therapierte mit operativ versorgten VKB-Patienten verglichen (► **Tab. 3–5**).

LTT

In mehr als der Hälfte der Arbeiten (7/12) wurde die beidbeinige oder einbeinige Kniebeuge (*Squat*) zur Beurteilung der Bewegungsqualität verwendet. Am häufigsten wurde der dynamische Knievalgus beurteilt, sowohl ortsgebunden (*Squat an Ort und Stelle*) als auch ortsungebunden (*Forward Lunge* oder *Lateral Lunge*). Trulsson [23–25] und Ageberg und Roos [21] führten dabei eine seitliche Gewichtsverlagerung durch. Cronström [19] evaluierten die Position des Kniegelenks in Relation zum Fuß

(Knievalgus). Nae und Mitarbeiter [22] führten die komplexeste Analyse durch und evaluierten 6 Körpersegmente (Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Nacken und Arme).

Die einbeinige Kniebeuge wurde in den inkludierten Arbeiten noch variabler eingesetzt. Die Ausführung unterschied sich insbesondere hinsichtlich der Gleichgewichtssicherung. Dabei war es den Patienten erlaubt, sich festzuhalten. Damit ermöglichten Trulsson et al. [23–25] und Ageberg & Roos [21] das geforderte Bewegungsausmaß von 70° Knieflexion. Nae und Mitarbeiter [22] und Cronström & Ageberg [18] ließen die Einbeinkniebeuge frei, jedoch nur bis 50° Knieflexion durchführen. Analog zur beidbeinigen Kniebeuge beurteilte Cronström [19] ausschließlich den Knievalgus in der Frontalebene. Trulsson et al. [23–25] und Ageberg & Roos [21] hingegen evaluierten 4 Körpersegmente (Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf). Nae und Mitarbeiter [22] beurteilten zusätzlich den Nacken und die Arme.

► **Tab. 5** Vergleichende Zusammenstellung der quantifizierten Ergebnisse zwischen den in den eingeschlossenen Studien untersuchten Subgruppen mit Angabe des Wertebereichs. Höhere Werte stehen für mehr Fehler und damit für eine schlechtere Bewegungsqualität.

Studie	VKB-Ruptur		Kontrolle (VKB intakt)	Wertebereich
	nicht operiert	rekonstruiert		
Trulsson et al. 2010a (Summe von 9 Tests)	verletzt, Median: 17 (Min-Max: 12–18) unverletzt, 2 (0–4)	–	2 (0–5)	0–108
Trulsson et al. 2010b (Summe von 5 Tests)	verletzt, Median: 14 unverletzt, 7	–	–	0–54
Bell et al. 2014 (Drop vertical jump)	–	6,7 (SD 2,1) Fehler	5,6 (SD 1,5) Fehler	0–19
Cronström & Ageberg 2014	verletzt, Median: 1 (Min-Max: 0–2)	–	–	0–2
Kuenze et al. 2015 (Drop vertical jump)	–	6,3 (SD 3,6) Fehler	2,8 (SD 2,2) Fehler	0–19
Trulsson et al. 2015 (Summe von 5 Tests)	verletzt, Median: 9,5 (Min-Max: 2–20) unverletzt, 0 (0–5)	–	–	0–54
Ageberg & Roos 2016 (Summe von 5 Tests)	Median: 4 (Quartile: 0,5, 6,5)	Median: 3,5 (Quartile: 2,6)	–	0–54
Nae et al. 2017 (9 Tests)	k. A.	k. A.	–	0–123
Cronström 2018 (Mini-squat)	Median: 0 (Quartile: 0, 0,5)	Median: 0 (Quartile: 0, 0,25)	–	0–2
Kuenze et al. 2018 (Drop vertical jump)	–	Männer, 4,6 (SD 2,3) Fehler Frauen, 6,1 (SD 2,3) Fehler	–	0–19
van Melick et al. 2019 (Countermovement jump)	–	unermüdet, 4 (SD 2) Fehler ermüdet, 7 (SD 1) Fehler	unermüdet, 4 (SD 2) Fehler ermüdet, 4 (SD 2) Fehler	0–19

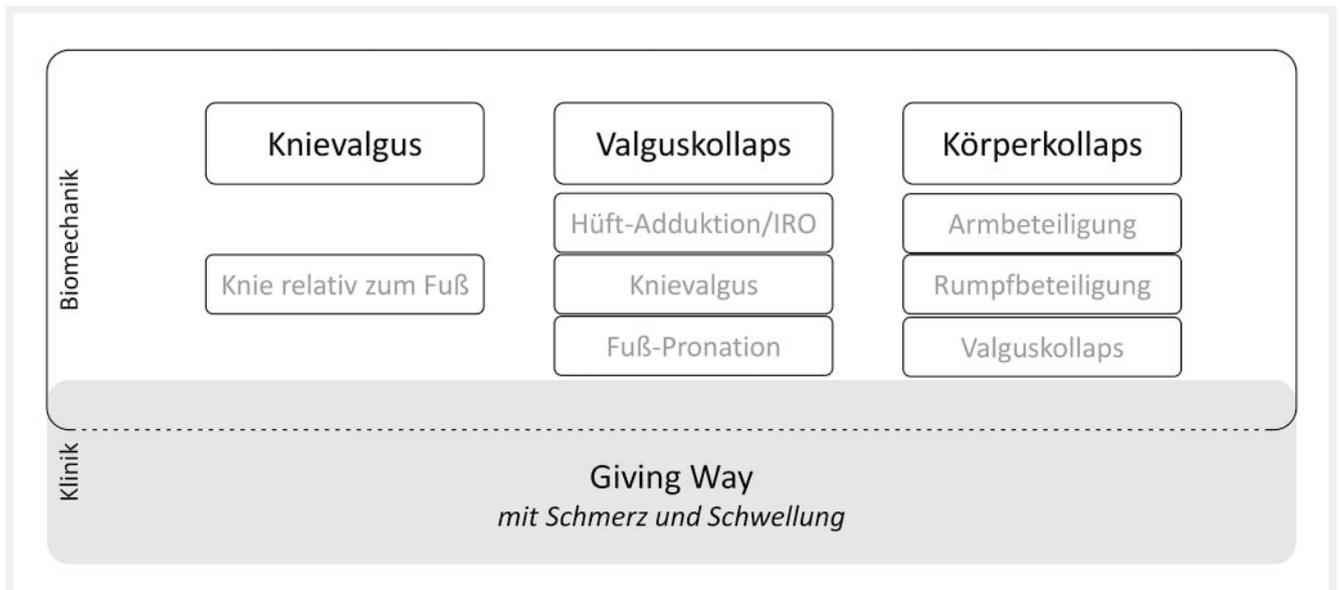
k. A., keine Angabe; VKB, vorderes Kreuzband. Angaben sind, wenn nicht anders angegeben, Mittelwerte mit Standardabweichung (SD) oder Minimum-Maximum.

Der Ausfallschritt nach vorn und wieder zurück (*Forward Lunge*) kam in 5 Arbeiten zum Einsatz. Cronström & Ageberg [18] sowie Nae et al. [22] führten die Bewegung auf einer ebenen Fläche aus und forderten, eine Schrittlänge von 100 cm zu überbrücken (3 Wiederholungen). Trulsson et al. [23, 24] und Ageberg & Roos [21] dagegen starteten auf einer 15 cm hohen Stufe. Die eingeforderte Schrittlänge hingegen war kürzer und betrug ca. 80 cm (5 Wiederholungen).

Die Beurteilung der Bewegungsqualität wurde in den einzelnen Arbeiten keineswegs konsistent vorgenommen. Cronström und Ageberg [18] beschränkten sich auf die Position des Kniegelenks des vorderen Beins und attestierten eine defizitäre Bewegungskontrolle bei einem verstärkten Knievalgus (Kniegelenk in Relation zum Fuß, vgl. ► **Abb. 2**). Trulsson et al. [23, 24] evaluierten neben dem Knievalgus die Rumpfposition in 2 Ebenen (Lateralisierung oder vermehrte Bewegung nach ventral) und erfassten die Kompensationen über die Arme. Nae et al. [22] fügten den Nacken und das Hüftgelenk als separate Körperabschnitte hinzu und beurteilten darüber hinaus in allen Ebenen, d. h., der Rumpf und das Hüftgelenk wurden auch hinsichtlich der Rotationsposition beurteilt.

HTT

Unter den als HTT klassifizierten Tests kommt am häufigsten der *Drop Vertical Jump* (DVJ) zum Einsatz [18, 20, 22, 26–28]. Vier Arbeiten [20, 26–28] orientieren sich am Testprotokoll des *Landing Error Scoring System* (LESS) nach Padua et al. [29]. Dabei wird der Patient aufgefordert, von einer 30 cm hohen Stufe nach vorn zu springen, um nach einer Landung so schnell und so hoch wie möglich einen vertikalen Sprung zu realisieren. Die Landezone ist individuell an den Patienten angepasst. Die Entfernung ist auf 50 % der Körperhöhe standardisiert. In Vorbereitung auf den DVJ-Test werden beliebig viele Probeversuche gewährt. Die Zielversuche wurden auf 3 und ausschließlich in der Arbeit von van Melick et al. [28] auf 3–5 Versuche beschränkt. Die Zielversuche wurden von 2 Videokameras (Entfernung ca. 3,5 m von der Landezone) von vorn und von der Seite aufgenommen und anschließend ausgewertet. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Landung, d. h., es wurden der initiale Kontakt des Fußes sowie der Umkehrpunkt (tiefste Position des Körperschwerpunkts) der Landung untersucht. Beurteilt wurden die Gelenkstellungen der unteren Extremitäten, die Rumpfposition und die Symmetrie beider Beine mithilfe von insgesamt 17 Kriterien [29]. Analog zu den LTT wird auch



► **Abb. 2** Klassifikation des Kontrollverlusts mit Kniegelenkbeteiligung in unterschiedlichem Ausmaß mit und ohne klinische Zeichen.

dabei dem Knievalgus, dem medialen Kollaps und der Tiefe der Landung eine große Bedeutung beigemessen. Darüber hinaus wird die Landung durch den Tester als „weich“ (besser) oder „hart“ (schlechter) bewertet. Auffälligkeiten werden aufsummiert. Dementsprechend wird ein höheres Ergebnis mit einer defizitäreren Landetechnik gleichgesetzt.

Cronström & Ageberg [18] und Nae et al. [22] untersuchten ebenfalls den DV]. Sie orientierten sich allerdings mit kleinen Abweichungen an den Angaben von Hewett et al. [30]. Während die Absprunghöhe annähernd gleich blieb (27–30 cm), lag der Hauptunterschied in der Vorgabe der Landezone. Diese wurde nicht an die Körperlänge des Patienten angepasst und grundsätzlich nicht vorgegeben. Der Sprung erfolgte daher ohne genaue Angabe nach vorn und unten mit einem anschließenden vertikalen Absprung. Die Parameter wurden von Nae et al. [22] stringent mit 3 Probe- und 3 Wertungsdurchgängen angegeben, Cronström und Ageberg [18] spezifizierten lediglich die Zahl der Versuche, die gewertet werden (ebenfalls 3), beschreiben jedoch keine Probedurchgänge. Zur Beurteilung der Bewegungsqualität wurde entweder der Knievalgus [18] oder der mediale Kollaps mit einem zusätzlichen Kontrollverlust des Rumpfes [22] herangezogen.

In 2 Arbeiten wurde die Bewegungsqualität anhand des Single Leg Hop (SLH) beurteilt [19, 22]. Dabei handelt es sich um Daten derselben Kohorte, bei der der Armeinsatz beim SLH zugelassen wurde. Nach einem maximal weiten Sprung nach vorn wurde eine kontrollierte Landung eingefordert. Die Landung musste für 2–3 Sekunden gehalten werden. Wie für den DV] wurden 3 Probe- und 3 Wertungsversuche durchgeführt. Lediglich Cronström [19] lieferte zu den Probeversuchen keinerlei Angaben. Für die qualitative Beurteilung wurde von Cronström [19] der Knievalgus erfasst. Nae et al. [22] werteten zusätzlich die Position der Hüfte und des Rumpfes aus.

Diskussion

In dieser Übersichtsarbeit werden Ergebnisse von Arbeiten, in denen die Bewegungsqualität von Patienten nach einer Kniebandverletzung beurteilt wurde, zusammengefasst. Dabei wurden Originalarbeiten eingeschlossen, deren Methodik in der täglichen konservativen wie postoperativen Praxis umsetzbar erscheint. In allen identifizierten Arbeiten wurde die Bewegungsqualität von Patienten nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes beurteilt. Der funktionelle Valgus ist als Risikofaktor und insbesondere in Interaktion mit unkontrollierten hohen Gelenkkräften für das Erleiden einer VKB- bzw. Knieverletzung im Allgemeinen identifiziert. Deshalb erscheint ein präventives Screening bzw. ein rehabilitatives Assessment dieses Bewegungsmusters sinnvoll.

Verschiedene Arbeitsgruppen fordern konsistent den Einsatz von motorischen Testverfahren in der Rehabilitation von Patienten nach Kniebandverletzungen [6, 8, 31]. Die Begründung dafür wird aus der Analyse der primären Verletzung oder dem Rezidiv abgeleitet. Beide Verletzungen zeigen bestimmte Muster, die unter anderem durch kinematische Veränderungen des Rumpfes und der unteren Extremitäten in der frontalen, transversalen oder sagittalen Ebene gekennzeichnet sind [12, 32]. Diese kinematischen Veränderungen resultieren aus einem funktionellen Valgus, der in den einzelnen Arbeiten in einen isolierten Knievalgus, in einen medialen Kollaps oder einen posturalen Kollaps (Körperkollaps) weiter unterschieden wurde (► **Abb. 2**). Darüber hinaus sollte der funktionelle Valgus von einem strukturellen oder anatomischen Valgus abgegrenzt werden. Als klinische Ausprägung sollte das *Giving Way* gesondert betrachtet werden. Dabei spielen Schwellung und Schmerz eine wesentliche Rolle.

Die Beurteilung des funktionellen Valgus wird in den meisten Arbeiten bei der Kniebeuge oder bei einer Landung und sowohl statisch (Haltung) als auch dynamisch (Bewegung) evaluiert. Die Kniebeuge gehört daher zu den am häufigsten genutzten Testbewegungen [18, 19, 21–25]. Dieser Übertrag aufgrund des Verlet-

zungsmusters ist gegenwärtig plausibel, wird von diversen Autoren aber auch kritisch hinterfragt. Zunächst ist es fraglich, ob antizipierbare und damit leichter zu kontrollierende Testbedingungen realen sportartspezifischen Aktivitäten entsprechen [6]. Des Weiteren ist die diagnostische Performance von *Cut-off*-Werten kinematischer Veränderungen oder Scores (z. B. LESS) schwach, oder sie sind gänzlich nicht verfügbar [33, 34]. Zusätzlich stellt die Beurteilung von einzelnen Gelenkstellungen innerhalb einer Bewegung einen eindimensionalen Ansatz dar, durch den ein komplexes System nicht ausreichend beurteilt werden kann [35]. Eventuell sind kinematische Veränderungen wie ein dynamischer Valgus auch nur ein physiologischer und ökonomischer Ausdruck der Bewegungsvariabilität [35] oder sie sind durch anatomische Gegebenheiten bedingt. Diese Kritikpunkte erklären einerseits die Tatsache, dass die Ergebnisse für die Prädiktion von primären oder sekundären Kniebandverletzungen durch eine Beurteilung der Bewegungsqualität bis heute inkonsistent sind [36–38]. Andererseits stellen sie aus Sicht der Autoren keine Legitimation für eine grundsätzliche Abkehr von motorischen Testverfahren dar. Ermittelte Ergebnisse sollten aber nicht überinterpretiert und stets im Zusammenhang mit einer individuellen Bewegungsausführung gesehen werden. Die verwendeten Tests stellen daher eine rational nachvollziehbare Evaluation von Auffälligkeiten und Risikomustern aus der Pathogenese der Kniebandverletzungen dar.

Trotz der Tatsache, dass für die Beurteilung der Bewegungsqualität 3-dimensionale komplexe kinematische und kinetische hinsichtlich der Genauigkeit den einfachen Video- oder observatorischen Analysen überlegen scheinen [10, 36], sind diese Instrumente für den praktischen Einsatz nur bedingt geeignet [39]. Auch wenn eine reine observatorische Untersuchung keine Informationen zu kinetischen Kennwerten liefert, sind die Übereinstimmung und die Spezifität akzeptabel bis gut [40, 41]. Die Frage, ob sich infolge der Ergebnisse aufwendigerer und teurer komplexerer biomechanischer Analysen [42] konkretere therapeutische Konsequenzen ableiten lassen, bleibt offen.

Nae et al. [22], Padua et al. [43] und Trulsson et al. [23, 24] konnten zeigen, dass Therapeuten auch ohne teure Hilfsmittel in der Lage sind, eine genaue Bewegungsanalyse durchzuführen. Dabei sollte ein besonderes Augenmerk auf die Anleitung und Durchführung der Testung gelegt werden.

In den meisten Arbeiten wurden vor der eigentlichen Testung 3–5 Probedurchgänge durchgeführt. Diese Erprobung dient der Testvorbereitung und stellt sicher, dass die Testaufgabe durch den Patienten verstanden wurde und umgesetzt werden konnte. Dabei scheint es empfehlenswert, zwischen LTT und HTT zu unterscheiden. Bei LTT können zu viele Probedurchgänge zu einem ungewollten Lerneffekt führen. Bei HTT hingegen können zu viele Probedurchgänge zu einer unbeabsichtigten Vorermüdung führen. Eine Möglichkeit wäre, die Patienten in einer separaten Einheit auf die Testaufgaben vorzubereiten [44], um unerwünschte Effekte zu vermeiden.

Bei unilateralen Tests sollten zunächst die Probedurchgänge und danach die Wertungsdurchgänge durchgeführt werden. Bei den Wertungsdurchgängen wurden in 9/11 Arbeiten 3 Wiederholungen durchgeführt. In keiner Arbeit wurden mehr als 5 Wiederholungen ausgeführt. Ebenso wurde in keiner der Arbeiten be-

schrieben, welcher Versuch tatsächlich gewertet wurde. Da nicht von exakten Wiederholungen der Bewegungen ausgegangen werden kann, sollte vorher festgelegt werden, welche der Ausführungen bewertet wird. Wird bei motorischen Testverfahren die Kontrolle der Landung beurteilt, sollte auch bestimmt werden, wie lange die Landung kontrolliert gehalten werden muss, um den Versuch als gültig zu werten [19, 22]. Überdies wird das Testergebnis durch den Armeinsatz beeinflusst [44]. Daher sollte der Armeinsatz standardisiert werden. Dabei empfiehlt es sich, vor allem bei den LTT, die Hände aufgrund einer besseren Reproduzierbarkeit in die Taille zu stützen.

Darüber hinaus sollte sich die Beurteilung der Bewegungsqualität nicht nur auf den funktionellen Knievalgus beschränken. Der Blick in die Sagittalebene lässt eine differenziertere Beurteilung zu. So kann eine Kniebeuge oder Landung hinsichtlich ihrer Hüft- oder Kniedominanz [45] bewertet und die Oberkörperposition beurteilt werden. Die Fußstellung lässt sich in dieser Ebene ebenfalls sehr gut bewerten (Vorfußdominanz). Ein ergänzendes Argument für den Einsatz motorischer Testverfahren in der Praxis ist die Tatsache, dass sich unmittelbar trainingstherapeutische Konsequenzen ableiten lassen, die für eine bessere Compliance bei Patienten und Therapeuten sorgen.

Limitationen

In der vorliegenden Übersichtsarbeit wurden nicht alle Arbeiten, in denen die Bewegungsqualität nach Kniebandverletzungen untersucht wurde, berücksichtigt. Sie zielte darauf ab, Ergebnisse mit praktikablen sowie wissenschaftlich geprüften Lösungen zusammenzutragen, die für den Arzt oder Therapeuten mit einem minimalen technischen Aufwand umsetzbar sind.

Schlussfolgerung

Bei der Beurteilung der Bewegungsqualität nach Kniebandverletzungen kommt der Beinachse und dem dynamischen Knievalgus eine besondere Bedeutung zu. Die Ergebnisse der eingeschlossenen Studien konnten zeigen, dass Ärzte oder Therapeuten durch einfache observatorische Beurteilungen in der Lage sind, Abweichungen vom Bewegungsmuster zu identifizieren.

KERNAUSSAGEN

- Kniebandverletzungen sind mit einer veränderten Bewegungsqualität assoziiert.
- *Low-threshold*- und *High-threshold*-Tests werden eingesetzt, um die Bewegungsqualität zu quantifizieren.
- Ärzte und Therapeuten können die Bewertung ohne aufwendige Messinstrumente vornehmen.
- Die Versorgung nach einem Trauma (konservativ oder operativ) hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Bewegungsqualität
- Das Ausmaß des funktionellen Valgus kann in einen isolierten Knievalgus, in einen medialen Kollaps oder einen posturalen Kollaps differenziert werden.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Schneider O, Scharf HP, Stein T et al. Inzidenz von Kniegelenkverletzungen: Zahlen für die ambulante und stationäre Versorgung in Deutschland. *Orthopäde* 2016; 45: 1015–1026
- [2] Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med* 2005; 39: 324–329
- [3] Swenson DM, Collins CL, Best TM et al. Epidemiology of knee injuries among U.S. high school athletes, 2005/2006–2010/2011. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45: 462–469
- [4] Myer GD, Paterno MV, Ford KR et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based progression through the return-to-sport phase. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006; 36: 385–402
- [5] Keller M, Kurz E, Schmidlein O et al. Interdisziplinäre Beurteilungskriterien für die Rehabilitation nach Verletzungen an der unteren Extremität: Ein funktionsbasierter Return to Activity Algorithmus. *Sportverletz Sportschaden* 2016; 30: 38–49
- [6] Buckthorpe M. Optimising the late-stage rehabilitation and return-to-sport training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Med* 2019; 49: 1043–1058
- [7] van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 2016; 50: 1506–1515
- [8] Logerstedt DS, Scalzitti D, Risberg MA et al. Knee stability and movement coordination impairments: knee ligament sprain revision 2017. *J Orthop Sports Phys Ther* 2017; 47: A1–A47
- [9] Carlson VR, Sheehan FT, Boden BP. Video analysis of anterior cruciate ligament (ACL) injuries: a systematic review. *JBSJ Rev* 2016; 4
- [10] Hewett TE, Bates NA. Preventive biomechanics: a paradigm shift with a translational approach to injury prevention. *Am J Sports Med* 2017; 45: 2654–2664
- [11] Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports Med* 2017; 47: 221–232
- [12] Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med* 2010; 38: 1968–1978
- [13] Barber SD, Noyes FR, Mangine RE et al. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clin Orthop Relat Res* 1990: 204–214
- [14] Moher D, Liberati A, Tetzlaff J et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 2009; 6: e1000097
- [15] Downes MJ, Brennan ML, Williams HC et al. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open* 2016; 6: e011458
- [16] Comerford M, Mottram S. Kinetic control: the management of uncontrolled movement. 1. Aufl. Chatswood: Elsevier; 2012
- [17] Michaelson P, Holmberg D, Aasa B et al. High load lifting exercise and low load motor control exercises as interventions for patients with mechanical low back pain: A randomized controlled trial with 24-month follow-up. *J Rehabil Med* 2016; 48: 456–463
- [18] Cronström A, Ageberg E. Association between sensory function and medio-lateral knee position during functional tasks in patients with anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet Disord* 2014; 15: 430
- [19] Cronström A. Is poor proprioception associated with worse movement quality of the knee in individuals with anterior cruciate ligament deficiency or reconstruction? *J Phys Ther Sci* 2018; 30: 1278–1283
- [20] Kuenze CM, Triggsted S, Lisee C et al. Sex differences on the Landing Error Scoring System among individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 2018; 53: 837–843
- [21] Ageberg E, Roos EM. The association between knee confidence and muscle power, hop performance, and postural orientation in people with anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 2016; 46: 477–482
- [22] Nae J, Creaby MW, Nilsson G et al. Measurement properties of a test battery to assess postural orientation during functional tasks in patients undergoing anterior cruciate ligament injury rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 2017; 47: 863–873
- [23] Trulsson A, Garwicz M, Ageberg E. Postural orientation in subjects with anterior cruciate ligament injury: development and first evaluation of a new observational test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 814–823
- [24] Trulsson A, Roos EM, Ageberg E et al. Relationships between postural orientation and self reported function, hop performance and muscle power in subjects with anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet Disord* 2010; 11: 143
- [25] Trulsson A, Miller M, Hansson GA et al. Altered movement patterns and muscular activity during single and double leg squats in individuals with anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet Disord* 2015; 16: 28
- [26] Bell DR, Smith MD, Pennuto AP et al. Jump-landing mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction: a landing error scoring system study. *J Athl Train* 2014; 49: 435–441
- [27] Kuenze CM, Foot N, Saliba SA et al. Drop-landing performance and knee-extension strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 2015; 50: 596–602
- [28] van Melick N, van Rijn L, Nijhuis-van der Sanden MWG et al. Fatigue affects quality of movement more in ACL-reconstructed soccer players than in healthy soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019; 27: 549–555
- [29] Padua DA, Marshall SW, Boling MC et al. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am J Sports Med* 2009; 37: 1996–2002
- [30] Hewett TE, Myer GD, Ford KR 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: 492–501
- [31] Buckthorpe M, Della Villa F. Optimising the “mid-stage” training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Med* 2020; 50: 657–678
- [32] Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med* 2020. doi:10.1136/bjsports-2019-101247
- [33] Krosshaug T, Steffen K, Kristianslund E et al. The vertical drop jump is a poor screening test for ACL injuries in female elite soccer and handball players: a prospective cohort study of 710 athletes. *Am J Sports Med* 2016; 44: 874–883
- [34] Leppänen M, Pasanen K, Kujala UM et al. Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *Am J Sports Med* 2017; 45: 386–393
- [35] Dischiavi SL, Wright AA, Hegedus EJ et al. Framework for optimizing ACL rehabilitation utilizing a global systems approach. *Int J Sports Phys Ther* 2020; 15: 478–485
- [36] Cronström A, Creaby MW, Ageberg E. Do knee abduction kinematics and kinetics predict future anterior cruciate ligament injury risk? A sys-

- tematic review and meta-analysis of prospective studies. *BMC Musculoskeletal Disord* 2020; 21: 563
- [37] Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI et al. The Landing Error Scoring System as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *J Athl Train* 2015; 50: 589–595
- [38] Smith HC, Johnson RJ, Shultz SJ et al. A prospective evaluation of the Landing Error Scoring System (LESS) as a screening tool for anterior cruciate ligament injury risk. *Am J Sports Med* 2012; 40: 521–526
- [39] Nilstad A, Andersen TE, Kristianslund E et al. Physiotherapists can identify female football players with high knee valgus angles during vertical drop jumps using real-time observational screening. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44: 358–365
- [40] Ekegren CL, Miller WC, Celebrini RG et al. Reliability and validity of observational risk screening in evaluating dynamic knee valgus. *J Orthop Sports Phys Ther* 2009; 39: 665–674
- [41] Whatman C, Toomey C, Emery C. Visual rating of movement quality in individuals with and without a history of intra-articular knee injury. *Physiother Theory Pract* 2019; 1–7. doi:10.1080/09593985.2019.1703229
- [42] Fox AS, Bonacci J, McLean SG et al. A systematic evaluation of field-based screening methods for the assessment of anterior cruciate ligament (ACL) injury risk. *Sports Med* 2016; 46: 715–735
- [43] Padua DA, Boling MC, Distefano LJ et al. Reliability of the landing error scoring system-real time, a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *J Sport Rehabil* 2011; 20: 145–156
- [44] Read P, Mc Auliffe S, Wilson MG et al. Better reporting standards are needed to enhance the quality of hop testing in the setting of ACL return to sport decisions: a narrative review. *Br J Sports Med* 2021; 55: 23–29
- [45] Yamazaki J, Muneta T, Ju YJ et al. Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 56–63