

Aus dem Zentrum für Sportmedizin und dem Zentrum für klinische Forschung des

BG Klinikums Unfallkrankenhaus Berlin GmbH

Akademisches Lehrkrankenhaus der Charité Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Video-assistierte Objektivierung von Kniegelenkinstabilitäten im Fußball-Leistungssport mittels Hudl Technique App

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Jenny Braun

Datum der Promotion: 03.12.2021

Inhalt

1	Einleitung	10
1.1	Vorbemerkungen	10
1.2	Epidemiologie der Rupturen des vorderen Kreuzbandes	10
1.3	Verletzungsmechanismus	11
1.4	Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen durch gezieltes Training	13
1.5	Klinische Stabilitätsprüfungen	14
1.6	Hudl und Hudl Technique App	15
2	Forschungsziele	16
3	Material und Methoden	16
3.1	Grundgesamtheit	16
3.2	Allgemeines zum Untersuchungsablauf	17
3.3	Untersuchungsmethoden	18
3.3.1	Lachman-Test	18
3.3.2	Pivot-Shift-Test	19
3.3.3	KT-1000	20
3.3.4	Karl Storz KLT	21
3.3.5	Single Leg Drop Test	22
3.3.6	Single Leg Hop Test	22
3.3.7	Figure-of-8 Sprungtest	22
3.4	FPP-Winkel-Messung mit der Hudl Technique App	22
3.5	Statistische Verfahren	23
4	Ergebnisse	25
4.1	Basisprofil	25
4.2	Beobachter-Übereinstimmung	25
4.2.1	Subjektive Beurteilung	25
4.2.2	Beurteilung mittels Hudl Technique App	26
4.3	Diagnostische Genauigkeit der Hudl Technique App	27
5	Diskussion	28
5.1	Wesentliche Resultate	28
5.2	Bedeutung der Ergebnisse für Forschung und Praxis	28
5.3	Limitationen	30

6	Schlussfolgerung	31
7	Literaturverzeichnis	32
8	Anhang	40
8.1	Fragebogen-Items.....	40
9	Eidesstattliche Erklärung	42
10	Lebenslauf	44
11	Danksagung	44

Abkürzungsverzeichnis

ACL	Anterior Cruciate Ligament
AUC	Area Under the Curve
BMI	Body Mass Index
EDC	Electronic Data Capture (System)
EMG	Elektromyographie
FFA	Finger-Fußboden-Abstand
FPPA	Frontal Plane Projection Angle
IQR	Interquartilspanne
IRB	Institutional Review Board
KLT	Karl Storz KLT Kniegelenklaxizitätstester
KT-1000	Kniegelenkarthrometer
RCT	Randomized Controlled Trial
ROC	Receiver Operating Characteristics
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
STARD	Standards for Reporting Studies of Diagnostic Accuracy
STROBE	Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology
VKB	Vorderes Kreuzband

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Achsstellung der Beine bei Landung (Single Leg Drop Test). Links: Beinachse in Valgusposition, rechts: Beinachse in gerader Varusposition. Anonymisierte Fotografien von Studienteilnehmern (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).

- Abb. 2** Lachman-Test (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).
- Abb. 3** Lemaire Pivot-Shift-Test: Innenrotation bei Valgus-Stress (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).
- Abb. 4** MEDmetric Arthrometer, Modell KT-1000 (A: feste Stütze, B: Fußstütze, C: Sensorfläche Tibia, D: Sensorfläche Patella, E: Handgriff, F: Einstellrad).
- Abb. 5** KLT Arthrometer.
- Abb. 6** Wahrscheinlichkeit einer Kniegelenkinstabilität auf der Basis des mittels Hudl Technique App gemessenen FPPA Winkels.

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1** Ergebnisse der Meta-Analyse von Swain et zur diagnostischen Genauigkeit klinischer Tests für den Nachweis und Ausschluss einer vorderen Kreuzbandruptur (k = Anzahl von Studien, n = Stichprobengröße).
- Tabelle 2** Mittelwerte und Standardabweichungen der klinischen Messungen.
- Tabelle 3** Absolute und relative Häufigkeit einer Knieinstabilität, empfunden und beobachtet durch ausführende Sportler und unabhängige Beobachter.
- Tabelle 4** Mittelwerte und Standardabweichungen der Winkelmessungen von drei unabhängigen Beobachtern

Abstrakt

Hintergrund

Kniegelenkinstabilitäten bei Sportlern gehen mit erhöhten Verletzungsrisiken einher, insbesondere nach Verletzungen des vorderen Kreuzbandes. Neben klinischen Untersuchungsmethoden stellen apparative Verfahren wie z.B. die KT-1000-Messung den derzeitigen Referenzstandard für die Diagnose von funktionell relevanten Rupturen des vorderen Kreuzbandes dar. Die Hudl Technique App für mobile Endgeräte (Agile Sports Technologies, Inc., Pasadena, CA, USA) ist ein videobasiertes Instrument, welches es Trainern und Sportlern ermöglicht, Spielsituationen und Bewegungsmuster wiederholt zu analysieren. Zudem können Untersucher hiermit den Frontalebene-Projektionswinkel zwischen Femur- und Tibiaachse (FPPA) messen, welcher als Surrogat für die Stabilität des Kniegelenks gilt. Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe der Hudl-Applikation festzustellen, ob der FPPA-Winkel mit einer Kniegelenkinstabilität assoziiert ist. Es sollten die Messvariabilität zwischen verschiedenen Untersuchern analysiert und ein Cut-off-Wert abgeleitet werden, welcher stabile von instabilen Kniegelenken differenzieren könnte.

Material und Methoden

Im Rahmen ihrer jährlichen sportmedizinischen Routineuntersuchung und bei vorliegendem Ethikvotum absolvierten 101 männliche Leistungsfußballer im Alter von 12 bis 19 Jahren einen einbeinigen Sprungtest (Single Leg Drop Test). Der Sprung wurde beidseits mit der Hudl Technique App gefilmt und von drei unabhängigen Fachärzten dahingehend bewertet, ob die Bilddokumentation auf eine Kniegelenkinstabilität hinweisen könnte. Daraufhin wurde das Video am tiefsten Punkt der Landung gestoppt, um den FPPA des Sprungbeins zu ermitteln. Zwischen den unabhängigen Winkelmessungen der Beurteiler wurden Intraklassenkorrelationskoeffizienten (IKK) bestimmt. Anhand der Receiver Operating Characteristics (ROC) Kurve wurde der mögliche Cut-off-Wert für den FPPA ermittelt, welcher klinisch helfen könnte, zwischen einem stabilen und instabilen Kniegelenk zu unterscheiden. Alle statistischen Analysen erfolgten explorativ.

Ergebnisse

Bei der subjektiven Beurteilung ohne Einsatz der App zeigte sich eine moderate Beurteiler-Übereinstimmung für das rechte Knie ($\kappa = 0,557$) und eine ausreichende Beurteiler-Übereinstimmung für das linke Knie ($\kappa = 0,334$). Im Zuge der Beurteilung der Kniestabilität mittels Hudl Technique App wurde eine durchgehend hohe Übereinstimmung zwischen den Beurteilern beobachtet. Die IKK-Werte lagen bei 0,948 (rechts) und 0,945 (links). Die Fläche unter der ROC (Area under the Curve, AUC) betrug für das rechte Knie 0,684, für das linke Knie 0,725.

Schlussfolgerung

Die Analyse von Sprungtests mittels Hudl Technique App könnte nützlich sein, um Sportler mit Kniegelenkinstabilitäten zu identifizieren. Die Videoapplikation erlaubt eine reproduzierbare dynamische Winkelmessung bei der Durchführung des Single Leg Drop Tests. Allerdings konnte keine signifikante Korrelation zwischen Winkelmessung und subjektiver Instabilitätsbeurteilung durch unabhängige Experten nachgewiesen werden. Auch ein aussagekräftiger, statistisch gestützter Cut-off-Winkel konnte nicht bestimmt werden. In der Diagnostik einer Knieinstabilität bleiben klinische und instrumentelle dynamisch-mechanische Verfahren derzeit noch der Referenzstandard.

Abstract

Background

Knee instability in athletes, mainly caused by anterior cruciate ligament deficiency, is associated with an increased risk of injury. Apart from clinical examination, dynamic measurements like KT-1000 remain the current reference standard for diagnosing antero-posterior knee laxity. The Hudl Technique application for mobile devices (Agile Sports Technologies, Inc., Pasadena, CA, USA) is a video-based tool to analyze training and competition situations and their associated movement patterns. It may be used for calculating the frontal plane projection angle between the femoral and tibial axes (FPPA), a common surrogate of knee joint stability. Objectives of this work were to determine the association of FPPA angles with knee instability in a cohort of young soccer players, to explore measurement variability across different examiners, and to derive a cut-off angle helping to distinguish stable from unstable knee joints.

Materials and Methods

After approval by the institutional review board (IRB) and written informed consent, 101 male competitive juniors' league soccer players aged between 12 and 19 completed a single leg drop test. The jump was recorded with the Hudl Technique app and evaluated by three independent sports medicine experts regarding the likelihood of knee instability. The video was stopped at the lowest point of landing to determine the FPPA. Intra-class correlation coefficients (ICC) were determined between independent angular measurements of the assessors. Receiver Operating Characteristics (ROC) were employed to derive cut-off values of the FPPA distinguishing between stable and unstable knee joints. All statistical analyzes were carried out in an exploratory fashion.

Results

Subjective assessment without using the application showed moderate agreement across observers for the right knee ($kappa = 0.557$) and adequate agreement for the left knee ($kappa = 0.334$). For the Hudl Technique app-based assessment of knee instability, a consistently high level of agreement was noted between observers. ICC values were 0.948

(right knee) and 0.945 (left knee). The variance explained by the FPPA (expressed by the area under the ROC, AUC) was 0.684 for the right knee and 0.725 for the left knee.

Conclusion

The analysis of jump tests by the Hudl Technique application may be useful to identify athletes with knee instability by reproducible dynamic angle measurements. However, the present analysis did not show a marked correlation between the FPPA and instability assessment by independent expert raters. Also, a meaningful cut-off angle could not be determined. Clinical examination and dynamic mechanistic tests currently remain the reference standard for diagnosing knee instability.

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkungen

Diese Dissertationsschrift evaluiert die Ergebnisse der diagnostischen Genauigkeit einer etablierten Web- / App-Anwendung zum Nachweis oder Ausschluss einer vorderen Kniegelenkinstabilität im Vergleich zu klinischen und apparativen Standard-Testverfahren. Auf allgemeine Abhandlungen über den anatomischen Aufbau des Kniegelenkes, die Funktion des vorderen Kreuzbandes, als auch unterschiedliche therapeutische Optionen wird bewusst im Sinne der wissenschaftlichen Stringenz verzichtet. Aktuelle epidemiologische Eckdaten und diagnostische Methoden werden jedoch beschrieben, um die Ergebnisse in einen übergeordneten Kontext zu bringen.

1.2 Epidemiologie der Rupturen des vorderen Kreuzbandes

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB, englisch anterior cruciate ligament, ACL) ist eine der häufigsten Unfallfolgen im Breiten- und Profisport.(1) Die Literatur über die Epidemiologie, Diagnostik, Therapie und Rehabilitation dieser Verletzung ist mittlerweile unüberschaubar. In den letzten Jahren standen insbesondere. verschiedene therapeutische Optionen (nicht-operative versus operative Therapien (2-8), Transplantat-Wahl für den autologen Ersatz (9-14), knöcherner Graft-Fixation (15), Doppelbündel-Ersatz (16), Navigation (3), Nahtrekonstruktion und dynamische intraligamentäre Stabilisierung (17) u.v.a.) im Zentrum des internationalen wissenschaftlichen Interesses.(18, 19). Die jährliche Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur in Deutschland beträgt nach bisherigen Schätzungen 45 / 100.000.(20) Schneider et al. beobachteten in einer Studie von 3,8 Millionen Versicherten der AOK Baden-Württemberg insgesamt 7914 Kniebandverletzungen über einen Zeitraum von fünf Jahren. Hieraus resultiert eine wesentlich höhere Inzidenz von 284 / 100.000 bei Männern und 152 / 100.000 bei Frauen, wobei hier alle Verletzungen des ligamentären Kniebandapparates gemeint sind.(21) Ein Großteil (etwa 70%) der VKB-Rupturen ereignen sich im Alter zwischen 15 und 45 Jahren. Es handelt sich vor allem um Unfälle in Sportarten, welche mit plötzlichen Sprung- und Drehbewegungen verbunden sind.(22)

In einer Umfrage des FIFA-Exzellenzzentrums in Regensburg äußerten 60% der 408 befragten Fußballer Angst vor einer vorderen Kreuzbandruptur, da diese das Karriereaus bedeuten kann.(23) Sowohl im Amateur- als auch im Profifußball gehören Risse des vorderen Kreuzbandes immer noch zu den Verletzungen mit einer protrahierten Regenerationsphase.

1.3 Verletzungsmechanismus

Die Unfallmechanik des vorderen Kreuzbandes ist Gegenstand zahlreicher in-vitro, in-vivo, klinischer und videobasierter Untersuchungen. Zwischen 72% und 95% aller Risse des vorderen Kreuzbandes entstehen durch Nicht-Kontakt-Verletzungen [24-28].(24-28) Die gefährlichsten Spielsituationen sind das Landen nach einem Sprung, das plötzliche Abstoppen, sowie plötzliche Drehbewegungen.(28) Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes resultiert aus einer Belastung des Standbeins bei gleichzeitig aufrechter Rumpfhaltung mit leicht flektiertem Knie- und Hüftgelenk. Der Unterschenkel befindet sich hierbei in einer Außenrotationsstellung zum Oberschenkel bei valgischer Beinachse. In dieser Stellung kommt es zu einer maximalen Spannung des vorderen Kreuzbandes.(22) Das Abbremsen mit erhöhter Knie-Innenrotations-Extensionskraft bei fixierter Schuhsohle des Spielers am Boden ist eine häufige Ursache der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Durch eine Valgusrotation kommt es hier zu einer ungünstigen Körpergewichtsverteilung.(29)

Die meisten vorderen Kreuzbandrupturen bei Fußballspielern ereignen sich zu Saisonbeginn und in der Trainingsphase, wobei im Herrenfußball das Schussbein deutlich häufiger betroffen ist.(30, 31) Hewett et al. zeigten, dass auch leichte Verletzungen der unteren Extremitäten, wie z.B. Muskelrisse am Oberschenkel, Zerrungen des oberen Sprunggelenks, sowie Blasen an Fersen und Zehen usw. zu Dysbalancen führen können.(32) Diese wiederum erhöhen das Risiko für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes.

Die Ausprägung der Oberschenkelmuskulatur spielt eine große Rolle für den weiteren Verlauf nach o.g. Kraffteinleitung. Die Aktivierung des M. quadriceps führt zu einer erhöhten

Spannung der Muskelfasern und einer strecknahen Position mit ventralem Shift der Tibia bei der Landung.(33) Das Knie befindet sich dabei in einer Valgusposition (Abb.1) und ist leicht flektiert. Die Schuhsohle des Spielers hat in der Regel den Boden nicht verlassen. Durch die Fixierung ist eine kompensatorische Drehung des Fußes nicht möglich, wodurch eine ausgeprägte Zugwirkung auf das vordere Kreuzband resultiert.(23) Der Körperschwerpunkt befindet sich hinter dem Zentrum des Kniegelenkes. Colby et al. zeigten mittels Elektromyographie (EMG), dass diese Position über eine Kontraktion des M. quadriceps zu einer hohen Spannung des vorderen Kreuzbandes führt.(34) Zeitgleich besitzt der Sehnenverlauf der ischiocruralen Muskulatur einen ungünstigen Hebelarm. Dies wurde durch eine verminderte Aktivität der betroffenen Muskulatur im EMG bestätigt. Zudem besteht die Gefahr eines sog. Notch-Impingement des vorderen Kreuzbandes im Bereich des lateralen Femurcondylus. Kommt es in dieser Situation durch eine mangelhafte neuromuskuläre Koordination zu einem medialen Kollaps und einem funktionellen Valgus des betroffenen Kniegelenkes, führt eine Überschreitung der tolerablen Zugbelastung des vorderen Kreuzbandes (VKB) zur Ruptur.(35) Ein ausgewogenes Zusammenspiel aller beteiligten Muskelgruppen ist zur Vermeidung von schweren Knieverletzungen anzustreben.(22, 28, 33, 36-39)

Eine VKB-Ruptur ist eng verbunden mit der Propriozeption und somit der afferenten Information über die Stellung des Gelenkes.(40) Eine koordinative neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks ist im Sport, aber auch bei alltäglichen Aktivitäten oder Bewegungen erforderlich.(35, 41-43) Durch gezieltes neuromuskuläres Training, wie z.B. spezielle Übungen für die ischiocrurale Muskulatur, können bestehende Dysbalancen zwischen dem dominanten M. quadriceps und der ischiocruralen Muskulatur vermieden bzw. beseitigt werden.(44)



Abb. 1 Achsstellung der Beine bei Landung (Single Leg Drop Test). Links: Beinachse in Valgusposition, rechts: Beinachse in gerader Varusposition. Anonymisierte Fotografien von Studienteilnehmern (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).

1.4 Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen durch gezieltes Training

Das so genannte „Henning-Programm“ war eines der ersten Präventionsprogramme, um Verletzungen des Kniegelenkes zu vermeiden.(35) Dies soll durch die Modifikation bestimmter Bewegungsmuster erreicht werden. Nach einem Sprung soll das Knie bei der Landung leicht gebeugt sein. Das Abstoppen soll nicht abrupt, sondern in mehreren kleinen Schritten erfolgen. Gemeinsam mit den Spielern werden hierzu Videos dieser speziellen Präventionsmaßnahmen angeschaut.(35, 45) Junge et al. konnten in einer randomisierten, kontrollierten Studie mit Hilfe eines Präventionsprogramms 21% weniger Verletzungen in der Interventionsgruppe als in der Kontrollgruppe erzielen.(46) Die Studie verglich zwei Kohorten bestehend aus je sieben Teams. Die Interventionsgruppe trainierte ein Jahr lang mit Hilfe eines vorgegebenen Präventionscoaching sowohl für Trainer als auch für Spieler, während die Kontrollgruppe wie gewöhnlich trainierte. Alle Verletzungen wurden wöchentlich dokumentiert. Insgesamt konnten für 194 Spieler vollständige Datensätze erhoben werden, die zu den oben genannten Ergebnissen führten.

1.5 Klinische Stabilitätsprüfungen

Die Bandstabilität wird zunächst durch klinische Untersuchungen im Seitenvergleich geprüft. Eine vermehrte Translation nach dorsal oder ventral ist Anhaltspunkt für eine Instabilität des Kniegelenkes. Diese kann insbesondere mit Hilfe des Lachman-Tests klinisch verifiziert werden.(20) Der Pivot-Shift-Test ist ein weiteres bekanntes klinisches Diagnoseverfahren zur Überprüfung der Stabilität und provoziert die anteriore Subluxation des Tibiaplateaus.(47)

Gerätegestützte Methoden (wie z.B. KT-1000 oder KLT) sollen klinische Untersuchungsbefunde objektivieren, welche eine hohe Intra- und Interobserver-Variabilität aufweisen. Beide Instrumente dienen der standardisierten Prüfung einer vorderen Schublade unter kontrollierten Bedingungen (insb. einer definierten Kraftereinleitung). Im Falle einer Ruptur zeigen sie die Differenz der Stabilität im Seitenvergleich zwischen beiden Kniegelenken.(22) Die diagnostische Genauigkeit klinischer Untersuchungsmethoden des Kniegelenks wurde in mehreren systematischen Reviews analysiert.(48-51) Wie für viele andere körperliche Befunderhebungen gilt, dass im positiven Fall die Diagnose (hier: vordere Kreuzbandruptur bei vorderem Schubladenzeichen) praktisch bewiesen ist, im negativen Fall aber nicht ausgeschlossen werden kann (Tabelle 1). Diese Testcharakteristika und die hieraus abgeleiteten positiven und negativen Vorhersagewerte sind üblicherweise abhängig von der Vortest-Wahrscheinlichkeit (pre-test probability, bzw. Prävalenz).

Eine genaue Beschreibung der o.g. Untersuchungsmethoden erfolgt in Abschnitt 4.3.

Klinischer Test	k	n	Sensitivität, % (95% KI)	Spezifität, % (95% KI)
------------------------	----------	----------	---------------------------------	-------------------------------

Lachman	7	942	88 (85 – 91)	93 (90 – 95)
Pivot Shift	5	540	38 (32 – 44)	96 (93 – 98)

Tabelle 1 Ergebnisse der Meta-Analyse von Swain et al.(51) zur diagnostischen Genauigkeit klinischer Tests für den Nachweis und Ausschluss einer vorderen Kreuzbandruptur (k = Anzahl von Studien, n = Stichprobengröße).

Die Sensitivität des KT-1000 als apparativ quantifizierender Test einer vorderen Kniegelenkinstabilität schwankt zwischen 72 und 97%, die Spezifität zwischen 72 und 90%.(52-57) Eine Meta-Analyse legte bei einer Kraft von 89 N eine Sensitivität von 78% und eine Spezifität von 92% nahe.(58) Bei maximaler Kraft lagen sowohl die gepoolte Sensitivität als auch die gepoolte Spezifität bei 93%.

1.6 Hudl und Hudl Technique App

Hudl (Agile Sports Technologies, Inc., Pasadena, CA, USA) wurde ursprünglich entwickelt, um Trainern und Sportlern die Möglichkeit zu geben, Spielsituationen und Bewegungsmuster per Video aufzuzeichnen und sie danach zu analysieren. Die Hudl Technique App für Smartphones und Tablets erlaubt die Messung des Frontalebene-Projektionswinkels (FPPA) als Indikator für eine funktionelle Knieinstabilität von Sportlern. Der FPPA ist der in der Frontalebene gemessene Winkel zwischen Femur- und Tibiaachse. Diesem wurde einerseits eine hohe Reliabilität, andererseits aber auch eine starke Beeinflussung durch demografische, physiologische, trainingspezifische u.a. Variablen zugeschrieben.(59)

2 Forschungsziele

Diese Arbeit sollte die diagnostische Genauigkeit der Hudl Technique App als moderne, intuitive und praktisch ubiquitär verfügbare Methode zur reproduzierbaren Erkennung bzw. zum Ausschluss von Kniegelenkinstabilitäten ermitteln. Hierzu wurde der FPPA-Winkel bei einem beidseitigen Single-Leg-Drop-Test als Indextest definiert. Als Referenztest wurde die Diagnose einer Kniegelenkinstabilität basierend auf klinischen und apparativen Untersuchungen durch drei Fachärztinnen / Fachärzte für Unfallchirurgie und Orthopädie unabhängig vom Indextest festgelegt. Es sollte ein Cut-off-Winkel abgeleitet werden, welcher helfen könnte, ein instabiles Kniegelenk von einem stabilen Kniegelenk zu differenzieren.

3 Material und Methoden

3.1 Grundgesamtheit

Die untersuchte Kohorte setzte sich aus 101 männlichen Amateur- und Profifußballern des 1. FC Union Berlin im Alter von 12 bis 19 Jahren zusammen ($n = 101$). Diese müssen sich jährlich einer Sporttauglichkeitsuntersuchung im Zentrum für Sportmedizin des BG Klinikums Unfallkrankenhaus Berlin (ukb) unterziehen. Die für die vorliegende Arbeit ermittelten Untersuchungsergebnisse stammen aus der Sporttauglichkeitsuntersuchung vom März 2016.

Aufgrund von bestehenden Verletzungen konnte ein Spieler der Kohorte die Sprungtestreihe nicht und ein zweiter Spieler nur mit einem Bein (rechts) ausführen. Da nur Spieler, welche die Sprungtestreihe mit beiden Beinen absolvieren konnten in die Analyse einbezogen werden sollten, wurden diese beiden Spieler ausgeschlossen, so dass sich die ausgewertete Stichprobe auf $n = 99$ reduzierte. Auf ein Flussdiagramm nach den Standards for Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE)(60) bzw. Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy (STARD)(61) Flussdiagramm wurde hier aufgrund der ansonsten klaren Stichprobengenerierung bewusst verzichtet.

Sowohl die Spieler als auch ihre Erziehungsberechtigten unterschrieben die Einverständniserklärung für die Studienteilnahme und Nutzung der pseudonymisierten Daten für wissenschaftliche Zwecke. Die Ethikkommission der Ärztekammer Berlin äußerte keine Bedenken gegen die Durchführung der Studie (EA2/146/14, Votum vom 06.02.2015).

3.2 Allgemeines zum Untersuchungsablauf

Das standardisierte Untersuchungsprogramm umfasste neben einer allgemeinen medizinischen Anamnese und körperlichen Befunderhebung die Dokumentation früherer Verletzungsfolgen sowie die muskuläre und ligamentäre Stabilität der großen Gelenke. Erhoben wurden Spielerposition (Torwart, Stürmer, Mittelfeldspieler oder Abwehrspieler), das jeweilige Schuss- bzw. Standbein und das Bewegungsausmaß der großen Gelenke mittels Neutral-Null-Methode. Zudem wurden klassische Surrogate wie der Body Mass Index (BMI), der Finger-Fußboden-Abstand, sowie muskuläre Umfangmaße der unteren Extremitäten (Oberschenkel 20 cm und 10 cm oberhalb des medialen Kniegelenkspaltes, in Höhe des medialen Kniegelenkspaltes, 15 cm unterhalb des medialen Kniegelenkspaltes). Mit Hilfe verschiedener apparativer Messinstrumente (u.a. KT-1000 und KLT) wurde die Bandstabilität der Kniegelenke im Seitenvergleich bestimmt. Zur Beurteilung der dynamischen Kniegelenkstabilität folgten verschiedene Sprungtests, wie z.B. Single-Leg-Drop, Single-Leg-Hop, Figure-of-8 und Sprungkombinationen. Sowohl die subjektive Einschätzung der ausführenden Spieler als auch die Beobachtung des Untersuchers (Observer) wurden dokumentiert.

Zudem erfolgte die Video-assistierte Analyse des Frontalebene-Projektionswinkels (FPPA) beim Single-Leg-Drop-Test mittels Hudl Technique App, welche durch drei unabhängige Ärzte für Unfallchirurgie und Orthopädie beurteilt wurde.

Im Falle eines unauffälligen Testdurchlaufs ohne wesentliche medizinische Defizite erfolgte die Trainings- und Spielfreigabe für die Athleten.

3.3 Untersuchungsmethoden

3.3.1 Lachman-Test

Dieser Test dient der Beurteilung der anteroposterioren (ap) Stabilität im Seitenvergleich zur klinischen Diagnostik einer möglichen Verletzung der Kreuzbänder (man spricht auch von einem Schubladentest). In 20 – 30 Grad Beugung wird der Vorschub des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel in der sogenannten Lachman-Position gemessen. Hierbei ist die Qualität des Kreuzbandanschlags (fest oder weich) sehr wichtig. Der Untersucher fixiert mit einer Hand den Oberschenkel, mit der anderen Hand zieht er den proximalen Anteil der Tibia nach ventral. Um dies zu vereinfachen sowie für Untersucher mit kleinen Händen möglich zu machen, gibt es den Lachman-Noulis-Test. Erstmals veröffentlichte der griechische Chirurg George Noulis die Untersuchungstechnik im Rahmen seiner Dissertation im Jahre 1875.(62) Joseph S. Torg beschrieb 1976 die durch John Lachman langjährig angewandte Technik erneut.(63) Der Oberschenkel des Patienten wird auf dem Oberschenkel des Untersuchers abgelegt, gleichzeitig drückt eine Hand den Oberschenkel des Patienten nach unten, während die andere Hand die proximale Tibia nach vorne zieht (Abb. 2).(22)

Das Internationale Knie-Dokumentations-Komitee (IKDC) schlägt vier Grade für die subjektive Messung vor: Normal = 1 – 2 mm Schublade, Fast normal = 3 – 5 mm Schublade, Abnormal = 6 – 10 mm Schublade, Stark abnormal = >10 mm Schublade.



Abb. 2 Lachman-Test (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).

3.3.2 Pivot-Shift-Test

Einer der bekanntesten dynamischen anterioren Subluxationstests ist das Pivot-Shift-Phänomen (Abb. 3), welches in den 80er Jahren durch Galway et. al. erstmals beschrieben wurde.(47)



Abb. 3 Lemaire Pivot-Shift-Test: Innenrotation bei Valgus-Stress (Bild- und Urheberrechte: Jenny Braun).

Der Untersuchungsablauf beinhaltet eine Kombinationsbewegung des Beines durch den Untersucher. Dieser hält das gestreckte Bein in Innenrotation und provoziert durch einen zusätzlichen Valgus-Stress eine bei Instabilität mögliche Subluxation des Tibia-Plateaus gegenüber dem distalen Femur. Bei nun folgender Beugung des Kniegelenkes kommt es bei 20 – 30 Grad durch Spannung des Tractus iliotibialis zu einer spontanen Reposition, dem charakteristischen Shift.

3.3.3 KT-1000

Der KT-1000 ist ein etabliertes Messinstrument zur Beurteilung vorderer akuter oder wiederkehrender Kreuzbandrupturen [62]. Das Bein wird zur Untersuchung in 10 – 20° Flexionsstellung mit Unterstützung durch ein Kissen oder Rolle unter dem mittleren Oberschenkel gelagert. Das KT-1000 Kniegelenkarthrometer wird am vorderen Teil des Unterschenkels angelegt und mit zwei Bändern befestigt (Abb. 4).

Es gibt zwei freie bewegliche Sensorflächen. Die obere wird auf der Patella platziert. Die untere wird an der proximalen Tibia im Bereich der Tuberositas tibiae aufgesetzt.(64)

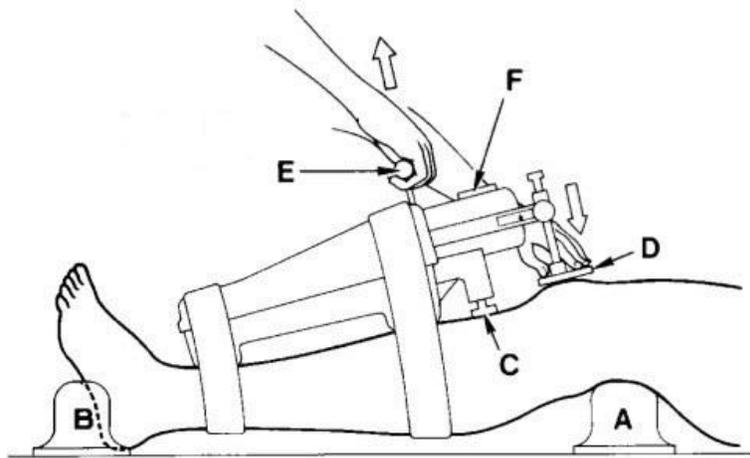


Abb. 4 MEDmetric Arthrometer, Modell KT-1000 (A: feste Stütze, B: Fußstütze, C: Sensorfläche Tibia, D: Sensorfläche Patella, E: Handgriff, F: Einstellrad).(53)

Auf der Tuberositas tibiae wird ein Wegmesser platziert, welcher die ap-Translation misst. Die Wegstrecken und Krafteinleitungen werden über Tonsignale angezeigt (1. Ton: 6,8 kg, 2. Ton: 9,1 kg, 3. Ton: 13,6 kg). Unterscheidet sich die seitendifferente ap-Translation um mehr als 2 mm, kann von einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes des betroffenen Kniegelenkes ausgegangen werden.(22) Bei Anwendung maximaler manueller Kraft wird in einigen Studien auch ein Seitenunterschied von 3 mm als Grenzwert angegeben.(64)

3.3.4 Karl Storz KLT

Der KLT ist ein Kniegelenk-Laxizitätstester der Firma Karl Storz. Er dient ebenfalls der instrumentellen Stabilitätsprüfung des Kniegelenkes. Er wird als vergleichendes Messinstrument zum KT-1000 eingesetzt.



Abb. 5 KLT Arthrometer.(65)

Ähnlich der Messung mittels KT-1000 wird hier die nach ventral gerichtete, mögliche Gleitbewegung der proximalen Tibia im Kniegelenk ermittelt. Der Test wird in 20° und 90° Flexionsstellung des Kniegelenkes durchgeführt.

Zu Beginn erfolgt eine Gelenkspaltmarkierung in 90 Grad Flexion. Es wird der mediale Gelenkspalt markiert. Auf der Unterschenkelvorderseite wird nun der Karl Storz KLT aufgesetzt, wobei die seitliche Markierung des Gelenkspaltes am Gerät mit der am Knie des Probanden übereinstimmen muss. Das Klettband wird laut Herstellerangabe um den Unterschenkel gewickelt und an der Tibiaauflage des KLT fixiert. Die Patellaauflage des KLT wird bei der Untersuchung ebenfalls fixiert.

Die Messung erfolgt nach Kalibrierung des Messinstrumentes, indem der Messstempel auf die Tuberositas tibiae gedrückt und fixiert wird. Der Untersucher umfasst mit der freien Hand den Unterschenkel des Probanden und führt eine kontrollierte, ruckartige Bewegung aus, die ventral gerichtet ist. Der Proband soll dabei in einer entspannten Rückenlage verweilen

und nicht den Kopf anheben, um Muskelspannungen zu vermeiden. Abgelesen wird ein Wert, der das Ausmaß der anterioren Tibiaverschiebung widerspiegelt. Die Untersuchung erfolgt identisch zur Gelenkspaltmarkierung in 90 Grad und 20 Grad Flexionsstellung des Kniegelenkes.

Ähnlich der Messung mittels KT-1000 wird die ap-Translation im Seitenvergleich quantifiziert. Ein vermehrtes Gleiten der proximalen Tibia im Seitenvergleich deutet auf eine Verletzung des vorderen oder hinteren Kreuzbandes hin.(22) Der Unterschied des Karl Storz KLT zum KT-1000 liegt in der digitalen Messung in 0,1 mm Schritten und der Möglichkeit einer selektiven Bestimmung der posterioren Instabilität.

3.3.5 Single Leg Drop Test

Der Sportler steht auf einem 45 cm hohen Sockel. Der Absprung erfolgt mit beiden Beinen, die Landung auf einem Bein. Der Sprung wird jeweils mit dem rechten und linken Bein bzw. Sprung- und Schussbein durchgeführt. Auf dem Boden ist ein markierter Punkt für die Landung aufgeklebt. Das aufzeichnende Videoinstrument ist in einem Abstand von 3 Metern positioniert. Der Test wird durch drei Observer unabhängig voneinander ausgewertet.

3.3.6 Single Leg Hop Test

Der Sportler springt jeweils auf einem Bein in einem Abstand von einem Meter drei Mal vor und zurück. Der Abstand ist auf dem Boden mittels Klebestreifen markiert.

3.3.7 Figure-of-8 Sprungtest

Der Sportler springt jeweils mit einem Bein eine auf dem Boden markierte 8 vorwärts ab. Diese 8 ist mittels Klebestreifen auf dem Boden markiert.

3.4 FPP-Winkel-Messung mit der Hudl Technique App

Der Single Leg Drop Test diente in dieser Studie der videoassistierten Objektivierung von Kniegelenkinstabilitäten mittels Hudl Technique App. Alle videodokumentierten Sprünge wurden drei unabhängigen Untersuchern zur Winkelmessung vorgelegt.

Die videoassistierte Objektivierung des FPPA-Winkels erfolgte mit Hilfe der Hudl Technique App auf einem Tablet. Der Winkel wurde durch den jeweiligen Untersucher am Punkt der tiefsten Beugung bei der Landung fingerperimetrisch eingezeichnet und bestimmt. Als Schenkel des Winkels dienten der Verlauf der Femurschaftachse sowie der Verlauf der Tibiaschaftachse. Der Scheitelpunkt des Winkels wurde auf die Höhe der Kniegelenkebene gesetzt.

3.5 Statistische Verfahren

Es handelte sich hier um eine Beobachtungsstudie unter Nutzung von Routinedaten, für die keine formale Fallzahlplanung erfolgte. Aufgrund der kleinen Stichprobe wurde entschieden, für das Datenmanagement nicht das Electronic Data Capture (EDC) System (SecuTrial) des Zentrums für klinische Forschung des ukb zu nutzen, sondern trotz aller Limitationen eine Password-gesicherte MS-Excel-Datei mit Probandendaten anzulegen. Alle statistischen Auswertungen wurden mit STATA 14.0 (Version MP 2.0, Stata Corp., TX, USA) sowie SPSS 22.0 und unter Supervision professioneller Biostatistiker und klinischer Epidemiologen durchgeführt.

In Abhängigkeit von der Datenausprägung und der zugrunde liegenden Verteilung erfolgte zunächst eine deskriptive Auswertung mit Angabe von Mittelwerten, Medianen, absoluten und relativen Häufigkeiten sowie Streuungsparametern wie Standardabweichung (SD), Wertespannen, Interquartilspannen (IQR) usw.

Die primäre Fragestellung war, ob der mittels Hudl Technique App bestimmte Frontalebeneprojektionswinkel (FPPA) als Index-Test eine diagnostische Aussagekraft hinsichtlich des Vorhandenseins oder des Fehlens einer vorderen Kniegelenkinstabilität besitzt.

Als Referenzstandard wurde eine Instabilität im Single Leg Drop Test, unabhängig erhoben von drei Untersuchern sowie dem Betroffenen, festgelegt.

Zur Einschätzung der Übereinstimmung zwischen Index- und Referenztest wurde die Interrater-Reliabilität herangezogen. Hierfür wurde die subjektive Einschätzung der Kniestabilität, die durch die drei Untersucher und den Probanden vorgenommen wurde, mit Hilfe von Cohens *kappa* ausgewertet. Der *kappa* Wert (0 bis 1) ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen Untersuchern (Interrater-Reliabilität).

Für die stetige unabhängige Variable der Hudl-FPPA-Winkel-Messung wurde die Beobachter-Übereinstimmung mittels Intraklassenkorrelationskoeffizient (IKK) bestimmt. Dieser dient der Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen verschiedenen Beobachtern. Der IKK1 spiegelt die Reliabilität anhand der Übereinstimmung aller drei Beurteiler wider, der IKK2 gibt die Genauigkeit bei einer einzelnen Beurteilung an. Beide Koeffizienten haben eine Wertigkeit von 0 (keine Übereinstimmung) bis 1 (vollständige Übereinstimmung).

Ergänzend wurden *p*-Werte explorativ erhoben, um den Grad der Vereinbarkeit der beobachteten mit einem reinen Zufallsresultat zu bestimmen.

Um erste Aussagen über die Gesamt-Genauigkeit der Hudl-Messung treffen zu können, wurde eine Analyse anhand der gepoolten Werte von Single Leg Drop-Test und Hudl-FPPA-Winkel-Messung durchgeführt. Beim Single Leg Drop-Test wurde eine Instabilität als gegeben angenommen, wenn diese durch wenigstens zwei von vier Untersuchern bestätigt wurde. Der gemeinsame Hudl-Winkel (mpooled) sollte bei einem ICC >0,60 als arithmetisches Mittel der drei Messungen gebildet werden.

Die Hudl-FPPA-Winkel-Messung wurde als stetiger diagnostischer Indextest angesehen, der unter- oder oberhalb eines Grenzwertes erlaubt, vom Vorliegen einer vorderen Kniegelenkinstabilität ausgehen zu können. Zur Ermittlung des Grenzwerts wurden parametrische Receiver Operating Characteristics (ROC) Analysen durchgeführt. Bestimmt wurde die Fläche unter der Kurve (Area under the Curve, AUC) sowie der Hudl-Winkelgrad mit der optimalen Sensitivitäts-Spezifitätspaarung.

4 Ergebnisse

4.1 Basisprofil

Die 99 rein männlichen Jugendfußballer wiesen ein mittleres Alter von 15,0 (SD 2,0) Jahren und einen mittleren BMI von 20,1 (SD 2,3) auf. Die klinische Untersuchung lieferte die in Tabelle 2 dargestellten Umfang- und Stabilitätsparameter.

Variable	Rechtes Bein	Linkes Bein
Oberschenkel 20 cm	46,6 (4,5)	46,1 (4,5)
Oberschenkel 10 cm	38,1 (4,3)	37,8 (4,3)
Knie	34,8 (2,6)	34,7 (2,5)
Unterschenkel 15 cm	32,9 (3,5)	33,1 (3,5)
KT-1000 20 cm	2,6 (1,3)	2,2 (1,2)
KLT 20 cm	2,9 (1,2)	2,8 (1,2)
KLT 90 cm	2,1 (1,0)	2,1 (1,0)

Tabelle 2 Mittelwerte und Standardabweichungen der klinischen Messungen.

4.2 Beobachter-Übereinstimmung

4.2.1 Subjektive Beurteilung

In der subjektiven Beurteilung des Single Leg Drop Tests ohne Einsatz der App zeigte sich eine moderate Übereinstimmung bezüglich der Stabilität des rechten Kniegelenkes ($\kappa = 0,557$, $p < 0,0001$) und eine ausreichende Übereinstimmung bezüglich der Stabilität des linken Kniegelenkes ($\kappa = 0,334$, $p < 0,0001$). κ wurde hierbei für dichotome Ratings (Kniegelenkinstabilität ja / nein) und für mehr als zwei Beurteiler bestimmt (Tabelle 3).

Single Leg Drop Test	Rechtes Bein	Linkes Bein
Rater 1	15 (15,2%)	7 (7,1%)
Rater 2	10 (10,1%)	11 (11,1%)
Rater 3	13 (13,1%)	12 (12,1%)
Proband	14 (14,1%)	7 (7,1%)

Tabelle 3 Absolute und relative Häufigkeit einer Knieinstabilität, empfunden und beobachtet durch ausführende Sportler und unabhängige Beobachter.

4.2.2 Beurteilung mittels Hudl Technique App

Bei allen videodokumentierten Sprüngen wurde mittels Hudl Technique App durch die drei unabhängigen Untersucher eine Winkelmessung durchgeführt. Als Schenkel des Winkels dienten die Femurschaft- sowie die Tibiaschaftachse. Der Scheitelpunkt wurde auf Kniegelenksebene festgelegt. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse zusammen.

Beurteilung	Rechtes Bein	Linkes Bein
Rater 1	168,3 (14,1)	172,0 (14,4)
Rater 2	172,0 (11,8)	173,5 (12,9)
Rater 3	172,0(10,4)	173,8 (11,6)

Tabelle 4 Mittelwerte und Standardabweichungen der Winkelmessungen von drei unabhängigen Beobachtern

Um die Übereinstimmung von Beobachtern bei der Beurteilung der Stabilität der Kniegelenke zu quantifizieren, wurde der Intraklassenkorrelationskoeffizient bestimmt (IKK).

Bei der Beurteilung der Stabilität des rechten Knies wurde ein IKK1 von 0,948 ($p < 0,001$) ermittelt, der IKK2 lag bei 0,859 ($p < 0,001$). Der IKK1 für das linke Knie lag bei 0,954 ($p < 0,001$), der IKK2 bei 0,875 ($p < 0,001$).

4.3 Diagnostische Genauigkeit der Hudl Technique App

Die ROC-Kurve illustriert die Wahrscheinlichkeit, mit der die Diagnose einer Kniegelenkinstabilität durch Paarung von Sensitivität und Spezifität bei stetigen Messwerten korrekt gestellt werden kann. Für das rechte Knie ergab sich ein optimaler Trennwert des FPPA bei 166,2 Grad (Sensitivität 77%, Spezifität 63%). Die korrespondierende Fläche unter der Kurve (AUC) betrug 0,684 (95% KI 0,514 – 0,854). Für das linke Knie lagen bei einem FPP-Winkel von 164,5 Grad Sensitivität und Spezifität bei 84% und 60%, die AUC bei 0,725 (95% KI 0,535 – 0,914).

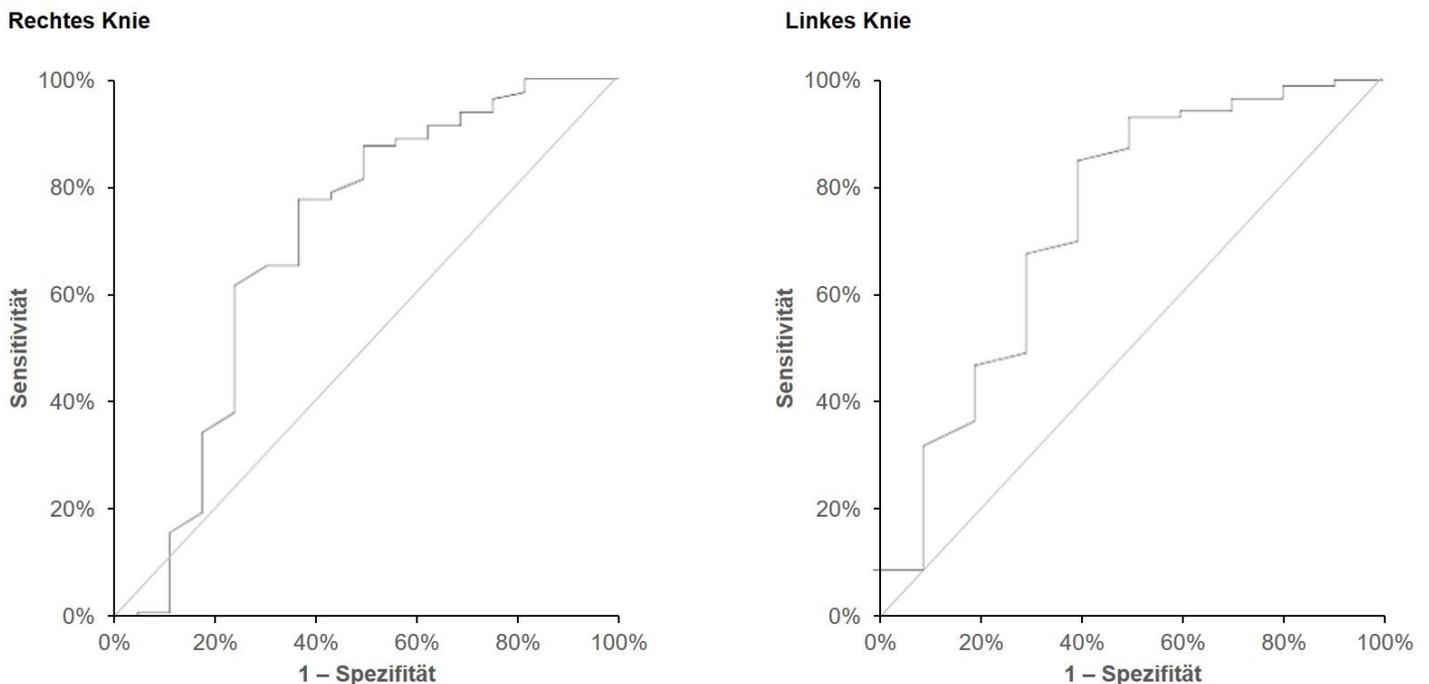


Abb. 6 Wahrscheinlichkeit einer Kniegelenkinstabilität auf der Basis des mittels Hudl Technique App gemessenen FPPA Winkels.

5 Diskussion

5.1 Wesentliche Resultate

In der vorliegenden Arbeit wurde in einer Stichprobe von Fußballspielern des 1. FC Union untersucht, ob mit Hilfe eines modernen Instruments, der Hudl Technique App, eine reproduzierbare Beurteilung von Kniegelenkinstabilitäten möglich ist. Nach einem Single Leg Drop Test werteten drei unabhängige Fachärzte für Orthopädie und Unfallchirurgie die Sprünge mit Hilfe der Video-Applikation aus. Es erfolgten sowohl eine objektive Messung des FPPA-Winkels durch die Untersucher als auch eine subjektive Beurteilung der Stabilität durch die Untersucher und den Spieler.

Mit Hilfe der Hudle Technique App ist eine untersucherunabhängige reproduzierbare Winkelmessung möglich, untermauert durch hohe Intraklassenkorrelationskoeffizienten.

Eine robuste Korrelation zwischen Winkelmessung und subjektiver Instabilitätsbeurteilung konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Auch ein aussagekräftiger, statistisch gestützter Cut-off-Winkel konnte nicht bestimmt werden. In der Diagnostik der Knieinstabilität bleiben apparative Verfahren wie KT-1000 und Karl Storz KLT daher der derzeitige Referenzstandard.

5.2 Bedeutung der Ergebnisse für Forschung und Praxis

Die videoassistierte dynamische Messung des FPPA-Winkels mit Hilfe der Hudl Technique App hat sich als moderne, reproduzierbare Technik erwiesen. Sie könnte zukünftig Goldstandards wie KT-1000 und KLT ergänzen, bisher aber noch nicht ersetzen. Sie reiht sich in zahlreiche andere Applikationen für mobile Endgeräte in der Sport- und Trainingsmedizin ein.(66, 67)

Messunsicherheiten können sowohl aus dem FPPA-Winkel als Zielparameter, Indextests, aber auch Referenzstandards resultieren.

Den Nachweis einer alleinigen, reproduzierbaren Aussage zur Kniestabilität bleibt die Hudl Technique App in der aktuell angewandten Form schuldig. Dennoch bietet die Methode Vorteile im Hinblick auf videoassistierte, dynamische Messungen durch verschiedene,

unabhängige Beobachter und die hieraus abgeleitete Anpassung von Trainingsprogrammen.

Durch die Anwendung der Winkelmessung in der dynamischen Untersuchung können durch Ärzte, Trainer, Physiotherapeuten und Sportler Bewegungsmuster und Fehlbelastungen visualisiert und untersucht werden. Durch die Slow-Motion-Funktion lässt sich der genaue Moment der koordinativen Fehlsteuerung repetitiv darstellen und analysieren. Zudem bietet sich die Vergleichsmöglichkeit kurzfristig nach einer Belastung oder aber langfristig nach Durchführung eines stabilisierenden Trainingsprogrammes. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber etablierten Goldstandards wie KT1000 oder KLT.

Verschiedene Studien beschrieben die Anwendung von Video-Instrumenten in der Analyse von Sportverletzungen im Profibereich (64-66,(68).

Krosshaug et al. analysierten bei Basketballspielerinnen und -spielern mittels Videoanalyse den Moment des Fuß-Bodenkontaktes und der damit einhergehenden Verletzungsgefahr. Sie konzentrierten sich hierbei auf den genauen Kniebeugewinkel bei Bodenkontakt und dessen Bedeutung für eine Knieinstabilität und der eventuell einhergehenden Verletzung (64). Sheehan et al. und Boden et al. zeigten mittels Videoanalyse große Differenzen zwischen Probandinnen und Probanden mit und ohne Kniegelenksverletzungen bezüglich Koordination, Absprungsverhalten und Landung ((68, 69)).

Diese Untersuchungen unterstreichen die zunehmende Bedeutung dynamischer Analysen. Von hohem Interesse ist die Prävention von Verletzungen durch das frühzeitige Erkennen von pathologischen, verletzungsbegünstigenden Bewegungsmustern. So finden videoanalytisierte Sprungtests zunehmend Anwendung in Präventionsprogrammen wie FIFA 11, RTC der VBG oder Stop X der DKG. Vorteile sind u.a. die Möglichkeit der Simulation von Erschöpfung sowie die Erhebung von Messungen im zeitlichen Verlauf.

Nicht nur der hier im Vordergrund stehende FPPA-Winkel ist mit der Hudl Technique App zu bestimmen, sondern beispielsweise auch der Winkel zwischen Becken / Hüfte und Femur. Eine Innenrotation der Hüfte kann ebenfalls zu einer Valgusstellung des Kniegelenkes führen (67).

Die videoassistierte Bewegungsanalyse hat sich als Messinstrument im Training und in der Nachbereitung von Wettkämpfen etabliert. Sie zeigt bisher jedoch noch unzureichende Testcharakteristika, um Referenzstandards wie KT-1000 oder KLT zu ersetzen.

5.3 Limitationen

Diese Dissertationsschrift wurde in Absprache mit dem klinisch-methodischen Betreuer und dem Biostatistiker bewusst kurz und wissenschaftlich sachlich verfasst. Auf jeglichen ausschmückenden, für die Beantwortung der Forschungsfragen aber irrelevanten Ballast wurde verzichtet. Neben der Bestimmung des FPPA-Winkels im Single Leg Drop Test durch die Videoanalyse mittels Hudl Technique App wurde die optische Observer-Übereinstimmung von Knieinstabilitäten in der klinischen Untersuchung ermittelt. Diese wurden mit den gemessenen FPPA-Winkeln verglichen. Die Übereinstimmung zwischen den Beurteilern war bei dieser Methode lediglich moderat bis ausreichend.

Eine immer gleiche Sprungdurchführung, Absprunghöhe, die Sprungtechnik und die Kameraeinstellung sind durch genaue Vorgaben einzuhalten. Ändert sich die Sockelhöhe des Absprungs oder der Winkel der Kamera, kann dies zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Vor allem für Referenzaufnahmen nach durchgeführtem Präventionstraining sind diese Faktoren von Bedeutung.

Auch Spieler könnten ihre Sprungdynamik manipulieren. Konzentriert sich der Spieler auf die anstehende Sprungaufgabe, kann er eventuell durch kontrollierte Muskelanspannung eine Bandinstabilität des Kniegelenks ausgleichen.

Die Untersuchungen und Beurteilungen fanden in der Regel im ausgeruhten und lediglich leicht aufgewärmten Zustand statt. Eine Beurteilung der Kniegelenkinstabilitäten in erschöpftem Zustand, wie beispielsweise während eines Spieles, konnten somit nicht ermittelt werden.

Die vorliegende Studie könnte helfen, die Effektivität und den Nutzen eines individualisierten Präventionsprogramms bei Spielern mit als instabil gewertetem Kniegelenk zu evaluieren.

6 Schlussfolgerung

Die Hudl Technique App kann die klinische Untersuchung und apparative Referenztests zur Diagnose einer Kniegelenkinstabilität durch eine Video-basierte, reproduzierbare dynamische Winkelmessung bei der Durchführung des Single Leg Drop Tests sinnvoll ergänzen, jedoch nicht ersetzen. Im modernen Profisport kann dieses Instrument nicht nur Ärztinnen und Ärzten sondern auch Trainer(inne)n, Physiotherapeut(inn)en und Spieler(inne)n in der (Verlaufs-)Beurteilung von Kniegelenkinstabilitäten dienen und auch Screening- und Präventionsprogramme flankieren.

7 Literaturverzeichnis

1. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011 Jun;45(7):596-606.
2. Dunn KL, Lam KC, Valovich McLeod TC. Early Operative Versus Delayed or Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Pediatric Patients. *J Athl Train* 2016 May;51(5):425-7.
3. Eggerding V, Reijman M, Scholten RJ, Meuffels DE. Computer-assisted surgery for knee ligament reconstruction. *Cochrane Database Syst Rev* 2014 Aug 4(8):CD007601.
4. Linko E, Harilainen A, Malmivaara A, Seitsalo S. Surgical versus conservative interventions for anterior cruciate ligament ruptures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2005 Apr 18(2):CD001356.
5. Luc B, Gribble PA, Pietrosimone BG. Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and numbers-needed-to-treat analysis. *J Athl Train* 2014 Nov-Dec;49(6):806-19.
6. Mather RC, 3rd, Hettrich CM, Dunn WR, Cole BJ, Bach BR, Jr., Huston LJ, et al. Cost-Effectiveness Analysis of Early Reconstruction Versus Rehabilitation and Delayed Reconstruction for Anterior Cruciate Ligament Tears. *Am J Sports Med* 2014 Jul;42(7):1583-91.
7. Monk AP, Davies LJ, Hopewell S, Harris K, Beard DJ, Price AJ. Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev* 2016 Apr 3;4:CD011166.
8. Ramski DE, Kanj WW, Franklin CC, Baldwin KD, Ganley TJ. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: a meta-analysis of nonoperative versus operative treatment. *Am J Sports Med* 2014 Nov;42(11):2769-76.
9. Biau DJ, Katsahian S, Kartus J, Harilainen A, Feller JA, Sajovic M, et al. Patellar tendon versus hamstring tendon autografts for reconstructing the anterior cruciate

- ligament: a meta-analysis based on individual patient data. *Am J Sports Med* 2009 Dec;37(12):2470-8.
10. Kan SL, Yuan ZF, Ning GZ, Yang B, Li HL, Sun JC, et al. Autograft versus allograft in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis with trial sequential analysis. *Medicine (Baltimore)* 2016 Sep;95(38):e4936.
 11. Li S, Chen Y, Lin Z, Cui W, Zhao J, Su W. A systematic review of randomized controlled clinical trials comparing hamstring autografts versus bone-patellar tendon-bone autografts for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012 Sep;132(9):1287-97.
 12. Mohtadi NG, Chan DS, Dainty KN, Whelan DB. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2011 Sep 7(9):CD005960.
 13. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthroscopy* 2015 Mar;31(3):541-54.
 14. Xie X, Pei F, Huang Z, Tan Z, Yang Z, Kang P. Does patellar denervation reduce post-operative anterior knee pain after total knee arthroplasty? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015 Jun;23(6):1808-15.
 15. Mascarenhas R, Saltzman BM, Sayegh ET, Verma NN, Cole BJ, Bush-Joseph C, et al. Bioabsorbable versus metallic interference screws in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of overlapping meta-analyses. *Arthroscopy* 2015 Mar;31(3):561-8.
 16. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Laopaiboon M. Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2012 Nov 14;11:CD008413.

17. Frosch KH, Preiss A, Heider S, Stengel D, Wohlmuth P, Hoffmann MF, et al. Primary ligament sutures as a treatment option of knee dislocations: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2013 Jul;21(7):1502-9.
18. Hamrin Senorski E, Sundemo D, Murawski CD, Alentorn-Geli E, Musahl V, Fu F, et al. No differences in subjective knee function between surgical techniques of anterior cruciate ligament reconstruction at 2-year follow-up: a cohort study from the Swedish National Knee Ligament Register. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2017 Dec;25(12):3945-54.
19. Sandon A, Werner S, Forssblad M. Factors associated with returning to football after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2015 Sep;23(9):2514-21.
20. Widhalm H. Kreuzbandriss. *Österreichische Ärztezeitung*2017;18(9):22-8.
21. Schneider O, Scharf HP, Stein T, Knapstein S, Hermann C, Flechtenmacher J. [Incidence of knee injuries : Numbers for outpatient and inpatient care in Germany]. *Orthopade*2016 Dec;45(12):1015-26.
22. Petersen W, Zantrop T. Das vordere Kreuzband. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie. Petersen W, Zantrop T, editors. Köln: Deutscher Ärzteverlag GmbH; 2009.
23. Angele P, Eichhorn HJ, Hoffmann H, Krutsch W. Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen. *SFA Arthroskopie Aktuell*2013;26:1-27.
24. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Jr., Garrett WE, Jr. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*2000 Jun;23(6):573-8.
25. Hewett TE, Di Stasi SL, Myer GD. Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*2013 Jan;41(1):216-24.
26. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a

- prospective intervention study over three seasons. Clin J Sport Med 2003 Mar;13(2):71-8.
27. Myklebust G, Maehlum S, Holm I, Bahr R. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. Scand J Med Sci Sports 1998 Jun;8(3):149-53.
 28. Teitz CC. Video analysis of ACL injuries. In: Griffin LY, editor. Prevention of noncontact ACL injuries. Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2001. p. 87-92.
 29. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. J Athl Train 2008 Jul-Aug;43(4):396-408.
 30. Brophy R, Silvers HJ, Gonzales T, Mandelbaum BR. Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. Br J Sports Med 2010 Aug;44(10):694-7.
 31. Walden M, Hagglund M, Ekstrand J. High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. Br J Sports Med 2006 Feb;40(2):158-62; discussion -62.
 32. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. N Am J Sports Phys Ther 2010 Dec;5(4):234-51.
 33. Grood ES, Suntay WJ, Noyes FR, Butler DL. Biomechanics of the knee-extension exercise. Effect of cutting the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am 1984 Jun;66(5):725-34.
 34. Colby S, Francisco A, Yu B, Kirkendall D, Finch M, Garrett W, Jr. Electromyographic and kinematic analysis of cutting maneuvers. Implications for anterior cruciate ligament injury. Am J Sports Med 2000 Mar-Apr;28(2):234-40.
 35. Petersen W, Stöhr A, Ellermann A, Achtnich A, Müller PE, Stoffels T, et al. Wiederkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion. Empfehlungen der DKG-Expertengruppe. OUP 2016;5(3):166-76.

36. Aune AK, Ekeland A, Nordsletten L. Effect of quadriceps or hamstring contraction on the anterior shear force to anterior cruciate ligament failure. An in vivo study in the rat. *Acta Orthop Scand*1995 Jun;66(3):261-5.
37. Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*1988 Mar-Apr;16(2):113-22.
38. Hagood S, Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, D'Ambrosia R. The effect of joint velocity on the contribution of the antagonist musculature to knee stiffness and laxity. *Am J Sports Med*1990 Mar-Apr;18(2):182-7.
39. Hirokawa S, Solomonow M, Luo Z, Lu Y, D'Ambrosia R. Muscular co-contraction and control of knee stability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*1991 1991/09/01;1(3):199-208.
40. Lephart SM, Ferris CM, Riemann BL, Myers JB, Fu FH. Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clin Orthop Relat Res*2002 Aug(401):162-9.
41. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med*2005 Jul;33(7):1003-10.
42. Rudolph KS, Axe MJ, Buchanan TS, Scholz JP, Snyder-Mackler L. Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2001;9(2):62-71.
43. Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Dynamic stability after ACL injury: who can hop? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2000;8(5):262-9.
44. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*1996 Nov-Dec;24(6):765-73.

45. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Risk Factors and Prevention Strategies. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*2000;8(3):141-50.
46. Junge A, Rosch D, Peterson L, Graf-Baumann T, Dvorak J. Prevention of soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *Am J Sports Med*2002 Sep-Oct;30(5):652-9.
47. Galway HR, MacIntosh DL. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*1980 Mar-Apr(147):45-50.
48. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*2006 May;36(5):267-88.
49. Huang W, Zhang Y, Yao Z, Ma L. Clinical examination of anterior cruciate ligament rupture: a systematic review and meta-analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*2016;50(1):22-31.
50. Scholten RJ, Opstelten W, van der Plas CG, Bijl D, Deville WL, Bouter LM. Accuracy of physical diagnostic tests for assessing ruptures of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *J Fam Pract*2003 Sep;52(9):689-94.
51. Swain MS, Henschke N, Kamper SJ, Downie AS, Koes BW, Maher CG. Accuracy of clinical tests in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Chiropr Man Therap*2014;22:25.
52. Bach BR, Jr., Warren RF, Flynn WM, Kroll M, Wickiewicz TL. Arthrometric evaluation of knees that have a torn anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*1990 Oct;72(9):1299-306.
53. Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med*1985 Nov-Dec;13(6):401-7.

54. Highgenboten CL, Jackson AW, Jansson KA, Meske NB. KT-1000 arthrometer: conscious and unconscious test results using 15, 20, and 30 pounds of force. *Am J Sports Med*1992 Jul-Aug;20(4):450-4.
55. Lerat JL, Moyon B, Jenny JY, Perrier JP. A comparison of pre-operative evaluation of anterior knee laxity by dynamic X-rays and by the arthrometer KT 1000. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*1993;1(1):54-9.
56. Liu SH, Osti L, Henry M, Bocchi L. The diagnosis of acute complete tears of the anterior cruciate ligament. Comparison of MRI, arthrometry and clinical examination. *J Bone Joint Surg Br*1995 Jul;77(4):586-8.
57. Ransohoff DF, Feinstein AR. Problems of spectrum and bias in evaluating the efficacy of diagnostic tests. *N Engl J Med*1978 Oct 26;299(17):926-30.
58. van Eck CF, Loopik M, van den Bekerom MP, Fu FH, Kerkhoffs GM. Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis of instrumented knee laxity tests. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*2013 Sep;21(9):1989-97.
59. Hughes T, Jones RK, Starbuck C, Picot J, Sergeant JC, Callaghan MJ. Are tibial angles measured with inertial sensors useful surrogates for frontal plane projection angles measured using 2-dimensional video analysis during single leg squat tasks? A reliability and agreement study in elite football (soccer) players. *J Electromyogr Kinesiol*2019 Feb;44:21-30.
60. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP, et al. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *BMJ*2007 Oct 20;335(7624):806-8.
61. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig L, et al. STARD 2015: an updated list of essential items for reporting diagnostic accuracy studies. *BMJ*2015 Oct 28;351:h5527.
62. Paessler HH, Michel D. How new is the Lachman test? *Am J Sports Med*1992 Jan-Feb;20(1):95-8.

63. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*1976 Mar-Apr;4(2):84-93.
64. Rangger C, Daniel DM, Stone ML, Kaufman K. Diagnosis of an ACL disruption with KT-1000 arthrometer measurements. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*1993;1(1):60-6.
65. Storz K. 28729 KLT - Knielaxitätstester (KLT). Tuttlingen: Karl Storz SE & Co. KG; 2017. p. https://www.karlstorz.com/de/de/website-search.htm?keyword=KLT&action=search&search_mode=asset&chunksize=10&chunk=1&target_url=%2Fde%2Fde%2Fwebsite-search.htm&country_code=de.
66. Parks MT, Wang Z, Siu KC. Current Low-Cost Video-Based Motion Analysis Options for Clinical Rehabilitation: A Systematic Review. *Phys Ther*2019 Oct 28;99(10):1405-25.
67. Peart DJ, Balsalobre-Fernandez C, Shaw MP. Use of Mobile Applications to Collect Data in Sport, Health, and Exercise Science: A Narrative Review. *J Strength Cond Res*2019 Apr;33(4):1167-77.
68. Boden B.P. TJS, Knowles S.B., Hewett T.E. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med*2009;37:252-9.
69. Sheehan F.T. SWH, Boden B.P. . Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*2012;40:1068-74.

8 Anhang

8.1 Fragebogen-Items

Variable	Ausprägung
Pseudonym	Alphanumerisch
Alter, Jahre	Stetig
Größe, cm	Stetig
Gewicht, kg	Stetig
Spielposition	Kategoriell
Bevorzugtes Schussbein	Kategoriell
Anzahl Trainingstage pro Woche	Ordinal
Anzahl Trainingsstunden pro Woche	Stetig
Wie viele Jahre Auswahltraining (bei <1 Jahr Monatsangabe)	Ordinal
Alter bei Beginn des Fußballtrainings	Stetig
Angeborene Vorerkrankungen	Freitext
Weitere Erkrankungen und Unfälle / Verletzungen, die nicht mit dem Sport in Verbindung stehen	Freitext
Stattgehabte Fußball-assoziierte Verletzungen	Kategoriell
→ Welche?	Freitext
→ Wann?	Freitext (individuelle zeitliche Codierung)
→ Therapie	Freitext
Stattgehabte Kniegelenkverletzungen	Kategoriell
→ Welche?	Freitext
→ Wann?	Freitext (individuelle zeitliche Codierung)
→ Therapie	Freitext
→ Return-to-Play	Freitext (individuelle zeitliche Codierung)
→ Spiel- oder Trainingssituation	Kategoriell
Kniebeschwerden im vergangenen Jahr	Kategoriell
→ Spiel- oder Trainingssituation	Kategoriell
Aktuell vorhandene Kniebeschwerden	Kategoriell
→ Spiel- oder Trainingssituation	Kategoriell
→ Therapie	Freitext
Oberschenkelumfang 20 cm über medialem Kniegelenkspalt, rechts, cm	Stetig

Oberschenkelumfang 20 cm über medialem Kniegelenkspalt, links, cm	Stetig
Oberschenkelumfang 10 cm über medialem Kniegelenkspalt, rechts, cm	Stetig
Oberschenkelumfang 10 cm über medialem Kniegelenkspalt, links, cm	Stetig
Kniegelenkumfang rechts, cm	Stetig
Kniegelenkumfang links, cm	Stetig
Unterschenkelumfang 15 cm unter medialem Kniegelenkspalt, rechts, cm	Stetig
Unterschenkelumfang 15 cm unter medialem Kniegelenkspalt, links, cm	Stetig
Extension / Flexion des rechten Kniegelenks, Neutral-Null-Methode, Winkelgrad	Stetig
Extension / Flexion des linken Kniegelenks, Neutral-Null-Methode, Winkelgrad	Stetig
Lachman-Test rechts	Ordinal
Lachman-Test links	Ordinal
Pivot-Shift-Test rechts	Ordinal
Pivot-Shift-Test links	Ordinal
KT-1000 rechts, 20° Flexion, mm	Stetig
KT-1000 links, 20° Flexion, mm	Stetig
KT-1000 rechts, 90° Flexion, mm	Stetig
KT-1000 links, 90° Flexion, mm	Stetig
KLT rechts, 20° Flexion, mm	Stetig
KLT links, 20° Flexion, mm	Stetig
KLT rechts, 90° Flexion, mm	Stetig
KLT links, 90° Flexion, mm	Stetig
Stabilität im Drop-Test, Schussbein	Kategoriell
Stabilität im Drop-Test, Standbein	Kategoriell
Stabilität im Single-Leg Hop-Test, Schussbein	Kategoriell
Stabilität im Single-Leg Hop-Test, Standbein	Kategoriell
Stabilität in der Figure-of-8 Sprungkombination, Schussbein	Kategoriell
Stabilität in der Figure-of-8 Sprungkombination, Standbein	Kategoriell
FFPA-Winkel, Hudl Technique App, Sprungbein	Stetig
FFPA-Winkel, Hudl Technique App, Standbein	Stetig

9 Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Jenny Braun, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Video-assistierte Objektivierung von Kniegelenkinstabilitäten im Fußball-Leistungssport mittels Hudl Technique App (Video-assisted objectification of knee joint instabilities in competitive football using the Hudl Technique app) selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

[Für den Fall, dass Sie die Forschung für Ihre Promotion ganz oder teilweise in Gruppenarbeit durchgeführt haben:] Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Video-assistierte-Objektivierung von Kniegelenkinstabilitäten

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

10 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht

11 Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. Dirk Stengel, danke ich herzlichst für die Überlassung des Promotionsthemas. Ohne seine Unterstützung und Bereitstellung von Materialien wäre die Durchführung dieser Studie nicht möglich gewesen.

Für eine sehr gute Betreuung und wertvolle fachliche Hinweise danke ich zusätzlich in besonderem Maße Herrn Claas Güthoff, Frau Wiebke Käckenmester und Herrn Dr. med. Thomas Stoffels. Ihr Engagement und Ihre Unterstützung in der Phase der Erstellung des Manuskriptes waren stets eine hochgeschätzte Hilfe.

Zudem geht ein besonderer Dank an die Abteilung für Sportmedizin des Unfallkrankenhauses Berlin unter der Leitung von Dr. med. Moritz Morawski.

Meinem Ehemann, meinem Bruder, meinen Schwiegereltern, meinen Freunden, aber besonders meinen Eltern danke ich von ganzem Herzen, dass sie mich immer uneingeschränkt und liebevoll unterstützt haben.