

**Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie (Chirurgische Klinik II)**

der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. Rainer H. Meffert

**Geschlechterspezifische Bewertung von funktionellen
Testverfahren im Rahmen einer Sprungtestbatterie
anhand eines gesunden Probandenkollektivs und
VKB - Patienten**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Lisa Will

aus Streitau

Würzburg, August 2020

Referent: Prof. Dr. med. Rainer H. Meffert

Koreferent/Koreferentin: Prof. Dr. med. Peter Raab

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 03. Februar 2021

Die Promovendin ist Ärztin

Für meine Familie

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Anatomie und Bandapparat des Kniegelenkes	3
1.2	Biomechanik und Kinematik des Kniegelenkes	4
1.3	Epidemiologie von Kreuzbandverletzungen.....	5
1.4	Verletzungsmechanismus bei VKB-Ruptur	5
1.5	Risikofaktoren vor und Folgeschäden nach VKB-Ruptur.....	6
1.6	„Return to Play“	9
1.7	Limb Symmetry Index (LSI)	10
1.8	Anforderungen an eine Testbatterie	12
1.9	Zielsetzung.....	13
2	Methodik	14
2.1	Gesundes Probandenkollektiv	14
2.2	Patientenkollektiv	15
2.3	Testablauf.....	17
2.4	Fragebögen und Scores.....	17
2.4.1	IKDC Score.....	17
2.4.2	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS).....	18
2.4.3	Lateralitäts-Präferenz-Inventar (LPI).....	19
2.4.4	Würzburger Sportfragebogen.....	19
2.4.5	Lysholm Score.....	19
2.4.6	Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm.....	20
2.4.7	Beighton Score.....	20
2.5	Körperliche Untersuchung.....	21
2.6	Aufwärmprogramm	21
2.7	Testaufbau	23
2.7.1	Hop for Distance (HFD)	25
2.7.2	Vertical Jump (VJ)	26
2.7.3	Drop Jump (DJ).....	27
2.7.4	Figure of Eight Test (F8T).....	28
2.7.5	Up Down Test (UDT).....	29
2.7.6	Modified Agility T-Test (MAT)	29

2.7.7	Shuttle Run Circle (SRC).....	31
2.7.8	Shuttle Run Stop (SRS).....	32
2.7.9	Side Hop Test.....	32
2.7.10	Step Down Test (SDT).....	33
2.8	Limb Symmetry Index (LSI)	34
2.9	Statistische Analyse.....	35
3	Ergebnisse.....	36
3.1	Gesunde Probanden.....	36
3.1.1	Deskriptive Statistik - Auswertung der Fragebögen und der körperlichen Untersuchung.....	36
3.1.2	Auswertung hinsichtlich der Dominanz – gesunde Probanden.....	38
3.1.3	Sprungtestergebnisse gesunder Probanden.....	41
3.1.4	Betrachtung der Standardreferenzgröße LSI – gesunde Probanden	47
3.1.5	Exemplarische Betrachtung des Einflusses der Körpergröße von gesunden Probanden auf Ergebnisse in ausgewählten Testverfahren.....	50
3.2	Patienten.....	51
3.2.1	Deskriptive Statistik – Auswertung der Fragebögen und der körperlichen Untersuchung.....	51
3.2.2	Sprungtestergebnisse der Patienten.....	55
3.2.3	Einflussgrößen von Patienten auf den LSI	57
4	Diskussion.....	59
4.1	Inhaltliche Aspekte.....	59
4.1.1	Lassen sich die in der Literatur bestehenden LSI-Grenzwerte bestätigen oder anhand der großen Stichprobe gesunder Probanden adjustieren?.....	59
4.1.2	Ist eine geschlechterspezifische Betrachtung des LSI indiziert?.....	62
4.1.3	Sind die in unterschiedlichen funktionellen Testverfahren erzielten LSI-Werte vergleichbar?	63
4.1.4	Kann der LSI als alleiniger Indikator zur Beantwortung der RTP-Frage herangezogen werden oder ist eine Kombination mit weiteren Maßen angezeigt?	66
4.1.5	Welche Charakteristika von VKB-Patienten beeinflussen die Ausprägung des LSI?	68

4.2	Methodische Aspekte	70
4.2.1	Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse.....	70
4.2.2	Datenerhebung und Ablauf der Testung.....	71
4.3	Ausblick	72
5	Zusammenfassung.....	75
6	Literaturverzeichnis	77
7	Abbildungsverzeichnis	87
8	Tabellenverzeichnis	89
9	Abkürzungsverzeichnis.....	90
10	Anhang	91
10.1	Ergänzung zur Datenauswertung.....	91
10.2	Probandeninformation.....	94
10.3	Untersuchungsbogen.....	95
10.4	Fragebögen.....	96
10.4.1	IKDC und KOOS (gekürzte Versionen)	96
10.4.2	LPI.....	101
10.4.3	Würzburger Sportfragebogen.....	103
10.4.4	Lysholm Score.....	105
10.4.5	Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm.....	107
10.4.6	Beighton Score	108
10.5	BMI-Tabelle für SHT	109
10.6	Datenblatt.....	110
	Danksagung.....	
	Lebenslauf	

Anmerkung:

Falls nicht explizit auf das Geschlecht hingewiesen wird, bezieht sich in dieser Arbeit die Bezeichnung Patient(en) oder Proband(en) immer auf das gesamte Kollektiv.

Ist im Falle der Patienten vom betroffenen oder verletzten Bein die Rede, bezieht sich dies auf das Bein mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes in der Anamnese.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird die gesamte Testreihe, bestehend aus allen zehn durchgeführten Testverfahren, als sog. „Würzburger Testbatterie“ bezeichnet.

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

„Wann darf ich wieder spielen?“ – Fragen wie diese hört man vom Patienten meist unmittelbar nach Diagnosestellung einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes (VKB). In der Regel trifft es junge, sportlich aktive Menschen. Mit einer Inzidenz von 68,6 aus 100.000 Patientenjahren für isolierte VKB-Rupturen tritt diese Art der Verletzung des Kniegelenkes verhältnismäßig häufig auf [106] und geht oft mit Begleitverletzungen und langer Rehabilitationsdauer einher. Je nach Leistungsniveau des Sportlers vor seiner Verletzung, steht dieser mehr oder weniger unter Zeitdruck von außen und von sich selbst zeitnah wieder am Sport teilhaben zu können, ohne dabei ein erhöhtes Risiko für eine Reruptur oder anderweitige Folgeverletzungen einzugehen. Dieser eingangs gestellten Frage nach einem geeigneten Zeitpunkt zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität widmen sich unterschiedlichste Projekte unter den Überbegriffen „Return to Play“ (RTP), „Return to Sports“, „Return to Activity“ und „Return to Competition“ [4, 44, 45, 51, 60, 63, 91].

Naheliegend und häufig als ausschlaggebender Faktor zur Wahl des Rückkehrzeitpunktes, wird die vergangene Zeitspanne zur Operation herangezogen. Ein systematisches Review von Barber-Westin und Noyes [9] führte diesbezüglich auf, dass dieser Zeitpunkt meist nach sechs Monaten oder später angegeben wird, unabhängig vom verwendeten Material für die VKB-Rekonstruktion [4, 9]. In einer Umfrage durch Petersen und Zantop [91] unter erfahrenen Chirurgen und Ausbildern für Arthroskopie der Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA), sog. AGA-Instruktoren, gaben 63,5 % an, eine Rückkehr zum Sport nach dieser Zeit zu unterstützen. Daneben gibt es weitere Ansätze, die in die Entscheidungsfindung zur Sportfreigabe mit einfließen. An erster Stelle orthopädischer Untersuchungsmethoden steht ein negativer Lachman-Test, welcher laut dieser Umfrage mit 81,7 % der Stimmen die am häufigsten verwendete Methode zur Bestimmung des Rückkehrzeitpunktes ist. Gefolgt wird dies mit 78,4 % von der Wiedererlangung des vollen Bewegungsumfanges. Funktionelle Testverfahren, wie den Single-Leg Hop for Distance, beziehen hingegen nur 39 % der Ärzte in ihre Entscheidung mit ein und nur lediglich 1,4 % gaben im Freitext an Ergebnisse einer Testbatterie zu Rate zu ziehen.

In der Literatur werden dennoch stets weitere Untersuchungen gefordert, um den geeigneten Zeitpunkt für die Rückkehr zum Sport zu ermitteln [85]. Insbesondere aus funktioneller Sicht spielen dynamische Testverfahren im Rahmen von Sprung-, Sprint-, Agilitäts- und Krafttests sowie Testverfahren für die muskuläre Ausdauer bei der Bewertung für die Sportfreigabe eine wichtige Rolle. Häufige Richtungswechsel, abrupte Abstoppbewegungen sowie ein- und beidbeinige Landungen nach Sprüngen fordern ein hohes Maß an Kraft- und Koordinationsfähigkeit der unteren Extremitäten beim Sporttreiben und stellen hohe Anforderungen an alle an der Stabilität beteiligten Strukturen des Kniegelenkes. Diese Bewegungen provozieren in der Regel das typische Verletzungsmuster eines Innenrotationstraumas mit Valgusstress [110]. Muskuläre Dysbalancen, fehlende Kraftentwicklung und Schwächen in der propriozeptiven Steuerung erhöhen das Risiko für erneute Verletzungen [23, 61].

Daher erscheint es wichtig diese funktionellen Aspekte in der Praxis unter möglichst standardisierten und fordernden - aber nicht überfordernden - Bedingungen zu testen, ehe eine Sportfreigabe stattfinden kann. Allerdings fehlen hier noch wichtige Studien zur Evaluation bzw. Validierung der einzelnen Tests [44]. Dies scheint insbesondere im Rahmen einer Testbatterie sinnvoll zu sein, da durch das Abprüfen verschiedener Komponenten (Ausdauer, Schnelligkeit, Maximalkraft) die Sensitivität erhöht wird [10, 27, 37, 97].

Ein im Allgemeinen um zwei- bis 9,5-fach erhöhtes Risiko für eine VKB-Ruptur bei Frauen, aufgrund eines unterschiedlichen Risikoprofils, u. a. als Folge anatomischer, neuromuskulärer und hormoneller Unterschiede, legt in diesem Zuge auch die Betrachtung geschlechterspezifischer Grenzwerte in funktionellen Tests nahe [89, 128].

Die vorliegende Arbeit greift diesen identifizierten Forschungsbedarf auf und gliedert sich daher in die Reihe der „Return to Play“-Untersuchungen ein. Ziel dieser Arbeit ist es, gängige funktionelle Testverfahren im Rahmen einer Testbatterie anhand eines gesunden Probandenkollektives hinsichtlich bestehender Bewertungskriterien und geschlechterspezifischer Unterschiede zu untersuchen und eventuelle Einflussfaktoren auf das Abschneiden von VKB-Patienten zu eruieren.

1.1 Anatomie und Bandapparat des Kniegelenkes

Das Kniegelenk ist trotz einer schützenden und umschließenden Muskulatur hinsichtlich der Stabilität zusätzlich auf eine starke Bandführung angewiesen, wobei das VKB eine entscheidende Rolle spielt [70]. Im Gegensatz zum vorwiegend knochengeführten Hüftgelenk und dem muskelgeführten Schultergelenk [53] sichert der komplexe Bandapparat die knöchernen Strukturen, damit sich diese nicht zu stark gegeneinander verschieben. Der Bandapparat setzt sich aus Außen- und Binnenbändern zusammen [109] (siehe Abbildung 1). Zu letzteren zählen das vordere (Ligamentum cruciatum anterius) sowie das hintere (Lig. cruciatum posterius, HKB) Kreuzband. Der Bandapparat sorgt in einem komplexen Zusammenspiel mit weiteren passiv wirkenden Elementen wie den beiden Menisken und der Gelenkkapsel und aktiver Stabilisation durch die Muskulatur für die Stabilität des Kniegelenkes in jeder Gelenkstellung [69]. Für eine Verbesserung der Kraftübertragung zwischen Femur und Tibia sorgen die beiden Menisken, welche sich je nach Kniegelenksstellung durch Lage- und Formveränderung anpassen und somit ein ähnliches Verhalten wie Bandscheiben zeigen [95, 109]. Da der Innenmeniskus (Meniscus medialis) deutlich stärker mit dem Innenband verwachsen ist, ist der Meniscus lateralis im Vergleich beweglicher [109]. Hieraus resultiert eine höhere Anfälligkeit für kombinierte Verletzungen, beispielsweise im Rahmen einer „Unhappy triad“. Dies bezeichnet die zeitgleiche Verletzung des Lig. collaterale mediale, des Meniscus medialis und des vorderen Kreuzbandes [88].

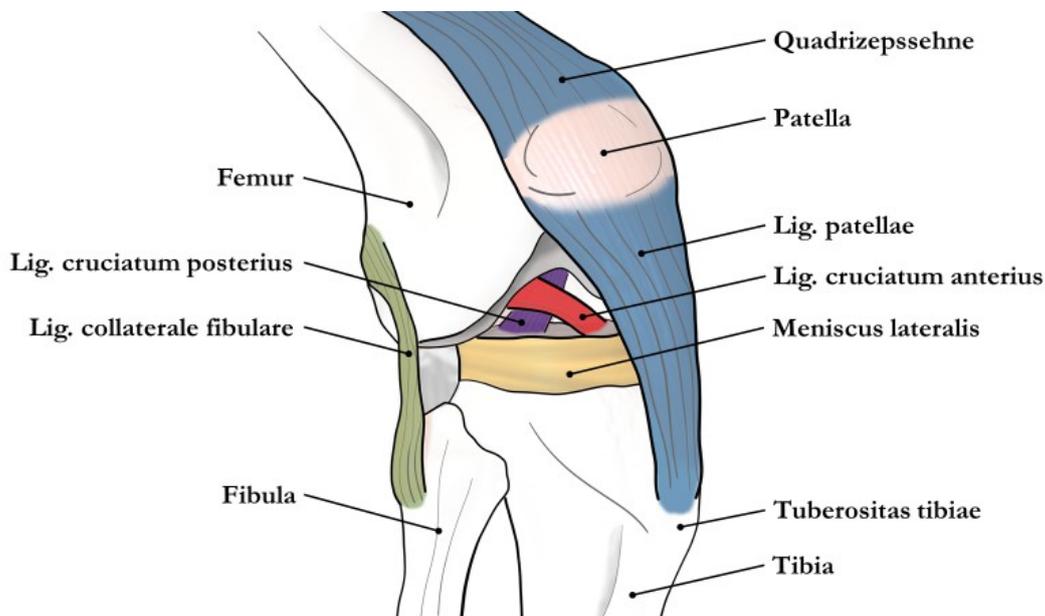


Abbildung 1: Darstellung der Außen- und Binnenbänder eines rechten Kniegelenkes. Ansicht von lateral. Lig. collaterale tibiale und Meniscus medialis nicht abgebildet (eigene Darstellung).

1.2 Biomechanik und Kinematik des Kniegelenkes

Der anatomische Aufbau des Kniegelenkes ermöglicht Bewegungen in drei verschiedenen Ebenen und in diesem Zusammenhang Extension und Flexion, Rotationen und in geringem Ausmaß, je nach Kniegelenksstellung, ebenfalls eine laterale sowie mediale Aufklappbarkeit im Sinne eines Valgus- bzw. Varusausschlages [74]. Die gängige und standardisierte Angabe der Bewegungsausmaße von Gelenken stellt die Beschreibung nach der Neutral-Null-Methode dar. Als Ausgangsstellung wird dafür der aufrechte Stand definiert [119]. Demnach ergeben sich als Referenzwerte für Extension und Flexion von $5^\circ - 0 - 140^\circ$ und Außen- und Innenrotation von $20^\circ - 0 - 10^\circ$ [16]. Letztere Werte beziehen sich auf die Bewegung in 90° Knieflexion.

Die beiden Kreuzbänder sorgen dafür, dass Bewegungen begrenzt und die miteinander in Beziehung stehenden Strukturen stabilisiert werden sowie für eine Koordination der Roll-Gleit-Bewegung [52]. Durch den anatomischen Verlauf des VKB, von der medialen Fläche des Condylus lateralis femoris nach ventral zur Eminentia intercondylaris der proximalen Tibiafläche [3, 33, 39], ist es mit zwei Hauptfunktionen maßgeblich an der Stabilität des Kniegelenkes beteiligt. Die erste Hauptfunktion des VKB ist die Sicherung der anterioren tibialen Translation. In der Sagittalebene verhindert das VKB ein Gleiten der Tibia nach ventral im Vergleich zum Femur. Die Gewährleistung der Rotationsstabilität stellt die zweite Hauptfunktion des Kreuzbandes dar [131].

Das Verhältnis der Hamstring-Muskulatur im Vergleich zur Quadrizepsmuskulatur spielt ebenfalls bei der funktionellen Stabilisierung des Kniegelenkes eine bedeutende Rolle. Dieser Zusammenhang wird im Kapitel 1.5 geschlechterspezifisch aufgeführt. Die Hamstring-Muskulatur hat einen protektiven Effekt für das VKB und scheint mit diesem über den sog. „Hamstring-Reflexbogen“ verbunden zu sein. Nach VKB-Ruptur konnten in tier- und humanexperimentellen Versuchen längere Latenzzeiten dieses Reflexes nachgewiesen werden. Neben Mechanorezeptoren im VKB sind weitere im Bereich des HKB, der Menisken, der Kollateralbänder und der Gelenkkapsel an der neuromuskulären Steuerung des Kniegelenkes beteiligt [124].

1.3 Epidemiologie von Kreuzbandverletzungen

Sowohl im Breitensport, als auch in gesteigertem Maße im Leistungssport, geht die Belastung immer mit der andauernden Gefahr von Verletzungen einher, die den aktiven und den passiven Bewegungsapparat betreffen können. Die untere Extremität ist dabei besonders gefährdet. Steinbrück [113] beobachtete 30.603 Sportler über einen Zeitraum von 25 Jahren. In 72,4 % der Fälle kam es zu Verletzungen der unteren Extremitäten. Davon betrafen wiederum 36,6 % das Kniegelenk. Bei expliziter Betrachtung der Knieregion konnten Majewski, Habelt und Steinbrück [69] zeigen, dass das VKB mit einem Anteil von 45,4 % die am häufigsten verletzte Struktur bei Kniebinnenverletzungen war. Mit einer Inzidenz von 8,1/100.000 Einwohnern pro Jahr handelt es sich insgesamt um eine häufige Verletzung [20]. Andere Studien berichten von noch höheren Zahlen [106]. Typischerweise trifft eine VKB-Ruptur eher junge Sportler, wobei Frauen tendenziell früher bereits zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr dazu neigen. Der Häufigkeitsgipfel für Männer wird zwischen dem 19. und 25. Lebensjahr berichtet [106, 128].

1.4 Verletzungsmechanismus bei VKB-Ruptur

Um geeignete Präventionsstrategien zu entwickeln, ist eine Analyse der Risikofaktoren und des eigentlichen Verletzungsmechanismus von Bedeutung. Diesem Aspekt widmen sich Bahr und Krosshaug [8] und erklären die Suche nach letzterem als Schlüsselrolle, um effektiv Prävention betreiben zu können.

Viele Studien belegen, dass die meisten Kreuzbandrupturen während des Sporttreibens ohne direkte Gegnerbeteiligung stattfinden. In der Literatur finden sich Werte von etwa 72-95 % für durch sog. Nicht-Kontakt-Mechanismus verursachte VKB-Rupturen [15, 28, 79, 80]. Speziell gefährdende Bewegungen beim Sporttreiben umfassen abrupte Abstopp- und Drehbewegungen sowie das Landen nach einem Sprung [132]. Der typische Verletzungsmechanismus ist ein Innenrotationstrauma mit Valgusstress, welcher in Abbildung 2 schematisch dargestellt ist [109, 110]. Vergleicht man die Rupturhäufigkeit, zeigt sich die VKB-Ruptur im Vergleich zu der des HKB zehnmal häufiger [109].



Abbildung 2: Valgusstress bei einem Fußballspieler (eigene Darstellung).

1.5 Risikofaktoren vor und Folgeschäden nach VKB-Ruptur

Die Identifikation von Risikofaktoren bietet die Möglichkeit primärpräventive Programme zu entwickeln, um das Eintreten der Verletzung zu verhindern. Außerdem ermöglicht diese Analyse ebenfalls das Risiko einer Reruptur zu verringern. Viele Studien beschäftigen sich mit der Untersuchung dieses Forschungsgebietes und haben die im Folgenden dargestellten Faktoren als prädisponierend für einen Kreuzbandriss herausgestellt.

Anatomische Risikofaktoren

Signifikante Risikofaktoren stellen insbesondere eine generalisierte Hypermobilität, eine geringe Notchweite der Fossa intercondylaris sowie eine Abflachung des Tibiaplateaus dar [111, 121]. Zudem waren bei Frauen ebenfalls ein erhöhter BMI und der Nachweis erhöhter Laxizität, gemessen mit dem KT-2000, mit einem erhöhten Rupturrisiko verbunden. Bei Kniehyperextension zeigte sich beispielsweise bei Myer, Ford, Paterno, et al. [75] ein fünffach erhöhtes Risiko für eine VKB-Ruptur bei einer Fallkontrollstudie von 1.558 primär untersuchten gesunden weiblichen Fußball- und Basketballspielerinnen.

Geschlechterspezifische Risikofaktoren

Während die absolute Anzahl für VKB-Rupturen bei Männern größer ist [32], ist das Risiko für das Auftreten einer solchen Verletzung bei Frauen um das 1,6-fache bis über neunfache erhöht. Als Grund für die erhöhte Prävalenz bei Männern wird angeführt, dass diese häufiger als Frauen die mit größerem Risiko behafteten Sportarten ausführen, die den eigentlichen Verletzungsmechanismus mit pivotierenden Bewegungen provozieren [36, 89, 128]. Hewett, Torg und Boden [48] führten Videoanalysen bei Sportlern und Sportlerinnen durch. Die verwendeten Aufnahmen wurden im Moment einer VKB-Ruptur aufgezeichnet. Im Vergleich zu Männern zeigte sich eine vermehrte Neigung von Frauen nach Sprüngen in Knieabduktion zu landen. Gleiches beschreiben Arundale, Kvist, Hägglund, et al. [6]. Besonders diese Knieposition geht mit einem erhöhten Risiko für VKB-Rupturen einher [46]. Als Grund dafür werden die Anspannung des VKB mit gleichzeitig fehlender protektiver Wirkung durch die ischiokrurale Muskulatur angeführt, wodurch sonst die tibiale Translation abgeschwächt bzw. verhindert wird [89]. Die ischiokrurale Muskulatur gilt als Antagonist zum M. quadrizeps femoris, indem sie den Tibiakopf gegenüber einer Verschiebung nach ventral stabilisiert. Bei Frauen ist diese Muskulatur in der Regel anlagebedingt bereits schwächer und zeigt eine verzögerte Ansteuerung. Dies kann zu einer verminderten funktionellen Stabilität und damit zur Verletzungsanfälligkeit des Kniegelenkes beitragen [2, 46, 48, 54]. Ebenfalls häufig mit der erhöhten Verletzungsinzidenz von Frauen in Verbindung gebracht werden hormonelle Faktoren. Studien zufolge scheinen Östrogen- und Progesteronrezeptoren, die auf dem VKB lokalisiert sind, zu einer hormonabhängigen Reduktion der Festigkeit des Ligamentes zu führen [2, 89]. Diese überwiegend aus Tierversuchen stammenden Erkenntnisse werden jedoch häufig kontrovers diskutiert [111].

Sportartspezifische Risikofaktoren

Unterschiedliche Studien stellen insbesondere weit verbreitete Sportarten wie Fußball, Handball, Basketball und Skialpin als Hochrisikosportarten heraus [94], da Verletzungen in diesen Sportarten in rund einem Drittel der Fälle das Kniegelenk betreffen. Mihata, Beutler und Boden [73] zeigten bei einer Studie mit weiblichen Collagebasketballerinnen und –fußballerinnen Raten von 2,8 bis 3,2 pro 10.000 Sportler. Dies stellt eine erhöhte Prävalenz im Vergleich zur Gesamtbevölkerung dar. Aufgrund dieser starken Verbreitung stellt die Untersuchung des VKB einen gesellschaftlich relevanten Forschungsbereich dar. Analysen zum

Zeitpunkt, wann während eines Fußballspieles Verletzungen eintreten, stellen insbesondere Situationen kurz vor Ende der jeweiligen Halbzeit infolge von Ermüdungserscheinungen als kritisch heraus [41, 42, 71].

Spezielle Risikofaktoren nach VKB-Ruptur

Ein Review von Swärd, Kostogiannis und Roos [114] beschäftigte sich u. a. mit prädisponierenden Faktoren für die Verletzung im Bereich des VKB des kontralateralen Beines. So erhöhten sowohl eine bereits vorhandene VKB-Ruptur, als auch ein niedriges Lebensalter bei primärer Verletzung, das Risiko für eine Verletzung des VKB der kontralateralen Seite. Eine zusätzlich erhöhte Verletzungsrate ergibt sich je anspruchsvoller das sportliche Level ist, in welchem die betroffene Person wieder sportlich tätig wird. Eine Studie von Salmon, Russell, Musgrove, et al. [105] zeigte diesbezüglich einen Anstieg auf ein zehnfaches des Risikos für eine VKB-Ruptur der Gegenseite bei Rückkehr zu mäßiger bis anstrengender körperlicher Tätigkeit. Bezüglich Sportarten mit Körperkontakt, pivotierenden und Side-Step-Bewegungen ergab sich im Vergleich zur Indexverletzung ebenfalls ein dreifach erhöhtes Risiko für das initial verletzte Knie. Aggraviert wird dies durch den Umstand, dass im Falle einer erneut eintretenden Verletzung, diese häufig ein schlimmeres Ausmaß aufweist [42]. Insbesondere nach einer VKB-Verletzung sowie postoperativ kommt es in der Regel zu einer Abnahme der Muskelmasse der kniegelenkstabilisierenden Muskulatur, was zu einem erhöhten Verletzungsrisiko führen kann [23, 50].

Folgeschäden

Waldén, Hägglund und Ekstrand [127] fanden bei Fußballern mit VKB-Läsion in der Anamnese ein insgesamt erhöhtes Risiko für Verletzungen im Bereich des Kniegelenkes. Dies galt sowohl für degenerative Schäden als auch für akute Traumata am Bandapparat und den Binnenstrukturen. Aggraviert wird dies insbesondere bei einer initialen oder im Verlauf entstehenden Begleitverletzung, im Sinne einer Meniskus- oder Knorpelverletzung, wodurch die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung einer Osteoarthritis erhöht wird [92]. Roos, Adalberth, Dahlberg, et al. [103] zeigten diesbezüglich ein Auftreten von typischen röntgenologischen Arthrosezeichen bereits um das 40. Lebensjahr. Bezogen auf das eingeschlossene Patientenkollektiv trat dies bei etwa 60 % bis 90 % der Patienten im Abstand von etwa zehn bis 15 Jahren zum ursprünglichen Knie Trauma auf. Ähnliches konnten Lohmander,

Östenberg, Englund, et al. [64] in einer Untersuchung an weiblichen Fußballerinnen zwölf Jahre nach VKB-Ruptur herausstellen. Hierbei wiesen über 50 % Osteoarthrosezeichen im Röntgen auf. Bleibende chronische Kniebeschwerden stellen ein großes individuelles und gesellschaftliches Problem dar. Chronische Beschwerden und Folgeschäden am Kniegelenk infolge einer VKB-Ruptur sind weitverbreitet, zum Teil schwerwiegend und mit einer langen Rehabilitationsdauer und hohen Kosten verbunden [84, 85].

1.6 „Return to Play“

Die Rückkehr zum Sport ist keine Selbstverständlichkeit. Ergebnisse einer Metaanalyse von Ardern, Webster, Taylor, et al. [4] zeigten, dass nur 44 % der Patienten nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes zum Wettkampfsport zurückkehrten. Etwa zwei Drittel der Patienten waren in der Studie von Lee, Karim und Chang [63] in der Lage, erneut das Niveau der ausgeübten Sportart zu erreichen, welches vor der Verletzung bestand. Faktoren, die bei der Entscheidung zur Rückkehr eine Rolle spielen, sind beispielsweise die Eigenmotivation oder die Angst vor erneuter Verletzung. Speziell diese Erwartungsangst vor einer nochmaligen Ruptur untersuchte die Studie von Kvist, Ek, Sporrstedt, et al. [62]. Dabei gaben 24 % dies als Grund für die ausbleibende Rückkehr zum Sport an.

Die hohe Inzidenz von Rerupturen, insbesondere im ersten Jahr nach Rekonstruktion, führt zu der Annahme, dass eine Ursache möglicherweise in einer zu frühen Rückkehr zum Sport liegen kann. Einer Studie von Webster, Feller, Leigh, et al. [129] zufolge, fielen 50 % der Rerupturen in diesen Zeitraum. Nach operativer Versorgung benötigen die Transplantate Zeit für die knöcherne Einheilung und unterliegen einem Umwandlungsprozess, der sog. „Ligamentisierung“. Die dazu zählenden drei Phasen mit früher Heilungsphase, Remodeling- und Reifungsphase variieren hinsichtlich ihrer Dauer je nach Autor, überschneiden sich und basieren häufig auf Tierversuchen [58, 87, 90]. Insbesondere im ersten postoperativen Jahr ist eine strukturelle Heilung demzufolge in der Regel nicht abgeschlossen [1]. Um zu gewährleisten, dass in dieser vulnerablen Phase keine erneute Verletzung eintritt, muss die funktionelle Stabilisierung des Kniegelenkes reibungslos ablaufen.

Der Festlegung des idealen Zeitpunktes für die Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität und ggf. der sportlichen Karriere widmen sich Projekte unter den Überbegriffen „Return to Play“ oder auch „Return to Activity“, „Return to Sports“ und „Return to Competition“.

Wohingegen primärpräventive Programme daran ansetzen propriozeptive und neuromuskuläre Fähigkeiten durch ein multimodales Training positiv zu fördern und dadurch ein Auftreten von Verletzungen überhaupt zu verhindern, wird im Rahmen des „Return to Play“-Gedankens v. a. dieses Level an erreichten Fähigkeiten durch unterschiedlichste Testverfahren überprüft. In Folge dessen sollen dann Rückschlüsse auf die Leistungs- bzw. Sportfähigkeit gezogen werden [123]. Die Suche nach geeigneten Maßnahmen der Rehabilitation und zur Kontrolle der wiedererlangten Beweglichkeit und insbesondere der funktionellen Fähigkeiten ist wichtig, um den Erfolg der Rehabilitation nicht zu gefährden, da vorangegangene Verletzungen ebenso wie eine unzureichende Rehabilitation das Risiko für weitere Verletzungen erhöhen [5, 25, 26]. Ziel ist die Ermittlung des Zeitpunktes, zu dem das Risiko für eine Reruptur des VKB oder einer Schädigung anderer Strukturen für den Patienten gering oder möglichst nicht mehr vorhanden ist.

1.7 Limb Symmetry Index (LSI)

Nach erfolgter VKB-Ruptur bzw. im sich anschließenden Rehabilitationsprozess werden diagnostische Mittel zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des betroffenen Beines benötigt. Häufig wird die Leistungsfähigkeit über den intraindividuellen Vergleich des verletzten Beines zum gesunden Bein definiert. Sprungkrafttests sind hierzu einfach und nahezu überall einsetzbar. Sie bilden u. a. den funktionellen Bewegungsablauf bei Bewegungen der unteren Extremität ab und dienen dazu die variantenreichen Anforderungen während des Sporttreibens in Auszügen nachzustellen [72]. Insbesondere einbeinige Sprungtests eignen sich dazu Seitendifferenzen ohne apparative Hilfsmittel zu detektieren und testen Bewegungsmuster, die dem Verletzungsmechanismus ähnlich sind.

Als gängiges und häufig alleiniges Bewertungskriterium funktioneller Tests wird der sog. „Limb-“ bzw. „Leg Symmetry Index“ (LSI) herangezogen. Dieser wird bei Patienten aus dem Quotienten der erreichten Testergebnisse des gesunden und des verletzten Beines errechnet. Der LSI zeigt, ob das geschädigte Bein „normale“ oder „abnormale“ Ergebnisse in Referenz zum gesunden Bein erzielt. Zudem berichten Cristiani, Mikkelsen, Edman, et al. [22] von einer Eignung der Kenntnis des LSI in einbeinigen Sprungtests sechs Monate postoperativ zur Vorhersage der Patientenzufriedenheit in zwei Jahren.

In der Literatur werden unterschiedliche Grenzwerte für einen als „normal“ gewerteten LSI-Wert angegeben. Diese reichen von $\geq 80\%$ bis $\geq 90\%$ [14, 60, 93, 100]. Die große

Spannweite des als „normal“ klassifizierten LSI erfordert eine nähere Betrachtung, denn trotz der verbreiteten Anwendung dieses Bewertungskriteriums wird die Verwendung zum Teil kontrovers diskutiert [118]. So kann beispielsweise eine Vorschädigung am eigentlich als gesunde Referenz herangezogenen Bein die Aussagekraft verfälschen und den erzielten LSI überschätzen [93]. Ebenso wird eine initiale Verschlechterung der Kraftfähigkeit des gesunden Beines während der Rehabilitation aufgrund einer fehlenden Beanspruchung im Rahmen der ursprünglich betriebenen Sportarten diskutiert [35, 50]. Zu einem widersprüchlichen Ergebnis diesbezüglich kamen Rohman, Steubs und Tompkins [100]. In ihrer Studie war über die Testperiode von sechs Monaten ein geringerer Leistungszuwachs des gesunden Beines zu verzeichnen, jedoch keine Verschlechterung hinsichtlich der Testergebnisse.

Die aktuell geltenden Grenzwerte für den LSI beziehen sich meist auf Studienergebnisse mit wenigen gesunden Probanden. In der Übersichtsarbeit von Narducci, Waltz, Gorski, et al. [82] wurden in vier der zwölf eingeschlossenen Studien Referenzgruppen mit einer Gruppengröße von 13-20 gesunden Probanden ohne Verletzungsanamnese der unteren Extremität angeführt. Unter den eingeschlossenen Studien befand sich u. a. die Studie von Gustavsson, Neeter, Thomeé, et al. [37] wobei anhand von neun männlichen und sechs weiblichen, willkürlich ausgewählten Probanden, Geschlechtereffekte bezüglich der absolut erzielten Werte und dem Seitenvergleich beider Beine untersucht wurden. Ein Geschlechtereffekt bezüglich des LSI konnte nicht gezeigt werden. Bereits Barber, Noyes, Mangine, et al. [10] beschrieb die Untersuchung gängiger Grenzwerte funktioneller Testreihen in der Normalbevölkerung als sinnvoll. Anhand der praktizierten Sportstunden pro Woche und des Geschlechtes erfolgte eine Einteilung der teilnehmenden Probanden in unterschiedliche Gruppen. Ein Einfluss des Geschlechts oder des sportlichen Levels auf den LSI konnte ebenfalls nicht gezeigt werden. Für manche einbeinige Sprungtests zeigte sich ein LSI von 85 % als Grenzwert realisierbar. Jedoch fanden sich auch deutliche Abweichungen von diesem Wert im gesunden Kollektiv. Vier der dabei durchgeführten Tests (Hop for Distance, Vertical Jump, Shuttle Run Circle und Shuttle Run Stop) werden in der vorliegenden Arbeit ebenfalls näher betrachtet. Auf Basis der nicht hinreichend geklärten Sensitivität einzelner Tests, wurde empfohlen mehrere Tests zu verwenden, um die Sensitivität zu erhöhen.

Die erwähnten Studien zu Geschlechtereffekten sollten mittels einer größeren Referenzstichprobe verifiziert werden.

1.8 Anforderungen an eine Testbatterie

Nach einer VKB-Verletzung müssen unterschiedlichste funktionelle Fähigkeiten wiederhergestellt sein, um eine erneute Verletzung zu verhindern und Folgeschäden beim erneuten Sporttreiben zu vermeiden. Eine Übersicht dieses Anforderungsprofils am Beispiel eines Spielsportlers zeigt Abbildung 3.

Nach eingetretener Verletzung und operativer Versorgung spielt neben der strukturellen Heilung des Knies, u. a. mit der Einheilung eines Transplantates und dem Ausgleich von muskulären Dysbalancen, die sensomotorische Rehabilitation eine entscheidende Rolle. Infolge des Traumas kommt es zu einer Beeinträchtigung der neuromuskulären Ansteuerung. Die dynamische Stabilisierung durch Propriozeption wird dabei durch Anteile des VKB geleistet [120]. Vor einer Rückkehr zum Sport muss die funktionelle Stabilität gewährleistet sein. Diese kann durch eine vielseitige Testbatterie abgeprüft werden. Insbesondere kombinierte Protokolle funktioneller Testverfahren bieten die Möglichkeit Anforderungen während des Sporttreibens unter weitestgehend kontrollierteren Bedingungen abzuprüfen [130].



Abbildung 3: Überblick zu „Anforderungen an einen Spielsportler, die im Rahmen von funktionellen Tests nach einer VKB-Verletzung geprüft werden können“ [130; S. 173], © Georg Thieme Verlag KG.

Daher werden auch den Untersuchungen dieser Arbeit nachfolgende zu messenden Eigenschaften zu Grunde gelegt:

- **Kraft** (Muskuläre Fähigkeit zur Stabilisation)
- **Schnelligkeit** (Koordinative Fähigkeiten bei Belastung)
- **Agilität** (Richtungswechselfähigkeit beim Sporttreiben)
- **Ausdauer** (Verletzungen mit Häufung am Ende einer Belastung)

1.9 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit sollen Einsatz, Umfang und Validität funktioneller Testverfahren genauer überprüft werden. Abgeleitet aus der Literatur, ergeben sich folgende Fragestellungen, welche anhand der erhobenen gesunden Probandendaten im Rahmen der „Würzburger Sprungtestbatterie“ und der Ergebnisse, der in Straubing getesteten VKB-Patienten, in dieser Arbeit beantwortet werden sollen:

- Lassen sich die in der Literatur bestehenden LSI-Grenzwerte bestätigen oder anhand der großen Stichprobe gesunder Probanden adjustieren?
- Ist eine geschlechterspezifische Betrachtung des LSI indiziert?
- Sind die in unterschiedlichen funktionellen Testverfahren erzielten LSI-Werte vergleichbar?
- Kann der LSI als alleiniger Indikator zur Beantwortung der RTP-Frage herangezogen werden oder ist eine Kombination mit weiteren Maßen angezeigt?
- Welche Charakteristika von VKB-Patienten beeinflussen die Ausprägung des LSI?

2 METHODIK

2.1 Gesundes Probandenkollektiv

Insgesamt haben $N = 124$ freiwillige Probanden im Zeitraum vom 10. Mai 2013 bis zum 07. November 2013 an den Messungen im Sportzentrum an der Julius-Maximilian-Universität in Würzburg teilgenommen. Davon waren 40,3 % Frauen ($N = 50$) und 59,7 % Männer ($N = 74$). Eine detaillierte Stichprobenbeschreibung getrennt nach Geschlechtern ist Tabelle 1 zu entnehmen. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte durch einen Aushang im Sportzentrum der Universität Würzburg (siehe Kapitel 10.2), mündliche Information sowie über soziale Onlinemedien. Ausschlusskriterium zur Teilnahme an der gesunden Probandengruppe und somit an den Messungen in Würzburg war eine Kreuzbandruptur in der individuellen Anamnese. Unabhängig davon, ob das vordere oder hintere Kreuzband betroffen war und ob eine operative Versorgung erfolgte oder nicht.

Tabelle 1: Deskriptiva der gesunden Probanden bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI getrennt nach Geschlecht.

Geschlecht	Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
männlich ($N = 74$)	Alter [Jahre]	16	42	23,41	3,93
	Körpergröße [cm]	169	202	185,09	6,66
	Körpergewicht [kg]	62	104	80,23	8,64
	BMI [kg/m^2]	19,44	28,08	23,38	1,85
weiblich ($N = 50$)	Alter [Jahre]	15	28	21,16	2,80
	Körpergröße [cm]	157	180	169,82	6,43
	Körpergewicht [kg]	47	75	60,92	6,89
	BMI [kg/m^2]	17,30	25,86	21,11	1,99

Die Probandenakquise richtete sich insbesondere an aktive sportliche Personen, welche sowohl durch Vereinstätigkeit, körperliche Betätigung in der Freizeit, im Studium oder Beruf gekennzeichnet sind. Der genaue Sportumfang wurde mithilfe eines Fragebogens (siehe Kapitel 2.4.4) erhoben. Keiner der Probanden gab an, sich nie sportlich zu betätigen. Bei den weiblichen Probanden ($N = 50$) beantworteten 88 %, bei den Männern ($n = 73$) sogar knapp über 90 % die Frage mit „regelmäßig“ und gaben somit an vier bis sechs Stunden wöchentlich oder öfter Sport zu treiben (siehe Abbildung 4).

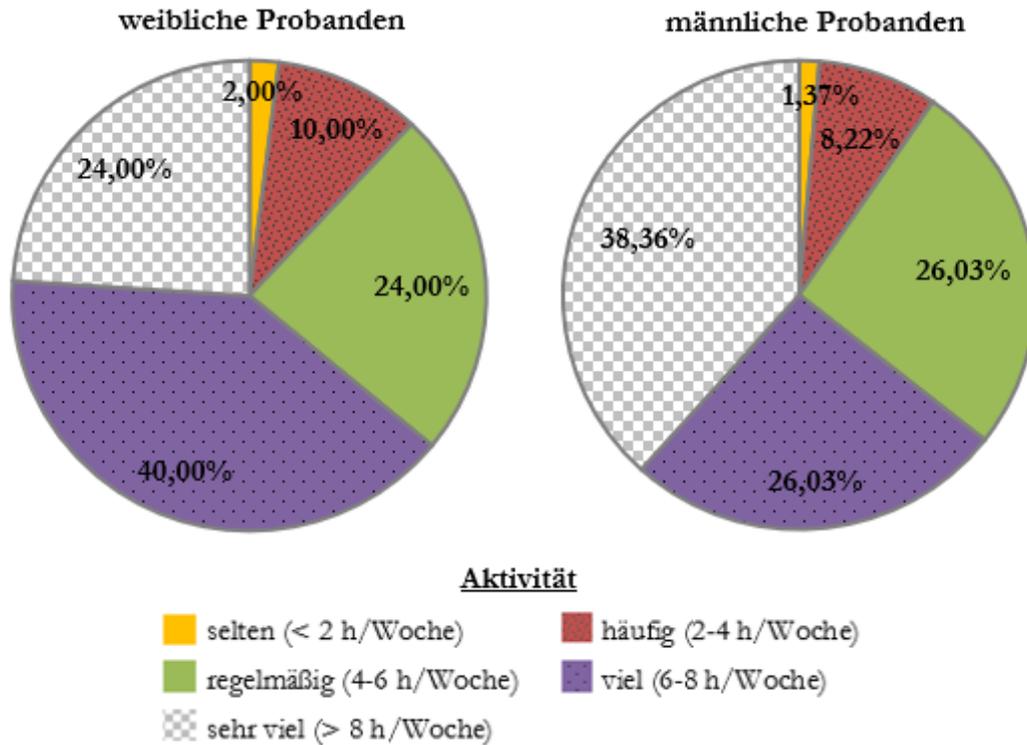


Abbildung 4: Sportliche Aktivität der weiblichen (links, N = 50) und männlichen (rechts, n = 73) Probanden nach eigener Angabe der absolvierten Sportstunden pro Woche.

2.2 Patientenkollektiv

Die hier in die Auswertung einbezogene Stichprobe umfasst Datensätze von insgesamt N = 44 Patienten, welche im Zeitraum vom 08. Oktober 2012 bis 09. Dezember 2013 im Rahmen der Arbeitsgruppe im Sporthopaedicum Straubing getestet wurden. Davon waren 34,1 % Frauen (N = 15) und 65,9 % Männer (N = 29). Eine orientierende Übersicht über personenbezogene Merkmale der Patienten, getrennt nach Geschlechtern, ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Die teilnehmenden Patienten wurden im Rahmen des „Return to Play“ Projektes rekrutiert und stammen aus der Patientenkartei des Sporthopaedicum Straubing. Eine Einverständniserklärung zur datenschutzkonformen Weitergabe und Auswertung der Daten wurde eingeholt. Die Daten wurden pseudonymisiert zur Auswertung übermittelt. Aufgrund der federführenden Rolle des Sporthopaedicums in der Projektvorbereitung wurde ein Ethikvotum an der Universität Regensburg (ID 17-895-101) eingeholt.

Einschlusskriterium zur Teilnahme war die Versorgung einer erstmalig aufgetretenen Ruptur des vorderen Kreuzbandes in der Anamnese. Von den eingeschlossenen Männern wurde bei elf Patienten (37,9 %) im Vorfeld das linke VKB rekonstruiert und bei 18 (62,1 %) das VKB des rechten Knies. Bezüglich der eingeschlossenen Frauen erfolgte bei acht (53,3 %) eine Versorgung des linken und bei sieben (46,7 %) die Versorgung des rechten VKBs.

Tabelle 2: Deskriptiva der Patienten bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI getrennt nach Geschlecht.

Geschlecht	Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
männlich (N = 29)	Alter [Jahre]	14	45	25,00	8,61
	Körpergröße [cm]	162	202	181,48	7,14
	Körpergewicht [kg]	61	105	80,38	10,59
	BMI [kg/m ²]	20,44	30,68	24,39	2,76
weiblich (N = 15)	Alter [Jahre]	16	56	31,93	12,12
	Körpergröße [cm]	157	176	166,93	4,70
	Körpergewicht [kg]	48	93	66,07	11,27
	BMI [kg/m ²]	17,63	32,95	23,71	3,97

Eine Übersicht über das Zeitintervall zwischen der operativen Versorgung und Durchführung der Testbatterie zeigt Abbildung 5. Je nach Selbsteinschätzung der Patienten hinsichtlich Beschwerden und Durchführbarkeit der einzelnen Tests wurde von ihnen eine individuelle und begrenzte Auswahl, der von den gesunden Probanden durchgeführten Sprungtestbatterie, ausgeführt.

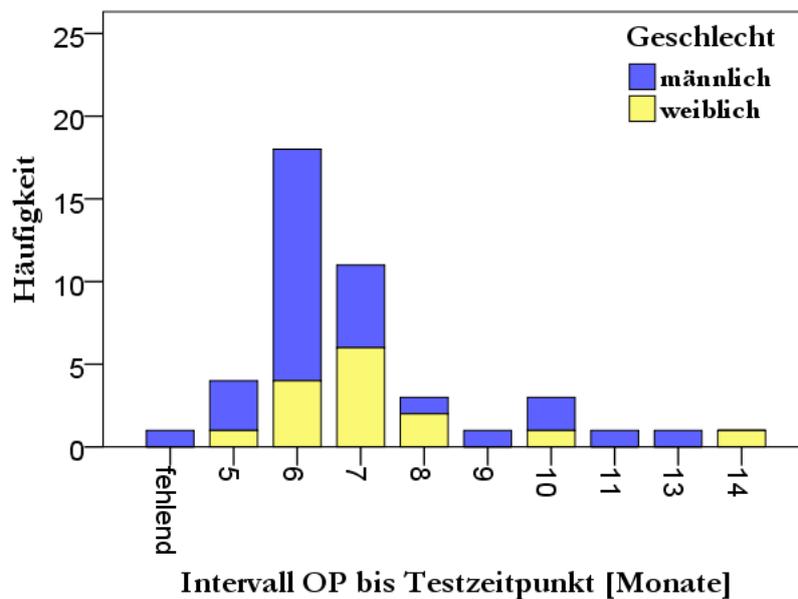


Abbildung 5: Zeitlicher Abstand zwischen operativer Versorgung und Testzeitpunkt der Patienten in Monaten. Nicht genannte Intervalle traten im Patientenkollektiv nicht auf.

2.3 Testablauf

Tabelle 3 zeigt einen kompletten „Würzburger“ Testdurchlauf mit zeitlicher Einschätzung für den jeweiligen Abschnitt. Die einzelnen Elemente werden in den Kapiteln 2.4 - 2.7 näher erläutert.

Tabelle 3: Übersicht über den kompletten Ablauf mit zeitlicher Einschätzung. Angaben in Klammern bezeichnen die Version für Patienten/für gesunde Testteilnehmer.

Kategorie	Inhalte	Dauer
Fragebögen	IKDC (Vollversion/gekürzt), KOOS (Vollversion/gekürzt), LPI, Tegner Aktivitätsscore, Lysolm-Score, Beighton-Score, Würzburger Sportfragebogen	20-30 min
Untersuchung	Umfangsmessung, Beinachse	5 min
Standardisiertes Warm-Up	Fahrradergometer 100 W, Übungen an Koordinationsleiter und Stepper	20 min
Sprungtestbatterie	HFD, VJ, DJ, F8T, UDT, MAT, SRC, SRS, SHT, SDT	60-90 min
Gesamt		105-145 min

2.4 Fragebögen und Scores

Einzelne Sprungtests bilden in der Regel nur einen kurzen Querschnitt der Leistungsfähigkeit ab. Vorteile von Fragebögen sind der häufig erfragte Funktionszustand des Knies über einen längeren Zeitverlauf von Tagen, Wochen oder Monaten. Sie ermöglichen es sich ein umfassendes Bild über die Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes zu machen und dienen der Erfassung von personenbezogenen Daten. Daher kamen in Ergänzung zur Sprungtesterhebung die im Folgenden beschriebenen Fragebögen zum Einsatz. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch nur auf den dafür relevanten Teil der jeweiligen Fragebögen und Testscores eingegangen. Alle genannten Fragebögen sind im Anhang unter Kapitel 10.4 zu finden.

2.4.1 IKDC Score

Das 1987 gegründete International Knee Documentation Committee (IKDC) hat es sich zur Aufgabe gemacht, ein einheitliches Bewertungssystem zu kreieren, um Behandlungsmethoden standardisiert bewerten zu können [43]. Im Zuge dessen wurde das „IKDC Subjective

Knee Form“ entwickelt, ein Formblatt, das in gekürzter Form in dieser Arbeit für die Probanden verwendet wurde. Für die Teilnehmer der Patientenstichprobe kam der vollumfängliche Fragebogen zum Einsatz. Der Fragebogen dient als kniespezifisches reliables und valides Maß bei unterschiedlichen Verletzungen und Erkrankungen. Er erfasst Symptome, Funktion und die sportliche Aktivität [56]. Da es sich bei den in Würzburg getesteten Probanden um gesunde Personen ohne Kreuzbandriss handelte, wurden Fragen, die sich auf den Zeitraum seit Eintritt der Verletzung beziehen, ausgespart. Die dritte Frage, welche Schmerzen im Knie abfragt, wurde erweitert, wodurch die Probanden jeweils ihr rechtes und linkes Kniegelenk separat bewerten konnten. Ebenfalls wurde das demographische Formblatt des IKDC in ungekürzter Form verwendet. Darin wurden Informationen über Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, ethnische Zugehörigkeit, Schulabschluss und eine große Anzahl an Komorbiditäten erfasst. Letztere konnten eigenständig von den Testpersonen ohne medizinisches Hintergrundwissen beantwortet werden [107]. Insbesondere für Patienten und das Outcome nach Therapie scheinen Begleiterkrankungen einen entscheidenden Einfluss zu haben. Der IKDC-Score wurde für das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies der Patienten wie folgt berechnet [55, S. 9]:

$$IKDC - \text{Ergebnis} = \frac{\text{Rohergebnis} - \text{Niedrigstmögliche Punktzahl}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100$$

2.4.2 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)

Der Fragebogen wurde in den 90er Jahren von Roos, Roos, Lohmander, et al. [102] zur Erfassung der Patientenzufriedenheit mit dem eigenen Knie entwickelt. Die ungekürzte deutsche Version umfasst die Beurteilung verschiedener Bereiche, wie Symptome (7 Fragen), Schmerzen (9 Fragen), Aktivitäten des täglichen Lebens (17 Fragen), Sport und Freizeit (5 Fragen) und Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie (4 Fragen). Ausgefüllt wurde der Fragebogen jeweils persönlich vom Patienten bzw. vom Probanden. Für jede der fünf Antwortmöglichkeiten pro Frage wurden Punkte vergeben. Die bestmögliche Antwort erhielt 0 Punkte, die schlechteste 4. Aus jeder Kategorie wurden Subscores, wie am Beispiel für den Bereich „Sport und Freizeit“ (Sport/Rec) demonstriert, berechnet:

$$KOOS \text{ Sport/Rec} = 100 - \frac{\text{Mean Score (SP1 - SP5)} \times 100}{4}$$

Pro Subscore konnten somit zwischen 0 (extreme Probleme) und 100 Punkten (keine Probleme) erzielt werden und die jeweiligen Untergruppen separat bewertet werden [101]. In dieser Arbeit beschränkte sich die Beantwortung der gesunden Probanden auf eine gekürzte Variante, worin lediglich die fünf Fragen der körperlichen Belastbarkeit während des Sporttreibens und in der Freizeit abgefragt wurden.

2.4.3 Lateralitäts-Präferenz-Inventar (LPI)

Zur Erfassung einer bevorzugten, dominanten Seite wurde das valide und reliable Lateralitäts-Präferenz-Inventar nach Ehrenstein und Arnold-Schulz-Gahmen (1997) [18] verwendet. Dabei handelt es sich um einen Fragebogen, der in wenigen Minuten zu beantworten ist. In diesem wurden vier verschiedene Kategorien mit jeweils vier Fragen abgefragt. Er arbeitet die bevorzugte Nutzung einer Seite bzgl. Ohren, Augen, Hände und Füße für die verschiedenen Aufgabenstellungen heraus. Die ursprüngliche Version [21] wurde von Ehrenstein und Arnold-Schulz-Gahmen ins Deutsche übersetzt und die Reihenfolge der erfragten Items verändert [18].

2.4.4 Würzburger Sportfragebogen

Der im Rahmen dieser Arbeitsgruppe erstellte Fragebogen zielte hauptsächlich auf die genaue Erfassung des Umfangs der sportlichen Betätigung der Probanden ab, um eine Abschätzung über deren körperliche Leistungsfähigkeit zu erhalten. Dabei wurden sowohl der zeitliche Umfang der körperlichen Aktivität pro Woche für einzelne Sportarten erfragt als auch das Leistungsniveau im Sinne einer Spielklasse und der –position bei einzelnen Sportarten. Er wurde von den Probanden nach einer kurzen Einführung eigenständig ausgefüllt.

2.4.5 Lysholm Score

Mit der Lysholm Knee Scoring Scale [115] wurde die subjektive Einschätzung und, zu einem geringen Anteil, auch objektiv Funktionen bezüglich des Kniegelenkes erfragt. Insgesamt konnten bei dieser Modifikation des Scores von Lysholm und Gillquist [67] 100 Punkte erreicht werden. Dafür wurden verschiedene Zustände, beispielsweise eine Blockierung, Schwellung, Instabilität und Schmerzen, die Möglichkeit ohne Schonhaltung im Sinne eines Hinkens und unter Vollbelastung gehen zu können sowie Aktivitäten des täglichen Lebens (Treppensteigen, Hocken) erfragt und anhand eines Punktesystems mit unterschiedlicher

Wertigkeit einzelner Bereiche bewertet. Eine Studie von Tegner und Lysholm [115] ergab, dass alle untersuchten Kreuzbandpatienten, die eine Punktzahl unter 65 Punkten hatten Instabilitätsgefühle während des Sporttreibens aufwiesen. Bei einem Score zwischen 65-83 klagten 81 % der Fälle über Probleme bei der Ausübung von Sport. Selbst bei einer Punktzahl zwischen 84-90 gaben noch 70 % Instabilität im Kniegelenk beim Sporttreiben an, wobei bei letzter Zahl nur noch 8 % über diesbezügliche Beschwerden im Alltag klagten.

2.4.6 Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm

Eine weitere Einschätzung des Aktivitätslevels wurde in Form des Tegner Scores erhoben. Hierbei wurde das höchstmögliche Niveau der Aktivität anhand einer Tabelle mit aufgelisteten Sportarten oder körperlicher Aktivität im Alltag in einem Punktesystem (0-10) erfasst [115]. Dabei stand der niedrigste zu erreichende Wert „0“ für Arbeitsunfähigkeit. Über Zwischenstufen, die beispielsweise normale körperliche Betätigung während der Arbeit, Freizeit- und Wettkampfsport umfassten, reichte es bis zu Hochleistungssport (10) und berücksichtigte dabei auch verschiedene Ansprüche unterschiedlicher Sportarten.

2.4.7 Beighton Score

Der Beighton Score diente dazu Hypermobilität von Gelenken zu quantifizieren [11, 12]. Die Probanden wurden aufgefordert folgende spezielle Bewegungen zur Prüfung der gelisteten Kriterien auszuführen:

- Finger-Boden-Abstand (FBA) kleiner 0 cm (1 Punkt), d. h. Kontakt zwischen Handflächen und Boden stehend bei gestreckten Beinen ist möglich,
- eine Überstreckbarkeit des Ellenbogengelenkes um mindestens 10° (1 Punkt je Seite),
- das Berühren des Unterarmes mit dem Daumen (1 Punkt je Seite),
- eine Überstreckbarkeit im Grundgelenk des Kleinfingers auf 90° (1 Punkt je Seite) und
- eine Hyperextension der Kniegelenke um mindestens 10° (1 Punkt je Seite).

Insgesamt konnten neun Punkte vergeben werden. Ein hoher Punktwert geht dabei mit einer erhöhten Beweglichkeit der Gelenke einher. Es handelt sich um ein häufig verwendetes Diagnostikumittel, allerdings gehen die Meinungen bezüglich der Cutoff-Werte auseinander

[98]. Hier angewandt wurde eine Einteilung in drei Gruppen [112]: 0-4 Punkte (nicht hypermobil), 5-6 Punkte (moderat hypermobil), 7-9 Punkte (generalisiert hypermobil). Insbesondere in dieser Studie war dieser Faktor relevant, da Hypermobilität der Gelenke ein erhöhtes Risiko für das Auftreten eines Kreuzbandrisses birgt [121].

2.5 Körperliche Untersuchung

Alle Probanden wurden im Vorfeld der Testung durch jeweils einen Versuchsleiter untersucht. Dies lief zeitlich parallel zum Ausfüllen der in 2.4 aufgeführten Fragebögen ab. Der Erhebungsbogen der Untersuchung findet sich im Anhang unter Kapitel 10.3. Durch Erfassung von Größe und Gewicht wurde der Body-Mass-Index (BMI) bestimmt:

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{(\text{Körpergröße [m]})^2} = \frac{[kg]}{[m^2]}$$

Bestandteil dieser Eingangsuntersuchung war zudem die Bestimmung der Muskelumfänge der unteren Extremität in Rückenlage, da das Vorliegen von Asymmetrien mit einem erhöhten Verletzungsrisiko verbunden ist. Diese Messungen erfolgten in festgelegtem Abstand zum medialen Gelenkspalt des Kniegelenkes. So wurden je Bein drei Werte in cm erfasst. Gemessen wurde der Umfang am Oberschenkel 20 cm und 10 cm proximal des Gelenkspaltes sowie distal im Abstand einer Länge von 15 cm entsprechend am Unterschenkel [125]. In Rückenlage wurde die Kniebeweglichkeit, speziell Extension und Flexion überprüft, da eine Hyperextension im Sinne einer Extension $\geq 10^\circ$ in die Auswertung für den Beighton Score (Kapitel 2.4.7) eingegangen ist.

Des Weiteren wurden im aufrechten Stand Condylen- und Malleolenabstand in Querfingern bestimmt, um dadurch eine Aussage über die Beinachse des Probanden zu erhalten bzw. ob eine varische oder valgische Abweichung oder eine normale Beinachse vorlag.

Außerdem fand eine Anamnese bezüglich früherer Verletzungen, durchgeführter Operationen sowie aktueller Beschwerden im Bereich der unteren Extremität statt.

2.6 Aufwärmprogramm

Im Anschluss an die Beantwortung der Befragungsbögen und die körperliche Untersuchung wurde von jedem Probanden ein standardisiertes Aufwärmprogramm absolviert. Begonnen

wurde dieses mit einer 10-minütigen Phase auf dem Fahrradergometer (Miha Mika und Star Trak) mit einer Intensität von 100 Watt zur Vorbereitung des kardiovaskulären Systems und der Muskulatur auf die folgende Belastung.

Bereits während des sprungspezifischen Warm-Ups wurde stets auf eine korrekte Körperhaltung geachtet. Bezüglich des häufig kontrovers diskutierten Themas der Armhaltung während der Sprungausführung wurden die Probanden instruiert die Hände jederzeit auf dem Rücken verschränkt zu halten, um im weiteren Verlauf die reine Sprungkraft messen zu können. Dadurch wird ein „Verfälschen“ der Ergebnisse durch Schwungholen vermieden, da dies zu einer größeren Sprunghöhe etc. führt [31, 38, 122]. Zudem wurden alle einbeinigen Sprünge von jedem Probanden standardisiert zunächst mit dem linken Bein ausgeführt.

Die weitere sprungtestspezifische Vorbereitung erfolgte durch eine Reihe verschiedener Horizontalsprünge sowie Sprünge mit Rotation. Sie wurden unter Einsatz einer sechs Meter langen Koordinationsleiter der Marke JAKO jeweils zwei Bahnen durchgeführt und in folgender Reihenfolge absolviert:

1. Skippings geradeaus (2 Kontakte pro Feld)
2. Skippings im Slalom (2 Kontakte pro Feld und 1 Kontakt seitlich der Leiter)
3. Einbeinsprünge (EBS) linkes Bein (1 Kontakt in jedem zweiten Feld)
4. EBS rechtes Bein
5. EBS linkes Bein mit seitlichem Verlassen des Feldes
6. EBS rechtes Bein mit seitlichem Verlassen des Feldes

Die letzten beiden Übungen des Aufwärmprogrammes wurden an einem Aerobic Step mit einer Höhe von 10 cm durchgeführt. Hier lag der Schwerpunkt besonders auf Vertikalsprüngen und plyometrischen Übungen. Die Aufgabe bestand darin beidbeinige Sprünge in Form einer Raute auszuführen. Dazu musste jeweils ein beidbeiniger Kontakt auf dem Boden vor- und hinter dem Stepper stattfinden sowie jeweils ein beidbeiniger Kontakt dazwischen auf dem Stepper. Die Blickrichtung des Probanden wurde während der Ausführung nicht geändert. Diese rautenförmige Sprungfolge musste zehn Runden absolviert werden.

Abschließend erfolgte eine Vorübung, um den Ablauf eines Drop Jumps (siehe Kapitel 2.7.3) einzustudieren, welcher Bestandteil der eigentlichen Testbatterie war.

2.7 Testaufbau

Um die komplexen Anforderungen an das Knie während der Ausführung beanspruchender Sportarten simulieren zu können, sollte eine möglichst vielschichtige und fordernde Testbatterie erstellt werden [118]. Bei der in Würzburg durchgeführten Untersuchungsreihe wurden deshalb zehn unterschiedliche Sprung- und Sprinttests zu einer Testbatterie zusammengefügt. Dabei handelt es sich um häufig in der Literatur verwendete Verfahren, um die Stabilität und Funktion des Kniegelenkes, insbesondere nach Kreuzbandruptur, zu untersuchen und um Aussagen über die Belastbarkeit sowie im besten Falle über einen möglichen Rückkehrzeitpunkt zum Sporttreiben – zum „Return To Play“ – zu treffen. Im Rahmen des „Return to Play“ Projektes des Sporthopaedicum in Straubing und Regensburg wurde durch die Initiatoren Priv.-Doz. Dr. Thore Zantop und Diplom Sportlehrer Christian Zantop gemeinsam mit der Würzburger Arbeitsgruppe bestehend aus Dr. Kai Fehske, Prof. Dr. Olaf Hoos, David Aschenbrücker, Lukas Kreischer, Dennis Orf, Alexandra Wüstner und Lisa Will eine Testreihe konstruiert, die im Folgenden als sog. „Würzburger-Testbatterie“ aus Gründen der besseren Lesbarkeit bezeichnet wird. Beim Erstellen einer geeigneten Testbatterie wurden insbesondere die Studien von Gustavsson, Neeter, Thomeé, et al. [37], Noyes, Barber-Westin, Fleckenstein, et al. [83] und Itoh, Kurosaka, Shinichi, et al. [57] herangezogen. Ziel sollte es sein, eine gleichmäßige Verteilung auf vier unterschiedliche Anforderungsprofile zu schaffen (siehe Abbildung 6).

Würzburger Testbatterie

Maximalkraft	Schnelligkeit	Agilität	Ausdauer
1. HFD	4. F8T	6. MAT	9. SHT
2. VJ	5. UDT	7. SRC	10. SDT
3. DJ		8. SRS	

Abbildung 6: Übersicht der Profilverteilung der „Würzburger Testbatterie“ und Reihenfolge der absolvierten Tests (Nummerierung) (eigene Darstellung).

Dafür wurden die beiden als Maximalkrafttests beschriebenen Sprungtests Hop for Distance (HFD) und Vertical Jump (VJ) sowie der als Ausdauer test beschriebene Side Hop Test (SHT), welche Studien zufolge besonders gut zwischen verletztem und gesundem Bein bei VKB-Patienten differenzieren konnten, den entsprechenden Gruppen zugeordnet [37]. Um

ein weiteres Testverfahren für den Bereich Maximalkraft handelte es sich beim Drop Jump [83]. Des Weiteren stellte der Step Down Test (SDT) einen zusätzlichen Test für die Kategorie Ausdauer dar [65]. Weitere aufgenommene Sprungtests stammten aus dem Functional-Ability-Test (FAT) nach Itoh, Kurosaka, Shinichi, et al. [57], welcher vier Sprungtests umfasst. Neben dem HFD und SHT, die bereits aufgeführt sind, wurde die Batterie um den Figure of Eight Test (F8T) und den Up Down Hop Test (UDT) erweitert. Da bei diesen beiden Tests die benötigte Zeit für die Bewältigung der Aufgabenstellung im Vordergrund stand, wurden die beiden Tests der Kategorie Schnelligkeit zugeordnet. Die Gruppe der Agilitätstests wurde gebildet aus dem Modified Agility T-Test [49, 78] sowie dem Shuttle Run Circle (SRC) und dem Shuttle Run Stop (SRS) nach Barber, Noyes, Mangine, et al. [10]. Im Rahmen dieser Tests wurde insbesondere die Fähigkeit zu schnellen Richtungswechseln getestet, was in Spielsportarten eine zum Teil entscheidende Rolle spielt [13].

Der genaue Ablauf der einzelnen Testverfahren und deren erhobene Messgrößen werden in den dazugehörigen Kapiteln 2.7.1 - 2.7.10 erläutert. Für alle Probanden wurde die gleiche Reihenfolge der Testbatterie festgelegt (siehe Abbildung 6). Bei allen Tests, die mittels einbeiniger Sprünge auszuführen waren, wurde das linke Bein als Startbein definiert. Dies galt somit für den HFD, VJ, F8T, UDT, SHT und SDT. Der genaue Ablauf für die übrigen Tests wird bei der jeweiligen Beschreibung speziell erläutert. Falls nicht anders beschrieben, gilt zudem die im Fließtext als „Grundkörperhaltung“ (GKH) beschriebene Körperhaltung als Voraussetzung für einen als gültig gewerteten Versuch. Dieser zufolge mussten beide Arme während der Testausführung hinter dem Rücken verschränkt gehalten werden. Die Testbatterie wurde immer von Probandengruppen, bestehend aus zwei bis maximal vier Personen, gleichzeitig durchlaufen, was jeweils Pausen von etwa drei Minuten zwischen den einzelnen Tests sowie einem Wechsel des Beines sicherstellte und als Erholungsphase für den Probanden diente.

Sofern keine Lichtschranken oder das Optojump-Messsystem (Microgate, Bolzano, Italien) verwendet wurden, wurde die Zeit von zwei Versuchsleitern per Stoppuhr ermittelt und der Mittelwert gebildet. Zur Ermittlung der Patientendaten in Straubing erfolgte die Messung beim VJ und DJ sowie beim F8T mit einem Niedersprung Testgerät der Firma Sportservice Dr. Gerald Voß, Doberschütz.

Die erzielten Messergebnisse wurden auf einem Datenblatt (siehe Kapitel 10.6) erfasst.

2.7.1 Hop for Distance (HFD)

Den Auftakt der Testbatterie bildete der einbeinige HFD (siehe Abbildung 7). Dabei handelt es sich um ein gängiges Testverfahren zur Untersuchung von Seitendifferenzen der unteren Extremitäten mit hoher Sensitivität und Reliabilität [37, 57, 59, 116]. Dieser horizontale einbeinige Sprung testet insbesondere die anterior-posteriore Stabilität im Kniegelenk sowie die Stabilität der Beinachse bei einer Landung bzw. nach Abstoppbewegungen. Oftmals ist er das einzige in der Praxis verwendete funktionelle Testverfahren, um die Sportfreigabe nach Kreuzbandverletzung zu erteilen [91].



Abbildung 7: Absprung-, Flug- und Landephase des HFD.

Die Probanden starteten in einem mit Klebeband markierten Startfeld. Aufgabe war es, so weit wie möglich zu springen. Anders als bei Gustavsson, Neeter, Thomeé, et al. [37] war es den Probanden nicht erlaubt mit dem frei hängenden Bein zu schwingen und somit Schwung zu holen [59]. Dies war nur durch Beugen des Sprungbeines erlaubt. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass das aktuelle Sprungbein möglichst isoliert gemessen wurde. Es galt zudem die GKH. Ebenso waren eine stabile Landung und ein Halten dieser Position für mindestens zwei Sekunden Voraussetzung für die Gültigkeit des Versuches. Ein Korrektursprung im Anschluss sowie ein Absetzen des Beines der Gegenseite waren nicht gestattet. Jeder Proband hatte fünf Probesprünge je Bein. Daraufhin folgten je drei gewertete Sprünge pro Seite. Die Sprungweite, gemessen von der Absprungmarkierung bis zur Ferse, wurde mit einem Lasermessgerät der Marke Bosch (Gerlingen, Deutschland) bzw. per Hand mit einem Maßband erfasst. In die Auswertung ging der beste gültige Versuch ein.

2.7.2 Vertical Jump (VJ)

Der VJ testete die maximale vertikale Sprungkraft. Es erfolgte die Ermittlung der Sprunghöhe. Zum Erheben dieser Sprunghöhe wurde im Sportzentrum der Universität Würzburg ein Optojump Messsystem verwendet. Sowohl dieses als auch das in Straubing verwendete System ermittelten die Flugzeit zwischen Absprung und Landung, um daraus mittels folgender Formel die exakte Sprunghöhe zu berechnen [108].

$$\text{Sprunghöhe} = \frac{g \cdot T_v^2}{8} \quad \text{mit Flugzeit } T_v \text{ und Erdbeschleunigung } g$$

Eine Darstellung des Sprungtests in Würzburg zeigt Abbildung 8. Ausgangsposition war ein Einbeinstand des Sprungbeines mit einem Hüftwinkel von 180° in Extension dieser Seite. Das kontralaterale Bein wurde in 90° Flexion des Kniegelenkes sowie ebenfalls 180° Extension im Hüftgelenk gehalten. Es galt die GKH. Bei der Durchführung handelte es sich um einen sogenannten vertikalen Countermovement–Jump, bei welchem Absprung und Landung innerhalb des Feldes zwischen den beiden Messeinheiten erfolgten. Dabei war es den Probanden gestattet ihren Körperschwerpunkt durch Beugen des Sprungbeines im Kniegelenk abzusenken um dadurch Schwung zu holen. Während der Flugphase mussten sowohl das obere Sprunggelenk als auch Knie- und Hüftgelenk vollständig gestreckt werden. Erfolgte dies nicht, wurde der Versuch als ungültig gewertet. Nach jeweils zwei Probesprünge begann der Wertungsdurchlauf. Gewertet wurde nach dem „Best-of-Three-Modell“ der beste Versuch je Seite.



Abbildung 8: Absprungphase, Flugphase und Landung des VJ.

2.7.3 Drop Jump (DJ)

Beim DJ handelt es sich um eine plyometrische Übung, d. h. ein Muskel, z. B. der M. quadriceps femoris, wird zunächst einer Dehnung ausgesetzt, bevor er, wie hier nach dem Niedersprung, beim reaktiven Absprung direkt angespannt wird [72]. Messziele dieses beidbeinigen Sprungtests waren die Sprungeffizienz und damit die maximale Sprungkraft. Er stellt die Anforderungen an das Knie insbesondere bei beidbeinigen Sprüngen und Landungen aus niedriger Höhe nach. Er gilt als valider und reliabler Test und dient der neuromuskulären Kontrolle und hilft je nach Testaufbau dabei mit Verletzungen assoziierte Bewegungsmuster (z. B. eine Knievalgusstellung) aufzuzeigen [86]. Als Messvorrichtung in Würzburg diente das Optojump Messsystem. Zur Ausführung standen die Probanden mit beiden Beinen auf einem 35 cm hohen Kasten. Beide Hände wurden in die Hüfte gestützt, um ein Verfälschen der Werte durch Einfluss koordinativer Fähigkeiten zu vermeiden [72]. Der Bewegungsablauf wurde wie in Abbildung 9 dargestellt initial mit einem Schritt nach vorne gestartet, an den sich ein vertikaler Niedersprung anschloss. Direkt nach der Landung wurde ein beidbeiniger vertikaler Sprung ausgeführt, welcher prellend aus dem Sprunggelenk erfolgte [83].



Abbildung 9: Ablauf des DJ.

Während der Flugphase mussten Sprung-, Knie- sowie Hüftgelenke gestreckt werden. Mit welchem Bein der Schritt nach vorne gemacht wurde, durfte vom Probanden frei gewählt werden. Die Landung erfolgte erneut im Optojump-Messfeld. Da es sich um einen beidbeinigen Sprung handelte, gab es insgesamt nur drei Versuche während des Testdurchlaufes. Jedem Probanden wurden fünf Probedurchgänge gewährt. Erfasst wurden die Flugzeit und Stützphase.

Daraus wurde die Sprunghöhe nach dem Niedersprung, wie beim VJ (siehe Kapitel 2.7.2) beschrieben sowie der Effektivitätsquotient des Sprunges gemäß folgender Formel berechnet [40, S. 177]:

$$\text{Effektivitätsquotient} = \frac{\text{Flugzeit [ms]}^2}{\text{Stützzeit [ms]}}$$

2.7.4 Figure of Eight Test (F8T)

Beim F8T handelte es sich um den ersten Schnelligkeitstest der Testbatterie nach Itoh, Kurosaka, Shinichi, et al. [57]. Bei diesem einbeinigen Sprungtest wurden vom Probanden nach einem Startkommando auf Zeit in direkter Folge zwei Achterfiguren in einem Parcours ausgeführt. Die genauen Distanzen des Testablaufes sind Abbildung 10 zu entnehmen.

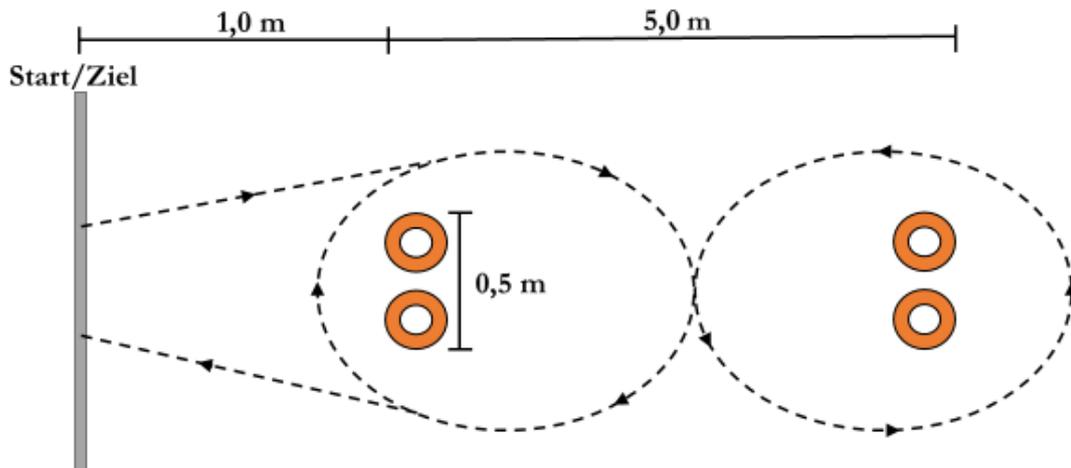


Abbildung 10: Schematischer Aufbau und Ablauf des F8T bei Start von links (eigene Darstellung).

Der Ablauf stellt vielfältige Anforderungen an das Kniegelenk. Zum einen wird die Stabilität des Kniegelenkes bei dynamischen vertikalen Einbeinsprüngen mit direkter Anschlusshandlung im Sinne von Folgesprüngen auf den jeweils geraden Strecken getestet und zum anderen dessen Stabilität bei Abstoppbewegungen, verbunden mit stark pivotierenden Bewegungen beim Wendemanöver. Um ein mögliches Verletzungsrisiko zu minimieren, wurde der Boden vor jedem Probanden von Staub befreit und die Probanden dazu angehalten die Wendebewegung mit möglichst kleinen Sprüngen zu absolvieren. Gestartet wurde auf das Startkommando „Auf die Plätze – fertig – los.“ hinter einer Linie, die nach Ausführen der Achterfiguren überquert werden musste. Es galt die GKH. Die Zeit für jeden Testdurchlauf wurde mit zwei Stoppuhren von zwei Versuchsleitern ermittelt und der Mittelwert gebildet. Jeder

Proband absolvierte zunächst einen Probedurchgang. Danach wurden jeweils zwei Versuche pro Extremität ausgeführt. Gewertet wurde die schnellere Zeit nach dem „Best-of-two“-System. Hatte das Schwungbein Bodenkontakt oder wurde die Wendemarkierung im Sinne eines „Abkürzens“ übersprungen, berührt bzw. umgeworfen, so wurde der Durchgang als Fehlversuch gewertet.

2.7.5 Up Down Test (UDT)

Beim UDT wurden EBS in Serie ausgeführt, wobei hierbei besonders die Stabilität der Beinachse bei vertikalen EBS und Landungen geprüft wird. Die Probanden wurden dazu angeleitet zehn gültige Sprünge auf einen Stepper hinauf und herunter auszuführen. Die dazu benötigte Zeit wurde erneut mittels Stoppuhren von zwei Versuchsleitern gleichzeitig gemessen und der Mittelwert gebildet. Startposition war am Boden vor dem Stepper. Gestartet wurde der Durchlauf mittels Startkommandos. Ende der Zeitnahme war der Bodenkontakt entsprechend der Landung nach dem letzten gültigen EBS. Die Ausführung konnte sowohl mit als auch ohne Stabilisierungssprung, d. h. mit jeweils nur einem Bodenkontakt („One-Touch“), erfolgen. Es galt die GKH. Um die Gültigkeit eines kompletten, gewerteten EBS zu erzielen, musste zudem die Markierungslinie auf dem 20 cm hohen Stepper, die auf Probandenseite 10 cm entfernt von der Randkante aufgeklebt war, mindestens berührt werden [57]. War dies nicht geschehen oder wurde das andere Bein bei Absprung oder Landung zu Hilfe genommen, wurde dem Probanden vom Versuchsleiter während des Durchgangs mitgeteilt einen weiteren Sprung im Sinne eines „Strafsprunges“ anzuhängen. Erst nach diesem - korrekt ausgeführt - wurde die Zeitmessung beendet. Um im Falle eines Sturzes das Verletzungsrisiko zu minimieren, wurden auf der sprungfernen Seite weiche Matten ausgelegt.

2.7.6 Modified Agility T-Test (MAT)

Beim MAT absolvierte der Proband unterschiedliche Laufaufgaben, die hohe Anforderungen an Schnelligkeit und Agilität stellen [49, 78]. Dazu gehören Side-Step-Bewegungen, Richtungswechsel und erneut die Einwirkung pivotierender Bewegungen auf das Kniegelenk. Startposition war ein Hochstart hinter einer Startmarkierung ohne vorherigen Anlauf. Da die Zeitmessung mit einem Lichtschrankensystem erfolgte, konnte der Startzeitpunkt vom Probanden festgelegt werden. Eine schematische Darstellung des Testaufbaus mit den einzelnen Distanzen zeigt Abbildung 11.

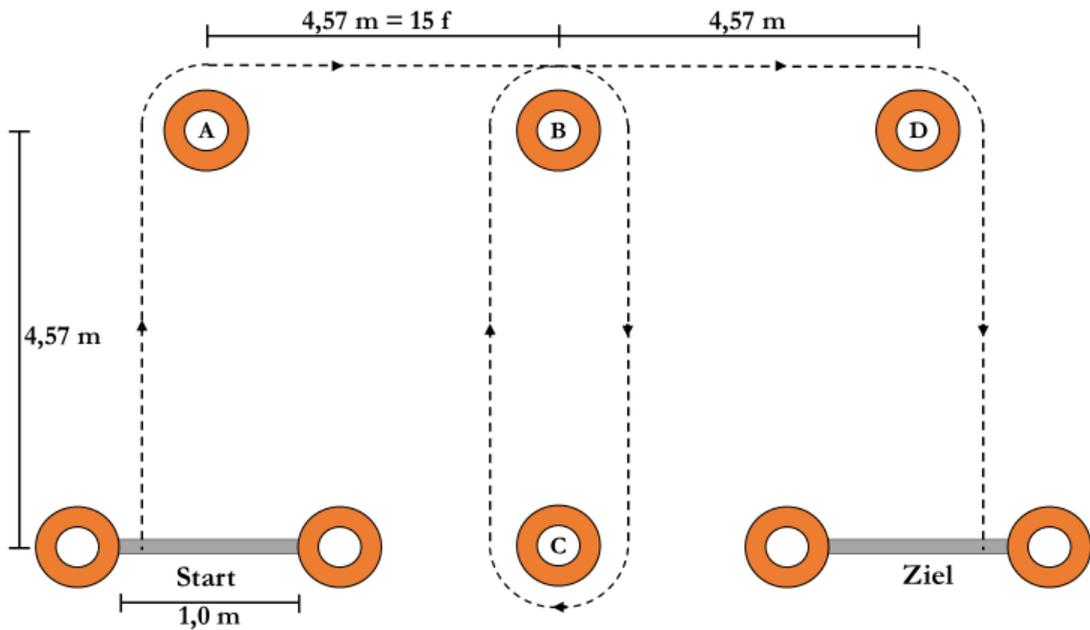


Abbildung 11: Schematischer Ablauf und Aufbau des MAT bei Start von links (eigene Darstellung nach Myer, Paterno, Ford, et al. [77; S. 396], © Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy®).

Der Start erfolgte zunächst von der linken Seite. Hierbei lag der Schwerpunkt darauf, das Abdruckbein zu messen. Folgender Ablauf für den Start von links musste eingehalten werden:

- Abschnitt 1: Vorwärtssprint von der Startlinie nach A (Berührung des Hütchens mit der rechten Hand)
- Abschnitt 2: Side-Step von A nach B (Berührung des Hütchens mit der linken Hand)
- Abschnitt 3: Rückwärtssprint von B nach C (Berührung des Hütchens mit rechts oder links möglich)
- Abschnitt 4: Vorwärtssprint von C nach B (Berührung des Hütchens mit der rechten Hand)
- Abschnitt 5: Side-Step von B nach D (Berührung mit der linken Hand)
- Abschnitt 6: Rückwärtssprint von D bis über die Ziellinie

Ausgeführt wurden jeweils zwei Durchläufe mit Start von links und zwei mit Start von rechts, wobei Start und Ziel getauscht wurden. Um den komplexen Ablauf einzustudieren wurde je ein langsamer Probedurchlauf von beiden Seiten durchgeführt. Alle Hütchen mussten immer komplett umlaufen werden und durften nicht durch einen Schritt überstiegen werden. Zudem war es nicht gestattet die Füße beim Side-Step zu überkreuzen. Geschah dies doch,

wurde der Durchgang als ungültig gewertet. Ebenfalls nicht gewertet wurde der Versuch, wenn die Basis der Hütchen nicht berührt wurde oder die Hüftachse bei den Abschnitten 1, 3, 4 und 6 nicht parallel zur Bewegungsrichtung in Abschnitt 2 und 5 war. Da der MAT mit höchstmöglicher Geschwindigkeit ausgeführt werden sollte, wurde zur Sicherheit bei den Rückwärtssprints zum mittleren Wendehütchen sowie hinter dem Zieleinlauf ein Helfer platziert, der den Probanden bei Rücklage abbremsen sollte.

2.7.7 Shuttle Run Circle (SRC)

Mit weiteren Agilitytests beschäftigten sich Barber, Noyes, Mangine, et al. [10]. Diese Richtungswechsel um 180° simulieren Bewegungsabläufe, die bei vielen Sportarten eine Rolle spielen.

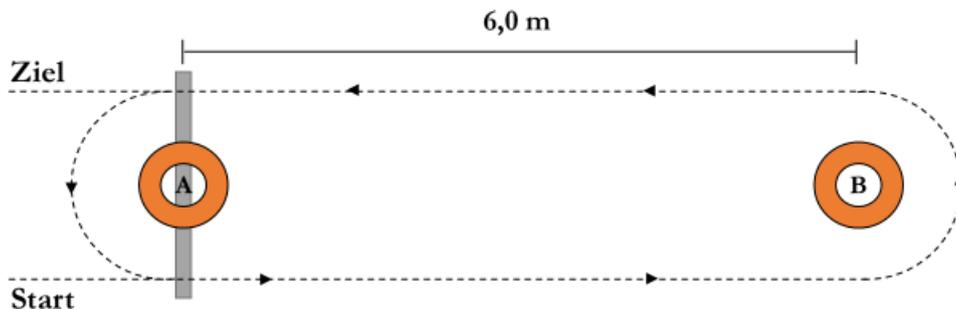


Abbildung 12: Ablauf des SRC (eigene Darstellung).

Auf ein Startkommando wurde nach einem Hochstart der SRC begonnen. Dabei wurden mit höchster Geschwindigkeit zwei Rundläufe absolviert, wobei zunächst Pylone B, dann Pylone A und anschließend erneut Pylone B umlaufen werden musste (siehe Abbildung 12). Das Ziel lag auf Seite der Pylone A. Beide Pylonen waren im Abstand von sechs Metern zueinander positioniert. Insgesamt wurde somit eine Distanz von 24 m mit drei Wendungen absolviert. Gestartet wurde beim ersten Durchlauf rechts der Pylone A. Die erste Laufrichtung erfolgte dann gegen den Uhrzeigersinn. In dessen Folge war das linke Bein bei den Wendungen näher zu den Pylonen und wurde als gemessenes Bein gewertet. Es folgte ein zweiter Durchlauf von rechts. Anschließend zwei Testläufe mit Start links der Pylone. Das Endergebnis wurde aus den unabhängigen handgestoppten Messungen zweier Versuchsleiter gemittelt.

2.7.8 Shuttle Run Stop (SRS)

Beim SRS handelte es sich ebenfalls um einen Test aus der Studie von Barber, Noyes, Mangine, et al. [10]. Der Proband führte eine Abfolge kurzer Antritte über eine Distanz von sechs Metern Länge mit abrupten Abstoppbewegung und Richtungswechseln um 180° aus. Insgesamt wurde pro Durchgang eine Distanz von 24 m in möglichst kurzer Zeit zurückgelegt und somit drei Wendungen ausgeführt. Startpunkt war die Klebebandmarkierung B (siehe Abbildung 13). Bei jedem der drei Richtungswechsel pro Durchlauf mussten die genannten Klebemarkierungen jeweils mit dem äußeren Fuß mindestens berührt oder überschritten werden. Für die ersten beiden Wertungsläufe bedeutete dies ein Überschreiten bzw. Berühren mit dem linken Fuß. Bei Durchgang drei und vier immer mit dem rechten Fuß. Blieb der Kontakt aus oder wurde die Markierung mit dem falschen Fuß überschritten so wurde der Durchgang als ungültig gewertet. Die Zeiterfassung erfolgte analog zur SRC Messung.

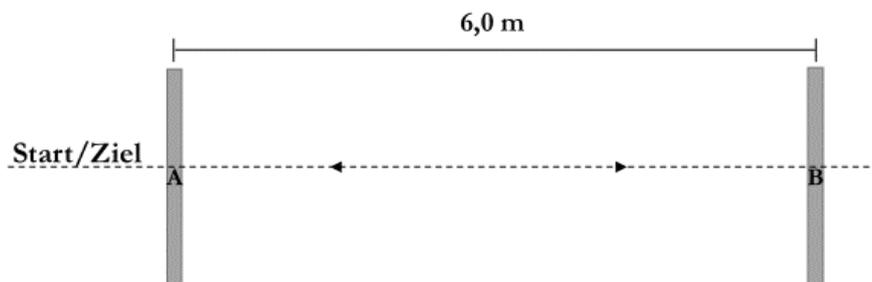


Abbildung 13: Ablauf des Shuttle Run Stop (eigene Darstellung).

2.7.9 Side Hop Test

Der SHT war einer der beiden verwendeten Kraftausdauer tests. Während der vorgegebenen Zeit von 30 Sekunden absolvierte der Proband so viele horizontale EBS wie möglich. Es galt die GKH. Dabei bestand die Aufgabe darin, ein von zwei parallelen Linien begrenztes Feld zu überspringen, deren Abstand anhand des ermittelten BMIs und der gesamten sportlichen Aktivität vorab festgelegt wurde und je nachdem zwischen 25 cm und 40 cm betrug (siehe Kapitel 10.5). Die beiden Markierungen konnten nach individuellen Fähigkeiten in einer One-Touch-Technik übersprungen werden oder auch nach Stabilisierungssprüngen. Gezählt wurde nur das offensichtliche Überspringen. Mittels Klickzähler wurden von einem

Versuchsleiter die gesamten Sprünge – ohne Stabilisierungssprünge – gezählt. Von einem Weiteren wurde die Anzahl der ungültigen Sprünge festgehalten. Diese ungültigen Sprünge wurden definiert als solche, bei denen die Klebmarkierungslinie nicht komplett übersprungen bzw. berührt wurde oder das kontralaterale Bein bei der Landung abgesetzt wurde. Ein Beispiel für einen gültigen Sprung zeigt Abbildung 14.



Abbildung 14: Side-Hop-Test.

Aufgrund der hohen Ermüdung der Muskulatur während dieses Sprungtests, unter Berücksichtigung der ebenfalls vorhandenen Vorermüdung durch die bis zu diesem Zeitpunkt absolvierten Tests, gab es pro Extremität nur einen Durchgang [37]. Ein Wiederholungsversuch wurde jedoch gewährt, wenn die Anzahl der ungültigen Sprünge über 25 % der Gesamtzahl der absolvierten Einzelsprünge betrug. Somit ergab sich für die gewertete Sprunganzahl folgende Berechnung:

$$\text{Sprunganzahl [Gültige]} = \text{Gesamtanzahl [Einzelsprünge]} - \text{Anzahl [Ungültige]}$$

2.7.10 Step Down Test (SDT)

Beim SDT werden insbesondere die Muskelausdauer des M. quadriceps femoris und des M. gluteus maximus sowie die Stabilität der Beinachse mit zunehmender Ermüdung geprüft. Der Proband stand einbeinig auf einem Stepper der Höhe 20 cm [65]. Es galt die GKH. Aufgabe war es mit dem gestreckten kontralateralen Bein Bodenkontakt mit der Ferse herzustellen. Um dies zu erreichen wurde das Standbein gebeugt. Anschließend wurde dieses wieder gestreckt und mit dem freien Bein ein zweiter Stepper mit einer Höhe von 30 cm, der sich hinter dem ersten Stepper befand, mit der Ferse berührt. Dies diente dem Probanden

sowohl als taktiler als auch als auditiver Reiz. Dieser Ablauf galt als eine gültige Wiederholung. Innerhalb von 30 Sekunden sollten möglichst viele Wiederholungen korrekt durchgeführt werden. Pro Extremität gab es nur einen Durchgang. Getestet wurde das Standbein. Ungültig gewertet wurde eine Wiederholung bei Absetzen des kompletten Fußes, Bodenkontakt des frei schwingenden Beines oder wenn kein Kontakt zum hinteren Stepper hergestellt wurde. Ein Wiederholungsversuch wurde nach dem gleichen Prinzip wie beim o. g. SHT gewährt. Die Berechnung gültiger Wiederholungen erfolgte analog zum SHT.

2.8 Limb Symmetry Index (LSI)

Der Limb bzw. Leg Symmetry Index wird häufig als Bewertungskriterium einbeiniger funktioneller Tests herangezogen. Dabei werden in Bezug auf Kreuzbandpatienten das gesunde und verletzte Bein durch erreichte Testergebnisse ins Verhältnis gesetzt und bewertet, ob es sich dabei um normale oder abnormale Werte handelt. Bei Patienten wurde folgende Formel für Tests verwendet, die eine Sprungweite, -höhe oder -anzahl erfassen (Ziel: Erreichung möglichst hoher Testwerte):

$$LSI [\%] = \frac{Testergebnis_{verletzt}}{Testergebnis_{gesund}} \times 100$$

Bezüglich des in der vorliegenden Studie getesteten gesunden Probandenkollektivs erfolgte die Errechnung wie folgt [59] (Ziel: Erreichung möglichst hoher Testwerte):

$$LSI [\%] = \frac{Testergebnis_{schwaches Bein}}{Testergebnis_{starkes Bein}} \times 100$$

Die äquivalente Formel für Tests mit Zeiterfassung für Patienten lautete (Ziel: Erreichung möglichst niedriger Testwerte):

$$LSI [\%] = \frac{Testergebnis_{gesund}}{Testergebnis_{verletzt}} \times 100$$

Die Formel für Tests mit Zeiterfassung für gesunde Probanden lautete analog (Ziel: Erreichung möglichst niedriger Testwerte):

$$LSI [\%] = \frac{Testergebnis_{starkes Bein}}{Testergebnis_{schwaches Bein}} \times 100$$

2.9 Statistische Analyse

Die Eingabe der Rohdaten erfolgte zunächst mit MS Exel. Die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde anschließend mit der Statistiksoftware „SPSS Statistics 18“ durchgeführt.

Soweit nicht anders angegeben, wurden Varianzanalysen (ANOVA) als inferenzstatistische Testverfahren verwendet. Die durchgeführten Varianzanalysen verwenden das partielle Eta Quadrat als Maß für die Effektstärke. In Anlehnung an den methodischen Ansatz von Uhorchak, Scoville, Williams, et al. [121], wurde eine multiple Regression zur Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Prädiktorvariablen (bspw. Zeitpunkt seit Operation) auf den LSI verwendet. Regressionsmodelle kamen ebenfalls bei Cristiani, Mikkelsen, Edman, et al. [22] zum Einsatz. Sie untersuchten verschiedene Prädiktoren in Zusammenhang mit der Patientenzufriedenheit mit dem eigenen Knie zwei Jahre nach VKB-Ruptur im Rahmen des KOOS Scores Aufgrund des explorativen Charakters der ausgeführten Analysen wurde die Methode „Vorwärts“ zur Modellbildung in der multiplen Regression verwendet. Als Niveau für statistische Signifikanz wurde $p < ,05$ festgelegt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Gesunde Probanden

3.1.1 Deskriptive Statistik - Auswertung der Fragebögen und der körperlichen Untersuchung

Tegner Score

Zur Erhebung des Levels der sportlichen Leistung erfolgte eine Erhebung des Aktivitätsstatus nach Tegner und Lysholm (siehe 2.4.6).

Sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Probanden geben über 50 % an, Aktivitäten entsprechend den Anforderungen einer Sportart auf Wettkampfebene auszuführen. Dies entspricht mindestens einem Level 7. Niemand übt eine Sportart auf höchstem Aktivitätslevel im Bereich des Hochleistungssports aus (siehe Abbildung 15).

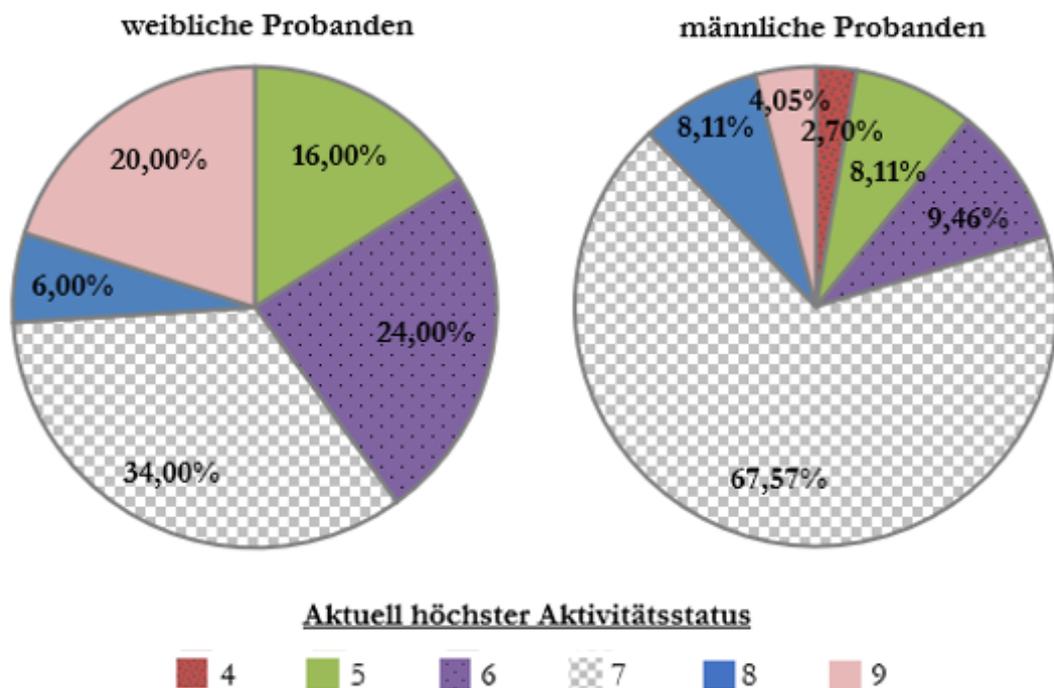


Abbildung 15: Aktuelle Aktivitätsscores nach Tegner und Lysholm der weiblichen (N = 50) und männlichen (N = 74) Probanden.

Beighton Score

Der zur Erfassung von Hypermobilität erhobene Beighton Score zeigt, dass die gesunden weiblichen Probanden im Mittel eine Hypermobilität aufweisen. Genauer betrachtet werden 30 % der Frauen als moderat und 32 % als generalisiert hypermobil klassifiziert. Die männlichen Probanden hingegen weisen keine übermäßige Beweglichkeit auf (siehe Abbildung 16). Insgesamt 80,8 % der Männer haben einen normalen Score ohne Hinweis für Hypermobilität. Lediglich vier der Männer (5,5 %) werden mit einem erzielten Punktwert von sieben als generalisiert hypermobil eingestuft.

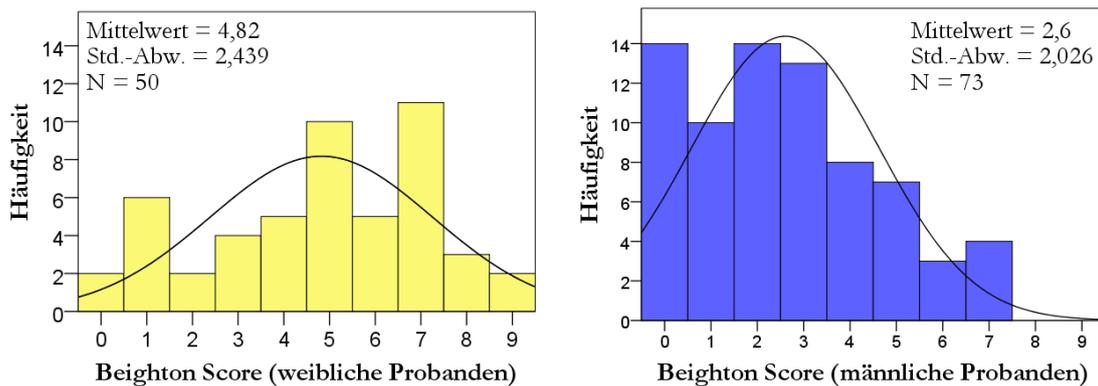


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung des Beighton Scores weiblicher und männlicher Probanden (inkl. Normalverteilungsannäherung).

Lysholm Score

Mit einem Gesamtscore nahe dem maximal erreichbaren Wert von 100 Punkten (Männer: $M = 97,20$, $SD = 5,62$; Frauen: $M = 97,20$, $SD = 4,06$) geben sowohl die weiblichen ($N = 50$) als auch die männlichen Probanden ($N = 74$) zum Großteil keinerlei Funktionseinschränkung an. Der niedrigste Wert wird von einem männlichen Probanden angegeben und liegt bei 75 Punkten. Insgesamt kommen 8,1 % der Männer auf einen Wert von unter 80. Bei den Frauen wird kein Wert unter 85 Punkte erzielt. Für Abweichungen ist v. a. die Kategorie „Schmerzen“ verantwortlich. Insgesamt geben 22,6 % aller gesunden Probanden ($N = 124$) hier Abweichungen an, wobei diese mehrheitlich (19,6 %) als „unregelmäßig und gering während schwerer Anstrengung“ beschrieben werden. Drei Probanden geben an „deutlich/ausgeprägte Schmerzen während schwerer Anstrengung“ zu haben und eine weitere Person berichtet von „deutlichen Schmerzen während oder nach dem Gehen von mehr als zwei Kilometern“. Die Kategorie „Instabilität“ führt am zweithäufigsten zu einer

Herabsetzung des Scores. Hierbei berichten die meisten (10,5 %) von einem „giving way“ selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung“. Jedoch geben auch drei Patienten an gelegentlich oder oft während Tätigkeiten des Alltags ein „giving way“-Phänomen zu haben.

KOOS

Im mittels Auszug aus dem Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) ermittelten Subscore der Kategorie „Sport und Freizeit“ (Sport/Rec) zeigt sich, dass sowohl die weiblichen ($M = 97,00$, $SD = 8,28$, $n = 45$) als auch männlichen Probanden ($M = 98,31$, $SD = 4,43$, $n = 62$) erwartungsgemäß im Mittel keine Schwierigkeiten bezüglich der abgefragten Kniefunktionen in der Woche vor der Testung haben. Zwei Probandinnen erreichen einen Score von unter 65 Punkten, wobei laut deren Angabe insbesondere Beschwerden während des „sich Hinkniens“ zu diesen Werten führen.

IKDC

Aufgrund der Referenzstichprobe gesunder Probanden und einer eingeschränkten Auswahl an Items des IKDC kann der Score zur subjektiven Beurteilung des Knies nicht berechnet werden.

3.1.2 Auswertung hinsichtlich der Dominanz – gesunde Probanden

Muskelumfänge

Die im Rahmen der körperlichen Eingangsuntersuchung erhobenen Differenzen der Muskulatur der unteren Extremität im Abstand von 15 cm am Unterschenkel, 10 cm und 20 cm am Oberschenkel zum medialen Gelenkspalt sind in Tabelle 4 aufgeführt. Hierbei finden sich bei Männern und Frauen im Mittel absolute Unterschiede zwischen 0,48 cm bis 0,97 cm, wobei im Mittel größere Abweichungen am Oberschenkel gemessen werden. Bei Gesunden finden sich auch größere Differenzen. Zehn (9,5 %) Männer weisen an der 10 cm Marke des Oberschenkels abweichende Werte größer als 2 cm auf. Hinsichtlich der relativen Muskeldifferenz bezogen auf das jeweilige Bein mit dem als größer gemessenen Umfang finden sich im Mittel Unterschiede im Bereich von zwei Prozent.

Tabelle 4: Deskriptiva zu absoluten (abs) und relativen (rel) Muskeldifferenzen an Unter- (US) und Oberschenkel (OS) der unteren Extremität männlicher und weiblicher Probanden.

Muskeldifferenz (Abstand zum medialen Gelenkspalt)		männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
		M	SD	Max	M	SD	Max
US (15 cm)	abs [cm]	0,60	0,52	2,50	0,48	0,45	1,60
	rel [%]	1,58	1,36	6,31	1,37	1,30	5,03
OS (10 cm)	abs [cm]	0,89	0,79	3,70	0,82	0,68	2,80
	rel [%]	2,07	1,74	7,27	2,02	1,63	6,56
OS (20 cm)	abs [cm]	0,97	0,77	2,90	0,94	0,75	3,30
	rel [%]	1,87	1,46	5,88	1,89	1,51	6,18

Abbildung 17 stellt graphisch dar, in wie vielen Fällen eines der beiden Beine, bei den drei an o. g. Stellen erfolgten Messungen, einen größeren Muskelumfang aufweist bzw. wie häufig es keine Unterschiede gibt. Eine muskuläre Beindominanz über alle drei Messungen hinweg findet sich bei 17 Probanden für das rechte und bei 25 Probanden für das linke Bein.

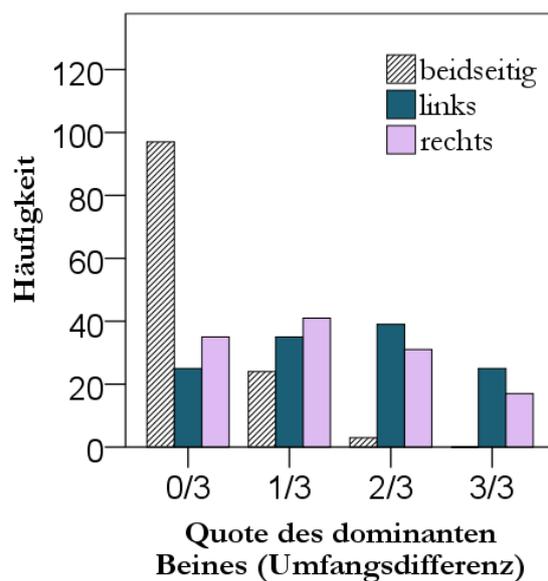


Abbildung 17: Beindominanz hinsichtlich der Muskeldifferenzen der unteren Extremitäten aller Probanden (N = 124).

LPI

Zur Erfassung der vom Probanden bevorzugten Seite wurde der Lateralitäts-Präferenz-Inventar angewandt. Dieser wurde von 118 Probanden vollständig ausgefüllt. Bei der isolierten Betrachtung der Fragenkategorie „Fuß“ fällt auf, dass der Großteil der Probanden mit 83% der Fälle die rechte Seite zur Erfüllung der beschriebenen Aufgaben bevorzugt (siehe Abbildung 18).

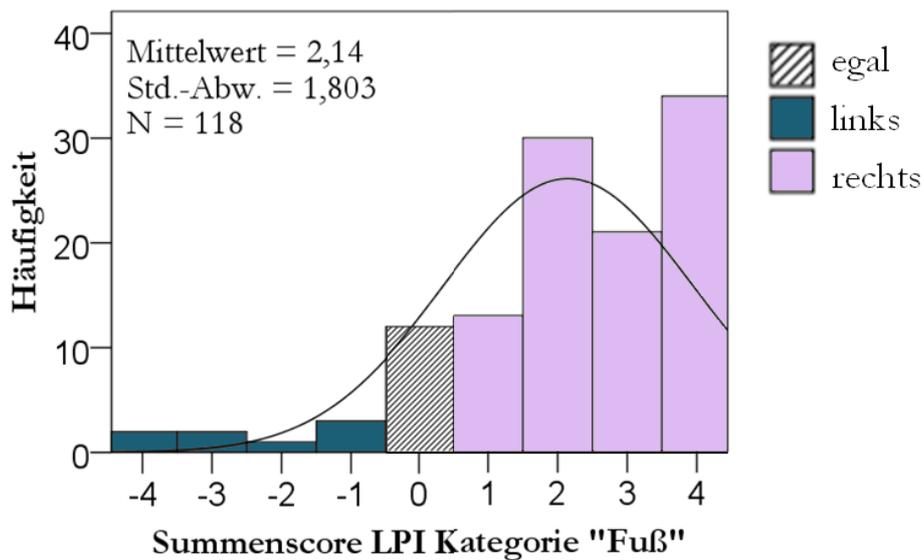


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der erzielten Summenscores der LPI Fragenkategorie „Fuß“ hinsichtlich der bevorzugten Seite. Linkskongruent = Werte <0, egal = Wert 0, rechtskongruent = Wert >0.

Abschneiden in den Sprungtests

Die nähere Betrachtung der sechs einbeinigen Tests (ohne Wertung des DJ und der Agilitätstests) zeigt, dass nur bei einem sehr geringen Anteil der Probanden das linke oder das rechte Bein ein besseres Resultat in diesen sechs Tests erzielt (siehe Abbildung 19). Der Großteil der Probanden weist somit keine eindeutige Dominanz hinsichtlich einer Seite auf. Eine komplette Seitengleichheit (entsprechend einem LSI von 100 %) wird lediglich in maximal zwei von sechs der betrachteten Tests erzielt. Zehn Probanden werden von der Auswertung ausgeschlossen, da nicht für alle sechs Tests Sprungergebnisse vorliegen.

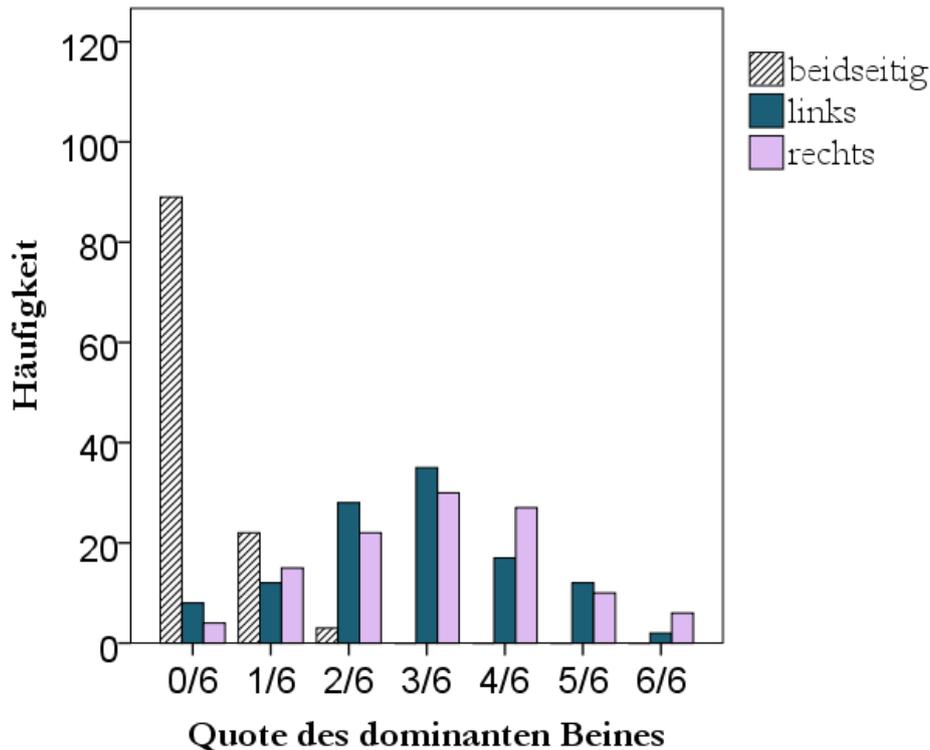


Abbildung 19: Abschneiden der Probanden ($n = 114$) hinsichtlich der Beindominanz im HFD, VJ, F8T, UDT, SHT und SDT.

3.1.3 Sprungtestergebnisse gesunder Probanden

Im Folgenden findet sich eine detaillierte Auswertung der Resultate der Testbatterie aller gesunden Probanden getrennt nach Geschlecht bezüglich maximaler und minimaler Sprungweiten, -höhen, benötigter Zeit und absolvierter Durchgänge (siehe Tabelle 5). In Tabelle 5 werden ebenfalls verschiedene testspezifische Perzentile sowie der Median geschlechterspezifisch aufgeführt. Die Ergebnisse des DJ werden am Ende des Kapitels isoliert betrachtet, da aufgrund der beidbeinigen Ausführung keine Ermittlung des LSI möglich ist.

In die Auswertung gehen die Ergebnisse der $N = 124$ in Würzburg getesteten Probanden ein. Über den Verlauf der Testbatterie hinweg kommt es zu fehlenden Testergebnissen von fünf männlichen und drei weiblichen Probanden. Gründe dafür sind ein Abbruch der Ausführung in zwei Fällen durch Männer aufgrund von Übelkeit und Kreislaufbeschwerden sowie durch je einen Mann und einer Frau aufgrund von unspezifischen Schmerzen im Sprunggelenk. In je zwei Fällen der weiblichen und männlichen Probanden werden die Kriterien für ein gültiges Testergebnis nicht erfüllt.

Absolute Testergebnisse

Die Betrachtung der absolut erzielten Testergebnisse im HFD und VJ zeigt, dass Männer, entsprechend den Erwartungen, im Mittel sowohl weiter als auch höher springen als Frauen. Analoges gilt für die Tests aus den Bereichen Schnelligkeit und Agilität hinsichtlich des besseren Abschneidens, im Sinne einer kürzeren benötigten Zeit, der männlichen Probanden. Einzig bei der Anzahl absolut gültiger Wiederholungen im SDT schneiden Männer und Frauen im Mittel gleich ab.

LSI

Obwohl in jedem Test mindestens einmal ein LSI von 100 % oder annähernd erzielt wurde, sind insbesondere die minimalen LSI-Werte auffällig. Beispielsweise werden beim VJ von gesunden männlichen Probanden nur Werte von 73,68 % Symmetrie erreicht, bei Frauen nochmals weniger mit 68,85 %. Ebenfalls finden sich sehr niedrige LSI-Resultate bei beiden Geschlechtern beim UDT sowie bei den beiden Kraftausdauertests SHT und SDT. Eine ausführliche Darstellung und Auswertung des LSI folgt im weiteren Verlauf (siehe Kapitel 3.1.4).

Tabelle 5: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse (ausgenommen DJ) gesunder Probanden getrennt nach Geschlecht.

<u>HFD</u>	männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
	Kennwert	li [cm]	re [cm]	LSI [%]	li [cm]	re [cm]
<i>M</i>	158,13	156,33	94,50	129,73	129,90	93,24
<i>SD</i>	22,14	20,10	4,42	17,23	16,04	5,11
<i>Min</i>	95,00	104,00	81,13	86,00	88,00	80,92
<i>Max</i>	206,00	209,20	100,00	160,00	152,20	100,00
<i>5. Perz.</i>	124,75	125,60	83,65	94,91	91,79	82,30
<i>25. Perz.</i>	140,85	142,00	92,68	121,30	124,23	91,67
<i>Median</i>	159,65	157,50	95,77	131,05	131,50	94,24
<i>75. Perz.</i>	174,08	169,20	97,99	143,13	142,33	97,30
<i>95. Perz.</i>	198,88	192,25	99,84	155,62	150,90	99,12

<u>VI</u>	männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
	Kennwert	li [cm]	re [cm]	LSI [%]	li [cm]	re [cm]
<i>M</i>	18,63	18,04	90,83	12,56	12,71	89,17
<i>SD</i>	3,47	3,40	6,95	2,84	2,50	8,25
<i>Min</i>	9,20	10,50	73,68	8,40	8,50	68,85
<i>Max</i>	25,90	25,30	100,00	19,60	19,40	100,00
<i>5. Perz.</i>	13,00	12,03	76,35	8,61	8,86	70,32
<i>25. Perz.</i>	16,40	16,20	85,82	10,05	10,98	84,04
<i>Median</i>	18,50	17,70	91,74	11,80	12,35	91,06
<i>75. Perz.</i>	21,00	19,60	96,95	14,75	14,03	95,93
<i>95. Perz.</i>	24,78	24,20	99,65	17,53	18,19	99,65

<u>F8T</u>	männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
	Kennwert	li [sek]	re [sek]	LSI [%]	li [sek]	re [sek]
<i>M</i>	9,58	9,55	96,08	11,03	11,00	96,95
<i>SD</i>	0,82	0,72	2,93	1,11	0,93	2,45
<i>Min</i>	8,22	8,14	85,02	9,58	9,24	87,56
<i>Max</i>	12,55	12,06	99,89	15,19	13,30	99,75
<i>5. Perz.</i>	8,50	8,39	90,53	9,76	9,60	92,33
<i>25. Perz.</i>	9,01	9,14	94,64	10,19	10,36	95,41
<i>Median</i>	9,48	9,51	96,54	10,87	10,89	97,41
<i>75. Perz.</i>	10,02	10,00	98,00	11,50	11,63	98,90
<i>95. Perz.</i>	10,98	10,74	99,69	13,27	12,94	99,53

<u>UDT</u>	männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
Kennwert	li [sek]	re [sek]	LSI [%]	li [sek]	re [sek]	LSI [%]
<i>M</i>	7,82	7,52	92,48	8,82	8,42	93,20
<i>SD</i>	0,89	0,84	5,24	1,49	0,88	6,70
<i>Min</i>	5,92	5,72	75,24	6,81	6,78	68,19
<i>Max</i>	10,50	9,67	99,87	16,00	10,91	100,00
<i>5. Perz.</i>	6,48	6,05	82,24	7,25	7,18	77,08
<i>25. Perz.</i>	7,30	6,91	89,54	7,84	7,82	89,69
<i>Median</i>	7,70	7,43	92,95	8,72	8,26	95,52
<i>75. Perz.</i>	8,26	7,98	96,88	9,19	8,79	97,71
<i>95. Perz.</i>	9,80	9,07	98,93	11,57	10,25	99,75

<u>MAT</u>	männlich (N = 74)			weiblich (N = 50)		
Kennwert	li [sek]	re [sek]	LSI [%]	li [sek]	re [sek]	LSI [%]
<i>M</i>	9,70	9,70	96,57	11,08	10,99	96,44
<i>SD</i>	0,56	0,59	2,48	0,76	0,82	2,79
<i>Min</i>	8,42	8,09	89,79	9,68	9,34	88,09
<i>Max</i>	11,05	11,20	100,00	13,38	12,78	99,81
<i>5. Perz.</i>	8,89	8,84	91,56	9,74	9,85	91,03
<i>25. Perz.</i>	9,29	9,30	95,07	10,62	10,40	94,48
<i>Median</i>	9,57	9,60	96,85	11,00	10,93	97,08
<i>75. Perz.</i>	10,02	10,07	98,76	11,53	11,57	98,66
<i>95. Perz.</i>	10,87	10,90	99,65	12,71	12,63	99,67

<u>SRC</u>	männlich			weiblich		
	Kennwert	li [sek]	re [sek]	LSI [%]	li [sek]	re [sek]
<i>n</i>	71	72	71	50	50	50
<i>M</i>	7,31	7,31	97,88	8,08	8,08	98,31
<i>SD</i>	0,34	0,32	1,78	0,49	0,49	1,44
<i>Min</i>	6,52	6,59	90,54	7,38	7,28	92,11
<i>Max</i>	8,56	8,17	100,0	9,59	9,53	100,00
<i>5. Perz.</i>	6,78	6,84	94,40	7,41	7,32	95,56
<i>25. Perz.</i>	7,11	7,11	97,12	7,68	7,72	97,67
<i>Median</i>	7,28	7,28	98,17	8,01	7,99	98,36
<i>75. Perz.</i>	7,47	7,47	99,20	8,33	8,37	99,63
<i>95. Perz.</i>	8,07	7,98	100,00	9,21	9,30	100,00

<u>SRS</u>	männlich			weiblich		
	Kennwert	li [sek]	re [sek]	LSI [%]	li [sek]	re [sek]
<i>n</i>	71	71	71	50	50	50
<i>M</i>	6,65	6,58	96,93	7,37	7,33	97,52
<i>SD</i>	0,31	0,33	2,46	0,46	0,48	1,91
<i>Min</i>	5,87	5,78	90,03	6,65	6,54	92,04
<i>Max</i>	7,33	7,47	100,00	8,78	8,78	100,00
<i>5. Perz.</i>	6,17	6,09	91,56	6,75	6,71	92,64
<i>25. Perz.</i>	6,43	6,37	95,32	7,03	7,07	96,68
<i>Median</i>	6,62	6,54	97,55	7,25	7,20	97,81
<i>75. Perz.</i>	6,91	6,78	98,94	7,63	7,50	98,98
<i>95. Perz.</i>	7,16	7,22	99,85	8,45	8,49	99,92

<u>SHT</u>	männlich			weiblich		
	Kennwert	li	re	LSI [%]	li	re
<i>n</i>	72	72	72	49	47	47
<i>M</i>	61,00	61,86	91,48	49,88	52,55	89,98
<i>SD</i>	7,26	6,65	6,32	11,13	9,68	8,22
<i>Min</i>	43,00	39,00	70,77	31,00	34,00	60,00
<i>Max</i>	75,00	73,00	100,00	77,00	76,00	100,00
<i>5. Perz.</i>	47,65	49,65	77,32	34,00	36,40	73,26
<i>25. Perz.</i>	57,00	58,00	86,69	42,00	44,00	85,00
<i>Median</i>	62,00	62,50	92,57	48,00	53,00	90,91
<i>75. Perz.</i>	66,00	67,00	96,77	57,50	59,00	96,72
<i>95. Perz.</i>	72,00	71,35	99,08	70,50	73,20	100,00

<u>SDT</u>	männlich			weiblich		
	Kennwert	li	re	LSI [%]	li	re
<i>n</i>	70	69	69	47	50	47
<i>M</i>	20,70	21,22	88,37	20,32	20,26	89,68
<i>SD</i>	3,51	3,49	9,70	3,26	3,735	9,03
<i>Min</i>	10,00	10,00	58,82	12,00	12,00	66,67
<i>Max</i>	28,00	29,00	100,00	27,00	28,00	100,00
<i>5. Perz.</i>	14,55	14,00	66,96	13,80	13,55	68,18
<i>25. Perz.</i>	18,75	19,00	82,97	18,00	18,00	84,21
<i>Median</i>	21,00	22,00	90,91	20,00	20,00	92,86
<i>75. Perz.</i>	23,00	23,50	95,65	22,00	23,25	95,83
<i>95. Perz.</i>	26,45	26,50	100,00	26,00	26,45	100,00

Drop Jump

Die Ergebnisse des DJ werden isoliert betrachtet, da aufgrund der beidbeinigen Ausführung keine Ermittlung eines LSI möglich ist. Mittels Optojump erfolgte die Ermittlung der Flug- und Stützzeit der Probanden, woraus der Effektivitätsquotient, und somit die Effizienz, des Sprunges (siehe Kapitel 2.7.3) berechnet wird (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse im DJ gesunder Probanden getrennt nach Geschlecht.

<u>DJ</u> Kennwert	männlich (N = 74)				weiblich (N = 50)			
	Sprunghöhe [cm]	Flugzeit [s]	Stützzeit [s]	Effizienz	Sprunghöhe [cm]	Flugzeit [s]	Stützzeit [s]	Effizienz
M	32,79	0,513	0,187	1,478	23,63	0,438	0,199	0,969
SD	7,67	0,0617	0,0347	0,879	5,95	0,0605	0,0337	0,316
Min	13,70	0,334	0,064	0,611	10,50	0,293	0,137	0,374
Max	60,40	0,702	0,283	7,700	37,43	0,566	0,310	1,658

Auffällig zeigt sich bei den männlichen Probanden die maximal erzielte Effizienz. Dieser Wert wird maßgeblich von den Werten eines Probanden beeinflusst und geht auf die ebenfalls dargestellte maximale Flugzeit und -höhe und das Minimum der Stützzeit von diesem zurück. Bei eingehender Überprüfung (Technik bei der Erhebung sowie Datenkontrolle) konnten keine Messfehler gefunden werden.

3.1.4 Betrachtung der Standardreferenzgröße LSI – gesunde Probanden

Eine graphische Veranschaulichung der erreichten LSI-Werte über alle Tests getrennt nach Geschlecht, mit Ausnahme des DJ, ist Abbildung 20 zu entnehmen.

Dabei fällt auf, dass die Gesamtheit der gesunden Probanden bei manchen Tests hinsichtlich der erzielten LSI-Werte sehr nah beieinander liegt und annähernd homogene Ergebnisse erzielt werden, wohingegen bei manchen Tests eine große Streuung der LSI-Werte zu beobachten ist.

Sowohl beim VJ, UDT, SHT und SDT streuen die erreichten LSI-Werte breiter und es werden Werte deutlich unterhalb der in der Literatur gängigen Grenzwerte von 85 und 90 % erreicht. Diese liegen beispielsweise beim VJ der gesunden Frauen unter 70 % und bei gesunden Männern beim SDT unter 60 %.

Die LSI-Werte im F8T sowie den drei Agilitätstests MAT, SRC und SRS liegen deutlich enger beieinander. Der niedrigste beobachtete Wert liegt hierbei mit einem LSI von etwa 85 % im F8T der männlichen Probanden vor.

Im HFD zeigt sich eine Häufung der LSI-Werte im Bereich von 90 bis 95% wobei auch LSI-Werte im Bereich von 80 bis 85 % auftreten.

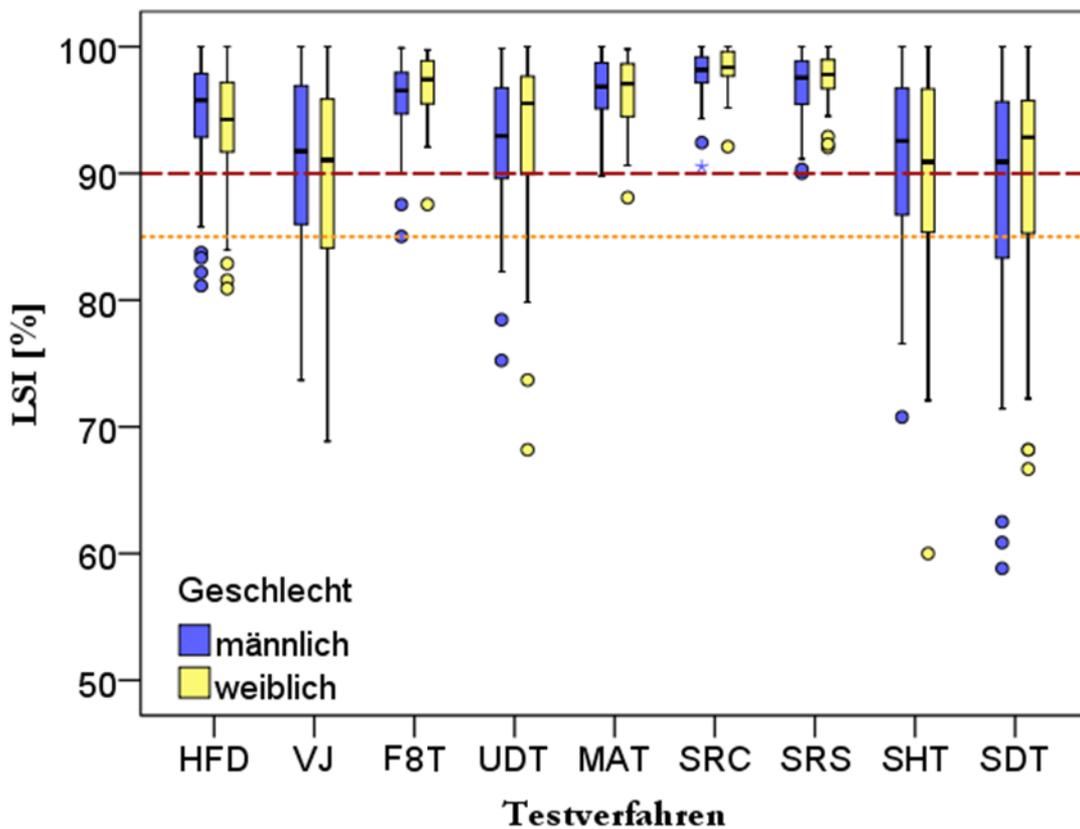


Abbildung 20: Erzielte LSI-Werte aller Tests (außer DJ) aufgeteilt nach Geschlecht mit bestehenden LSI-Grenzwerten (gestrichelte Linie = 90 %, gepunktete Linie = 85 %).

Detaillierte Häufigkeitsverteilungen der erzielten LSI-Werte sind in Anhang 10.1 zu finden.

Die inferenzstatistische Auswertung erfolgte mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit dem Innersubjektfaktor Sprungtest und dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht. Hinsichtlich des LSI zeigt sich, dass ein Proband nicht pauschal in jedem der durchgeführten Tests einen einheitlichen LSI erreicht ($F(8,104) = 57,47; p < ,001; \eta^2_{\text{partiell}} = 0,816$). Vielmehr scheint dieser von der Kombination aus Person und Test abhängig. Ein Geschlechtereffekt auf den erzielten LSI ist nicht ersichtlich ($F(1,111) < 1$). Dies bedeutet, dass Frauen nicht grundsätzlich andere LSI-Werte erzielen als Männer. Inferenzstatistisch verfehlt die Interaktion von Geschlecht und erzielttem LSI im Sprungtest ebenfalls die statistische Signifikanz ($F(8,104) = 1,02; p = ,425; \eta^2_{\text{partiell}} = 0,073$). Das Geschlecht begünstigt nicht die erzielten LSI-Werte in einzelnen Testverfahren.

Um zu klären, ob eine Reduktion der Testbatterie auf wenige Tests möglich ist, erfolgt eine nähere Betrachtung innerhalb der Anforderungsprofile der „Würzburger Testbatterie“ anhand der erzielten Absolutwerte der Probanden (siehe Tabelle 7). Es zeigt sich, dass sowohl Frauen als auch Männer, die im HFD eine größere maximale Sprungweite erzielen, tendenziell höhere Werte beim VJ erzielen. Analog gilt dies im Bereich Schnelligkeit für die benötigten Zeiten beim F8T und UDT. Wird eine der beiden Übungen schnell absolviert, gilt dies tendenziell auch für den anderen Test. Innerhalb der Kategorie Ausdauer kann bezüglich des Abschneidens im SHT und SDT kein Zusammenhang herausgestellt werden.

Tabelle 7: Übersicht über die Zusammenhänge der Testergebnisse innerhalb der Anforderungsprofile Maximalkraft (zwischen HFD und VJ) hinsichtlich der maximalen Sprungweite bzw. -höhe, Schnelligkeit (zwischen F8T und UDT) hinsichtlich der benötigten Zeit und Ausdauer (zwischen SHT und SDT) hinsichtlich der maximal gültigen Anzahl absolvierter Bewegungsabläufe.

		Maximalkraft		Schnelligkeit		Ausdauer	
		li	re	li	re	li	re
männlich	<i>r</i>	,43	,48	,38	,38	,09	,20
	<i>p</i>	<,001	<,001	,001	,001	,439	,105
	<i>N</i>	74	74	74	74	70	69
weiblich	<i>r</i>	,55	,40	,86	,73	,27	,16
	<i>p</i>	<,001	,004	<,001	<,001	,066	,295
	<i>N</i>	50	50	50	50	47	47

3.1.5 Exemplarische Betrachtung des Einflusses der Körpergröße von gesunden Probanden auf Ergebnisse in ausgewählten Testverfahren

Zur Verbesserung der Bewertung der Sprungergebnisse im HFD wurde in der Literatur seitens der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) vorgeschlagen, als Bezugsgröße für die absolute Sprungweite die Körpergröße der jeweiligen Testperson heranzuziehen [123]. Bezüglich dieser Annahme zeigt sich weder für die männlichen noch für die weiblichen Probanden ein statistisch signifikanter Zusammenhang. Analoges gilt für die absolute Sprunghöhe im VJ wobei ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang hinsichtlich der Körpergröße vorliegt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Übersicht über Zusammenhänge zwischen Körpergröße männlicher (N = 74) und weiblicher (N = 50) Probanden und deren maximalen Weitsprungergebnissen im HFD und VJ.

		Körpergröße		Körpergröße	
		HFD li max	HFD re max	VJ li max	VJ re max
männlich	<i>r</i>	,15	,20	,04	,09
	<i>p</i>	,211	,096	,726	,427
weiblich	<i>r</i>	-,17	-,02	-,07	-,01
	<i>p</i>	,234	,902	,609	,949

3.2 Patienten

3.2.1 Deskriptive Statistik – Auswertung der Fragebögen und der körperlichen Untersuchung

Verletzungsmechanismus

Über die Situation der Verletzung liegen von 33 Patienten Daten vor. Nur bei einem Patienten war eine Alltagssituation für die Ruptur verantwortlich. Bei den restlichen 32 Patienten trat die VKB-Ruptur während des Sporttreibens auf. Die am häufigsten dabei ausgeführte Sportart war Fußball (21), gefolgt von Skialpin (6), Handball (2), Volleyball, Kickboxen und Reiten (je 1). Acht Traumata ereigneten sich mit Gegnerkontakt. In sechs Fällen kam es durch einen direkten Kontakt zur Ruptur. In zwei Fällen führte die anschließende Aktion, z. B. Landung nach Kopfball, zur Verletzung. Angegebene Ursachen der berichteten Verletzungen bei Spielsportarten ohne Gegnerkontakt waren pivotierende Bewegungen auf der Ebene (6), Wegknicken nach einer Landung (4), einem Richtungswechsel und beim geradeaus Laufen (je 3) sowie ein Abstoppmanöver (2). Beim Skialpin kam es in vier Fällen bei einem Sturz während der Fahrt zur Verletzung. In einem Fall während der Landung nach einem Sprung. Für die fehlenden Verletzungssituationen liegen keine Angaben vor.

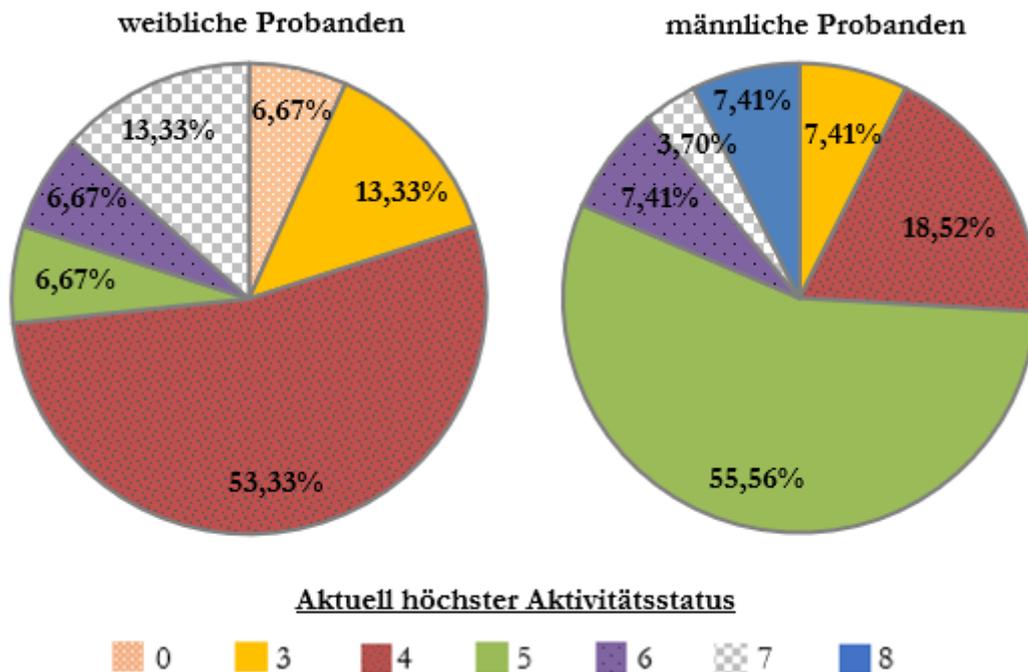


Abbildung 21: Aktivitätsscores nach Tegner und Lysholm der weiblichen (N = 15) und männlichen (n = 25, zwei fehlend) Patienten zum Zeitpunkt der Testung. Nicht genannte Scores traten nicht auf.

Tegner Score

Insgesamt 20 männliche Patienten geben zum Testzeitpunkt an, mindestens auf einem Aktivitätsniveau von Level fünf oder mehr aktiv zu sein (siehe Abbildung 21). Dies umfasst bereits sowohl schwere körperlicher Arbeit als auch u. a. die Fähigkeit bis zu zweimal in der Woche auf unebenem Boden Joggen zu gehen. Die weiblichen Patienten befinden sich zum Großteil auf einem Aktivitätsstatus vier. Eine Patientin ist zum Zeitpunkt der Erhebung arbeitsunfähig.

Beighton Score

Keine der eingeschlossenen Patientinnen wird als „nicht hypermobil“ klassifiziert. Die männlichen Patienten hingegen weisen im Mittel keine Hypermobilität auf (siehe Abbildung 22).

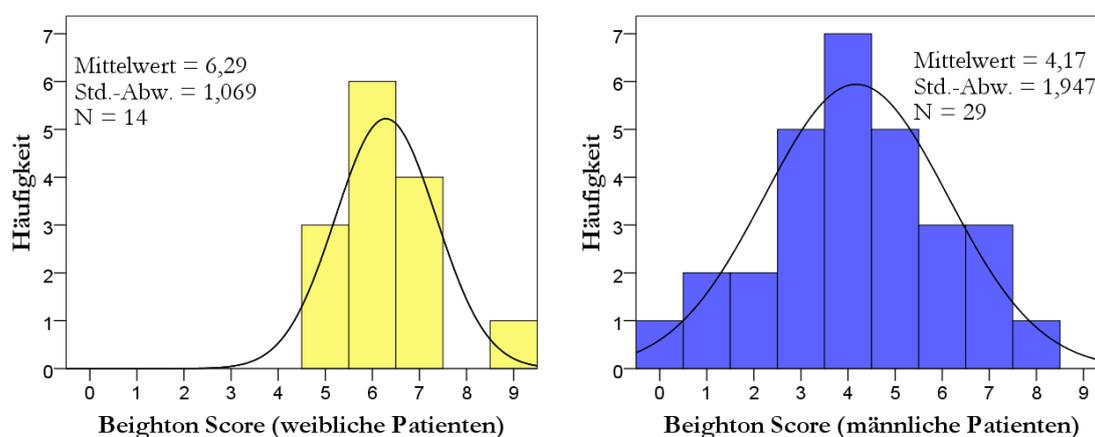


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung des Beighton Scores weiblicher und männlicher Patienten (inkl. Normalverteilungsannäherung).

Lysholm Score

Im Mittel erzielen die Patienten schlechtere Gesamtscores als die gesunden Probanden. Bei den männlichen Patienten ($n = 27$) liegt dieser im Mittel bei 91,33 ($SD = 9,27$), bei den Patientinnen ($n = 14$) bei 85,86 ($SD = 17,35$). Eine Übersicht der Gesamtscores, aufgeteilt nach Geschlecht, findet sich in Abbildung 23. Der Einteilung in vier Gruppen nach Tegner und Lysholm [115] folgend erzielt ein Mann (3,7 %) mit 60 Punkten einen Punktescore ≤ 64 . Zwei Männer Werte zwischen 65 und 83 Punkten. Fast ein Drittel (29,6 %) erreichen Werte zwischen 84 und 90 sowie 16 Patienten (59,3 %) Werte > 90 . Der niedrigste Gesamtscore wird von einer Frau erreicht (50 Punkte). Eine weitere kommt auf 62 Punkte. Ebenfalls je

zwei Patientinnen (je 14,3 %) erzielen Werte zwischen 65 und 84 und zwischen 85 und 90 Punkten. Insgesamt 57,1 % der Patientinnen liegen über 94 Punkten. Ursächlich für diese Scores ist hauptsächlich die Kategorie „Hocken“, wobei bei Männern ($n = 25$; 68 %) und Frauen ($n = 14$; 71,4 %) jeweils etwa 70 % Beschwerden angaben. Gefolgt wird dies in beiden Gruppen jeweils mit etwa 40 % (m: 40 %, f: 42,9 %) in der Kategorie „Schmerzen“ sowie mit etwa 28 % bezüglich „Instabilität“ (m: 28 %, f: 28,6 %).

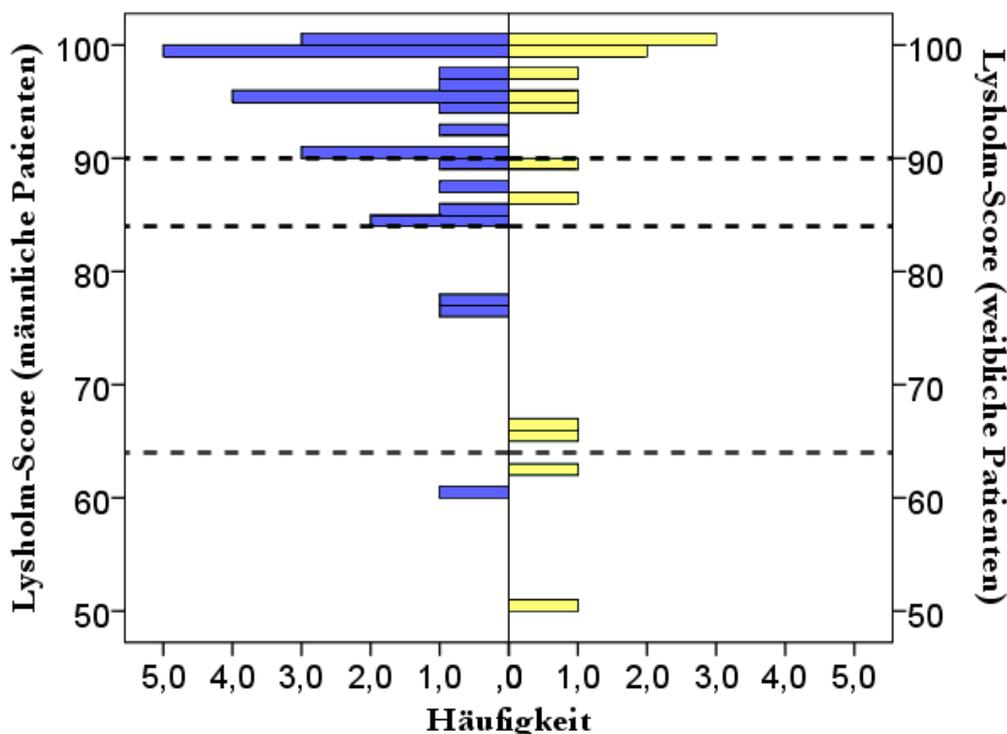


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung des Tegner-Scores männlicher und weiblicher Patienten mit Markierungen der Gruppeneinteilung (gestrichelte Linien) nach Tegner und Lysholm [115].

Körperliche Untersuchung – Muskelumfänge/-differenzen

Die Messungen der Umfangsdifferenzen am Unterschenkel ergibt bei etwa der Hälfte (48,3 %) aller männlichen Patienten ($N = 29$) zum Testzeitpunkt einen größeren Muskelumfang des betroffenen im Vergleich zum gesunden Bein. Der Betrag der größten diesbezüglichen Abweichung liegt bei 2,7 cm hinsichtlich eines größeren Umfangs des betroffenen Beines. Gemäß der Einteilung der Abweichung in die Kategorien in „normal“ (<1 cm Abweichung), „fast normal“ (1-2 cm) und „abnormal“ (>2 cm) [126], bei geringerem Umfang des betroffenen Beines im Vergleich zum Gesunden, werden die Ergebnisse von zehn der männlichen Patienten als „normal“ und von fünf als „fast normal“ (größte Abweichung der

Stichprobe: 1,6 cm) klassifiziert. Die Messung 10 cm proximal des Gelenkspaltes ergibt bei 75,9 % noch einen geringeren Umfang des betroffenen Beines. Neun Patienten weisen „normale“ Werte auf, zwölf „fast normale“ und ein Patient, mit einem um 3,2 cm geringeren Umfang des betroffenen Beines, ein „abnormales“ Ergebnis. Bei den verbleibenden 24,1 % liegt ein größerer Umfang des betroffenen Beines vor. Bei Messung an der 20 cm-Marke weist in 82,8 % der Fälle das betroffene Bein einen geringeren Umfang auf. Davon haben sechs Patienten eine „normale“ Abweichung, acht eine „fast normale“ und zehn weisen „abnormale“ Werte auf. Die maximale Differenz diesbezüglich liegt bei 8,1 cm.

Analoge Messungen bei den weiblichen Patienten ($n = 14$) zeigen am Unterschenkel in 71,4 % einen größeren Umfang des gesunden Beines. Desweiteren findet sich bei acht Patientinnen eine „normale“ und bei drei eine „fast normale“ Differenz, hinsichtlich eines geringeren Umfangs des betroffenen Beines am Unterschenkel. Die maximale diesbezügliche Abweichung liegt bei 1,7 cm. Bei der 10 cm-Marke am Oberschenkel ist in 78,6 % der Fälle das gesunde Bein stärker, mit einer maximalen Differenz von 3,1 cm. Fünf weisen einen „normalen“, vier einen „fast normalen“ und zwei einen „abnormalen“ Unterschied auf. Mit 85,7 % weisen weiter proximal, bei der 20 cm-Marke, noch mehr Patientinnen einen geringeren Umfang der betroffenen Seite auf. Eine Patientin zeigt hierbei eine „normale“, vier eine „fast normale“ und sieben Patientinnen eine „abnormale“ Differenz. Die letztgenannte Gruppe weist geringere Umfänge von 2,1 bis 5,6 cm des betroffenen Beines auf.

Tabelle 9: KOOS-Subscores in den fünf Kategorien Symptome, Schmerzen, Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Sport und Freizeit und Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie der männlichen und weiblichen Patienten.

		Subscores				
		Symptome	Schmerzen	ADL	Sport	Lebensqualität
männlich	<i>n</i>	26	26	26	27	26
	<i>M ± SD</i>	80,49 ± 13,82	87,93 ± 13,81	95,48 ± 10,39	79,63 ± 19,41	69,95 ± 22,50
	<i>Min</i>	46	50	56	35	31
	<i>Max</i>	100	100	100	100	100
weiblich	<i>n</i>	15	15	15	15	15
	<i>M ± SD</i>	76,67 ± 19,46	87,04 ± 11,44	95,78 ± 4,41	78,00 ± 19,53	67,92 ± 22,02
	<i>Min</i>	46	64	85	25	25
	<i>Max</i>	100	100	100	100	100

KOOS

Die Subscores der fünf mittels KOOS erfragten Kategorien der Patienten sind in Tabelle 9 dargestellt. Über alle Scores hinweg zeigt sich ein breites Spektrum der subjektiven Einschätzung hinsichtlich der Symptome des betroffenen Knies und damit einhergehender Beschwerden im Alltag. In jeder Unterkategorie wird jeweils die maximale Punktzahl von 100 erreicht, was keinerlei Beschwerdesymptomatik entspricht. Allerdings werden in fast allen Kategorien auch Werte im Bereich von 50 und deutlich darunter erzielt.

IKDC

Die Berechnung der IKDC-Scores für das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies ergibt im Mittel höhere Werte für die männlichen ($n = 26$; $M = 83,33$; $SD = 13,70$; $Min = 45$; $Max = 100$) im Vergleich zu den weiblichen Patienten ($n = 14$; $M = 77,50$; $SD = 9,10$; $Min = 59$; $Max = 97$). Der niedrigste Gesamtscore wird von einem männlichen Patienten erzielt. Insgesamt fünf (28,6 %) Patientinnen haben einen Score von 80 Punkten oder besser. Nur eine Patientin erzielt einen Score über 90 Punkte (7,1 %). Bei den Männern haben 17 (57,7 %) einen Score über 80 Punkte, davon zwölf Patienten (insg. 38,5 %) sogar über 90 Punkte.

3.2.2 Sprungtestergebnisse der Patienten

In die Auswertung gehen die Ergebnisse der $N = 44$ (m: $N = 29$, f: $N = 15$) in Straubing getesteten Patienten ein. Kein Patient absolvierte die komplette „Würzburger Testbatterie“, sodass im Folgenden nur die vier am häufigsten durchgeführten Sprungtests (HFD, VJ, F8T und SHT; siehe Tabelle 10) näher betrachtet werden. Die deskriptive Statistik dieser Tests, getrennt nach Geschlecht, bezüglich maximaler und minimaler Sprungweiten, -höhen, benötigter Zeit und absolvierten Durchgängen ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 10: Häufigkeiten der durchgeführten Sprungtests der Patienten (getrennt nach Geschlecht und Gesamtanzahl).

	HFD	VJ	DJ	F8T	UDT	MAT	SRC	SRS	SHT	SDT
n (m)	29	25	13	28	13	1	0	0	19	9
n (f)	14	13	0	14	7	0	0	0	6	0
Summe	43	38	13	42	20	1	0	0	25	9

Dabei zeigt sich, dass über alle betrachteten Tests hinweg sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Patienten die gängigen LSI-Grenzwerte von 85 und 90 % verfehlt werden (siehe Minimalwerte). Jedoch werden auch bei beiden Geschlechtern Ergebnisse erzielt, die als „normal“ klassifiziert werden. Ein Teil der Patienten schneidet mit dem betroffenen Bein sogar besser ab als mit dem nicht betroffenen Bein. Auffällig ist hierbei das Ergebnis im SHT bei den Frauen, wobei ein LSI von 142,86 % errechnet wird.

Hinsichtlich der absoluten Sprungweiten, -höhen und Testzeiten werden von beiden Geschlechtern in allen betrachteten Tests im Mittel bessere Ergebnisse mit dem nichtbetroffenen Bein erzielt.

Anhand der Deskriptiva schneiden die Patienten in allen durchgeführten Tests sowohl mit dem betroffenen als auch dem nicht betroffenen Bein im Mittel schlechter ab als die gesunde Referenzstichprobe.

Tabelle 11: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse in den vier am häufigsten ausgeführten Tests der Patienten getrennt nach Geschlecht (b = betroffenes Bein, nb = nicht betroffenes Bein).

<u>HFD</u>	männlich (N = 29)			weiblich (n = 14)		
Kennwert	b [cm]	nb [cm]	LSI [%]	b [cm]	nb [cm]	LSI [%]
<i>M</i>	125,86	143,29	88,05	85,47	98,73	86,54
<i>SD</i>	26,20	17,68	15,63	21,01	19,74	12,77
<i>Min</i>	53,00	103,00	33,56	47,00	57,00	62,96
<i>Max</i>	168,00	176,00	104,14	121,00	132,00	114,59

<u>VI</u>	männlich (n = 25)			weiblich (n = 13)		
Kennwert	b [cm]	nb [cm]	LSI [%]	b [cm]	nb [cm]	LSI [%]
<i>M</i>	14,33	16,49	86,57	8,79	10,58	82,98
<i>SD</i>	3,80	2,93	16,30	2,93	3,16	13,04
<i>Min</i>	6,78	10,47	53,27	3,66	5,45	58,44
<i>Max</i>	20,58	21,71	128,46	14,11	16,89	107,16

<u>F8T</u>	männlich (<i>n</i> = 28)			weiblich (<i>n</i> = 14)		
	Kennwert	b [sek]	nb [sek]	LSI [%]	b [sek]	nb [sek]
<i>M</i>	11,90	10,48	90,68	16,04	14,68	92,58
<i>SD</i>	2,96	1,10	12,41	3,47	2,92	11,54
<i>Min</i>	9,40	8,62	50,10	11,90	11,62	71,97
<i>Max</i>	21,15	12,81	110,32	23,59	22,15	118,66

<u>SHT</u>	männlich (<i>n</i> = 19)			weiblich (<i>n</i> = 6)		
	Kennwert	b	nb	LSI [%]	b	nb
<i>M</i>	43,79	53,37	83,16	23,17	24,50	98,99
<i>SD</i>	12,46	10,07	21,00	5,46	5,92	29,94
<i>Min</i>	20,00	33,00	28,99	20,00	14,00	73,33
<i>Max</i>	63,00	71,00	118,75	34,00	30,00	142,86

3.2.3 Einflussgrößen von Patienten auf den LSI

Zur Untersuchung, der den LSI beeinflussenden Parameter wurde anhand der Patientens Stichprobe die folgende multiple Regression berechnet.

Als Prädiktoren verwendet wurden:

- Zeitraum zwischen Operation und Testung
- Subscore des KOOS aus der Kategorie „Sport und Freizeit“ (Sport/Rec)
- IKDC-Ergebnis im Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
- Tegner Score
- Absolute und relative Muskelumfänge an Unter- und Oberschenkel

Als Kriteriumsvariable wurde der LSI (%) verwendet.

Das oben angegebene Modell ist in der Lage den LSI für den **HFD** zu präzisieren ($R^2 = ,202$; $F(1, 36) = 9,09$; $p = ,005$). Im Zuge der Vorwärts-Modellbildung liefert einzig der KOOS Sport/Rec Subscore einen statistisch signifikanten Beitrag (Beta = ,449; $T = 3,01$; $p = ,005$). Die verbleibenden Prädiktoren werden aufgrund fehlender statistischer Signifikanz aus der Modellbildung ausgeschlossen. Auch bei geschlechterspezifischer multipler Regression können keine komplexeren Modelle zur genaueren Vorhersage gebildet werden.

Für den **VJ** ist das angegebene Modell ebenfalls in der Lage den LSI vorherzusagen ($R^2 = ,235$; $F(1, 33) = 10,16$; $p = ,003$). Alle Prädiktoren außer der KOOS Sport/Rec Subscore (Beta = ,485; $T = 3,19$; $p = ,003$) werden aufgrund fehlender statistischer Signifikanz ausgeschlossen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt das analog errechnete Modell für den **F8T** ($R^2 = ,219$; $F(1, 36) = 10,11$; $p = ,003$). Auch hierbei ist das Vorwärts-Modell in der Lage den LSI zu präzisieren, wobei wiederum nur der Subscore im KOOS Sport/Rec einen statistisch signifikanten Beitrag liefert (Beta = ,486; $T = 3,18$; $p = ,003$).

Für den **SHT** werden schrittweise insgesamt drei Prädiktoren aufgenommen, die eine statistisch signifikant bessere Vorhersage des LSI ermöglichen ($R^2 = ,740$; $F(1, 19) = 18,06$; $p < ,001$). Eingeschlossen werden:

1. Absolute Muskelumfangsdifferenz der Unterschenkel (Beta = ,577; $T = 4,89$; $p < ,001$)
2. KOOS Sport/Rec Subscore (Beta = ,670; $T = 5,42$; $p < ,001$)
3. Tegner Score (Beta = -,340; $T = -2,73$; $p = ,013$)

Die verbleibenden Prädiktoren werden aufgrund fehlender statistischer Signifikanz aus der Modellbildung ausgeschlossen.

4 DISKUSSION

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, getrennt nach inhaltlichen und methodischen Aspekten, diskutiert. Der erste Abschnitt fokussiert auf die Klärung der abgeleiteten Fragestellungen aus Kapitel 1.9. Der folgende Abschnitt widmet sich den methodischen Aspekten und der Aussagekraft der Arbeit. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschung gegeben.

4.1 Inhaltliche Aspekte

4.1.1 Lassen sich die in der Literatur bestehenden LSI-Grenzwerte bestätigen oder anhand der großen Stichprobe gesunder Probanden adjustieren?

Zusammenfassend lassen sich die bestehenden LSI-Grenzwerte nicht bedingungslos bestätigen. In der Literatur gängig ist ein als „normal“ klassifizierter LSI von 85 oder 90 % [10, 14, 60, 93, 100]. Insbesondere, weil in der Regel keine individuellen Testergebnisse aus der Zeit vor einer VKB-Verletzung vorliegen, können die Werte eines gesunden Bevölkerungskollektivs als Referenz dienen.

Auffällig ist, dass in der gesunden Referenzgruppe über die verschiedenen Tests hinweg LSI-Werte deutlich unterhalb der üblichen Grenzwerte erzielt wurden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen bereits Barber, Noyes, Mangine, et al. [10] bezüglich des VJ. Dabei konnten nur 69 % des gesunden Kollektivs einen LSI von 85 % erzielen. Nur 48 % erreichten einen LSI von 90 %. Ein eindeutiger Grund für dieses Abschneiden konnte nicht identifiziert werden. Mögliche Gründe für das Abschneiden in den Tests der „Würzburger Testbatterie“ könnten in der Gruppenzusammensetzung gesucht werden. Einziges Ausschlusskriterium in der gesunden Referenzgruppe war eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes in der Anamnese. Anderweitige Vorschädigungen und nicht von der Untersuchung ausgeschlossene Verletzungen an einem der beiden Beine könnten einen Einfluss auf die Leistung des in diesem Fall betroffenen Beines haben. Sprunggelenks-, Hüft- und andersartige

Kniegelenksverletzungen, wie beispielsweise Meniskus- oder Läsionen der Kollateralbänder, wurden toleriert, können jedoch die Ausführung und somit die Testergebnisse beeinflussen [93].

Unterschiede im Anforderungsprofil, der von den Probanden ausgeführten Sportarten, könnten ebenfalls Seitendifferenzen erklären. Nahe liegt der Schluss, dass lange ausgeübte Sportarten einen Einfluss auf die Ausprägung des LSI haben können [66]. So könnte bspw. ein Sprung- oder Schussbein ursächlich für unterschiedliche Voraussetzungen im Test sein. Dieser Sachverhalt wird in der Literatur allerdings kontrovers diskutiert. Cheung, Smith und Wong [19] sowie Magalhaes, Oliveira, Ascensao, et al. [68] fanden im Rahmen von isokinetischen Messungen der Beinkraft keinen Einfluss unterschiedlicher Sportarten, wobei auch diese Studien aufgrund der Probandenakquise mit kleinen Gruppengrößen hinsichtlich der einzelnen betrachteten Sportarten in der Aussagekraft limitiert waren.

Die Festlegung der Dominanz einer der Extremitäten ist ebenfalls umstritten. Die teilnehmenden Probanden wurden daher diesbezüglich mittels LPI Fragebogen befragt und die Muskelumfänge gemessen. Weder die Fragenkategorie „Fuß“ des LPI noch die Messergebnisse lassen jedoch Rückschlüsse auf das bessere Abschneiden des Beines während eines Sprungtests zu. Kaum einer der Probanden erzielt über alle unilateralen Sprungtests hinweg mit der gleichen Seite bessere absolute Resultate. Da es sich bei den hier in die Studie eingeschlossenen Probanden überwiegend um Sportstudenten handelte, die während des Studiums vielseitige Sportarten ausführen mussten, könnte ein stärkerer Trainingseffekt einer der Extremitäten von nur untergeordneter Bedeutung sein. Um diese explizite Fragestellung zu klären sind größere und homogene Stichproben, beispielsweise hinsichtlich identischer Sportarten, gleichem Leistungsniveau und Altersklasse, notwendig.

Für die Festlegung von Schwellwerten aus der gesunden Stichprobe gibt es kein hinreichendes inhaltliches und objektives Kriterium, was die Wahl eines statistischen Kriteriums nahelegt. Itoh, Kurosaka, Shinichi, et al. [57] zogen mit der Annahme zweier Standardabweichungen ausgehend vom Mittelwert ein sehr liberales Kriterium heran, wodurch eine hohe Spezifität erreicht und der Großteil der Gesunden auch als gesund klassifiziert wurde. Jedoch sank damit der LSI-Grenzwert für die meisten Tests soweit, dass gleichzeitig von einer niedrigen Sensitivität ausgegangen werden muss.

Im Ergebnisteil wurden über die Deskriptiva der Stichprobe verschiedene mögliche Grenzwerte tabellarisch aufgeführt, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Die Betrachtung der statistischen Grenzwerte männlicher und weiblicher Probanden zeigten ein analoges Bild, sodass im Weiteren exemplarisch auf die weiblichen Probanden eingegangen wird.

Unter der Annahme, dass maximal fünf Prozent (5. Perzentil) der gesunden weiblichen Probanden beim VJ als „abnormal“ klassifiziert werden sollten, würde das für die Grenzwertdefinition einen LSI von 70 % bedeuten. Dies würde die Akzeptanz einer Abweichung von 30 % zwischen krankem und gesundem Bein, bezogen auf Kreuzbandpatienten, bedeuten. Ähnlich niedrige LSI-Schwellwerte lägen bei den Kraftausdauertests SHT (73 %) und SDT (68 %) vor. Für den UDT und HFD wären Werte um 80 % als Grenze möglich. Für den F8T und die Agilitätstests MAT, SRC und SRS wäre ein Wert von 90 % als Schwellwert möglich. Die Festlegung eines einheitlichen testübergreifenden Grenzwertes scheint anhand dieser Empirie daher wenig sinnvoll.

Für die Wahl der 25. Perzentile als LSI-Grenzwert für Frauen zur Unterscheidung zwischen „normal“ und „abnormal“ läge dieser für die Hälfte der Tests (HFD, F8T, MAT, SRC und SRS) über der aus der Literatur oft angewendeten 90 %-Marke. Der UDT verfehlt diesen Wert nur knapp. Im SHT und VJ wäre ein Schwellwert von 85 % realisierbar. Letzterer Schwellwert würde im SDT nur knapp unterschritten.

Das Heranziehen der reinen geschlechterspezifischen Mittelwerte (ohne Standardabweichungen) als LSI-Grenzwert zeigt für alle Tests einen Wert von (annähernd) 90 % als erfüllbar.

Der Median bezüglich der LSI Werte aller Tests liegt jeweils wenige Prozentpunkte über dem zugehörigen und geschlechterspezifischen Mittelwert des Tests. Unter der Annahme der Mittelwerte als Grenze werden somit fast die Hälfte aller gesunden Probanden als „abnormal“ im entsprechend betrachteten Test klassifiziert. Dementsprechend führt die Wahl eines Grenzwertes von 90 % zu einer niedrigen Spezifität.

Gerade im Hinblick auf die Sportfreigabe von Kreuzbandpatienten kann es allerdings sinnvoll erscheinen auf eine hohe Spezifität zugunsten einer höheren Sensitivität zu verzichten. Dies würde bedeuten, dass man im Sinne der Verletzungsprävention somit eher zurückhaltender sein würde und dadurch ein wieder „gesundes“ Knie von der Rückkehr ausschließen würde, als einem von der Norm abweichendem, bereits die Freigabe zu erteilen [59].

Entgegen der gängigen Schwellwerte von 85 % und 90 % fordern Risberg und Ekeland [99] aufgrund ihrer Studienergebnisse des gesunden Kollektives noch höhere LSI-Grenzwerte von 93 und 95 %. Dies konnte auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht repliziert werden. Anders als in dieser Arbeit wurden dabei statische Messungen mit einer Beinpresse bewertet. Eine funktionelle Testbatterie mit variantenreichen Sprüngen, Sprint- und Wendemanövern, wobei auch koordinative Fähigkeiten das Testresultat beeinflussen, wurden dabei aber womöglich nicht ausreichend abgebildet. Zudem war die getestete Stichprobe sehr klein ($N = 11$).

Um die diskutierten, theoretisch möglichen Grenzwerte somit ohne weiteres auf Patienten zu übertragen sind weitere Studien notwendig. Aufgrund der Unterschiede zwischen den einzelnen Testverfahren erscheint jedoch insbesondere eine testspezifische Betrachtung der Grenzwerte als sinnvoll [81]. Anhand des in der Studie eingeschlossenen Patientenkollektivs lassen sich diese Schwellwerte nur bedingt prüfen. Insbesondere die fehlende Information zum individuellen Reha-Verlauf, die inhomogene Zusammensetzung hinsichtlich des Intervalls zwischen Operation und Testzeitpunkt sowie das Fehlen von Informationen über das angestrebte Level der sportlichen Aktivität und die uneinheitliche Anzahl an ausgeführten Tests lässt keine generalisierte Aussage und detailliertere Betrachtung zu.

4.1.2 Ist eine geschlechterspezifische Betrachtung des LSI indiziert?

Frauen sind bei Ausübung der gleichen Sportart in Dauer und Intensität in der Regel häufiger und früher von einer VKB-Ruptur betroffen als Männer [106, 128]. Die unterschiedliche Prävalenz von VKB-Rupturen sowie das Risikoprofil (sportartspezifisch, anatomisch, hormonell etc.) zwischen Männern und Frauen legen daher eine geschlechterspezifische Betrachtung der Testbewertung funktioneller Verfahren nahe. In Anbetracht dessen, dass sich in der Eingangsuntersuchung zudem deutliche Hinweise auf eine vorhandene Hypermobilität (Beighton Score) bei einem Großteil der Frauen des Probanden- und auch Patientenkollektivs zeigten, scheint in künftigen Studien zusätzlich die Kontrolle der Beinachse zur Identifikation einer risikobehafteten Bewegungsausführung durchaus sinnvoll [75].

Zusammenfassend konnte über die Testbatterie dieser Arbeit (ohne Berücksichtigung des DJ) hinweg jedoch kein Geschlechtereffekt bezüglich des LSI gezeigt werden. Das

Zusammenspiel von Geschlecht und Sprungtest hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Abschneiden hinsichtlich der Höhe des LSI.

Zum gleichen Ergebnis kamen Barber, Noyes, Mangine, et al. [10] bezüglich des HFD, VJ, SRS und SRC. Auch hierbei fand sich kein Unterschied im LSI-Testresultat zwischen Männern und Frauen. Die Resultate, der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Sprungtestbatterie, bestätigen ebenfalls die Ergebnisse von Thomeé, Neeter, Gustavsson, et al. [117]. Hinsichtlich der jeweils resultierenden Differenzen der absoluten Testergebnisse beider Beine gab es zwischen den Geschlechtern keine Unterschiede, sodass diese hinsichtlich der LSI-Ergebnisse im HFD, VJ und SHT zu jeweils einer Stichprobe zusammengefasst wurden.

Anders verhält es sich allerdings bei Betrachtung der absolut erzielten Testergebnisse. Hinsichtlich der Absolutwerte schnitten Männer im Mittel über den Großteil der „Würzburger Testbatterie“ hinweg besser ab als Frauen. Eine Ausnahme hiervon stellte lediglich der SDT dar. Gründe dafür können womöglich im Anforderungsprofil des SDT oder der Testdauer gesucht werden. Eine Testzeit über einen längeren Zeitraum, als die absolvierten 30 Sekunden, könnte ggf. eine stärkere geschlechterspezifische Ermüdung aufzeigen oder genauer auf muskuläre Defizite hinweisen [17]. Signifikante Geschlechterunterschiede bei den Absolutwerten im VJ von Patienten beschrieben ebenfalls bereits Risberg und Ekeland [99] sowie Thomeé, Neeter, Gustavsson, et al. [117] hinsichtlich eines besseren Abschneidens der Männer im HFD, VJ und SHT.

Da der LSI allerdings als Verhältnismaß definiert ist, erscheinen geschlechterspezifische Unterschiede für die LSI-Testleistung als irrelevant. Für zukünftige Studien kann es deshalb zulässig sein, Referenzgruppen beider Geschlechter hinsichtlich der LSI-Werte in den einzelnen Testverfahren zusammenzufassen.

4.1.3 Sind die in unterschiedlichen funktionellen Testverfahren erzielten LSI-Werte vergleichbar?

Wie gezeigt werden konnte, gab es über die Testbatterie hinweg keinen einheitlichen LSI-Wert für den jeweiligen Testteilnehmer. Vielmehr variierte das Abschneiden abhängig vom durchgeführten Test. Daher erscheint die Festlegung testspezifischer Referenzwerte als sinnvoll. Ein pauschaler Grenzwert von 85 % oder 90 % ist gemäß obiger Diskussion (siehe Kapitel 4.1.1) zu überdenken.

Gründe für diese Unterschiede können in den unterschiedlichen testspezifischen Anforderungsprofilen gesucht werden. Um möglichst vielseitig die Leistungsfähigkeit des Kniegelenkes zu prüfen, bestand die „Würzburger Testbatterie“ aus verschiedenen Kategorien, wobei je nach Test eine dynamische Ausführung mit und ohne Wendemanöver oder eine statische Haltearbeit im Vordergrund stand. Hinzu kamen die unterschiedlichen Aufgabenstellungen mit uni- oder bilateraler Ausführung. Diesbezüglich zeigte sich bei den gesunden Probanden ein deutlich inhomogeneres Bild hinsichtlich der LSI-Testergebnisse der einbeinigen Testverfahren. Eine Ausnahme davon bildete lediglich der F8T. Ein Grund dafür kann die Möglichkeit zur Kompensation von Defiziten aufgrund der dynamischen Ausführung sein. Koordinative Fähigkeiten während der Ausführung könnten ggf. neuro- und muskuläre Defizite ausgleichen. Eine weitere Modifikation dieses Tests könnte das Anforderungsprofil womöglich in künftigen Studien verbessern. Dazu beitragen könnte u. a. ein längerer Abschnitt der geraden Strecke bei der Ausführung, wodurch es nach einer größeren Beschleunigung zu höheren Belastungen während der Abbrems- bzw. Wendemanöver kommen könnte. Auch eine spezifische Betrachtung der benötigten Zeit für die Wendung und die geraden Abschnitte, wie bei Tegner, Lysholm, Lysholm, et al. [116] in einer durch Rennen ausgeführten Version des F8T vorgeschlagen, könnte eine Verbesserung der Beurteilung herbeiführen.

In der vorliegenden Arbeit lagen die LSI-Ergebnisse im F8T und den drei Agilitätstests der gesunden Probanden alle zum Teil deutlich über 85 %. Dies spricht dafür, dass Tests dieser Kategorie isoliert betrachtet tatsächlich ähnliches abbilden und gesunde Probanden vergleichbare Werte erzielen. In künftigen Studien kann es somit zulässig sein lediglich auf einen einzelnen Test der Kategorie „Agilität“ zurückzugreifen und damit eventuell auf die beiden anderen zu verzichten, um dieses Anforderungsprofil abzuprüfen. Gerade diese Kategorie scheint vor einer Rückkehr in verletzungsgefährliche Sportarten wie Fußball, Basketball, Handball und Skialpin eine besondere Stellung einzunehmen. Wendemanöver und Sprünge stellen neben geradlinigen Bewegungen dabei spezielle Anforderungen dar. In ihrer Studie mit $N = 66$ Testpersonen zeigten Tegner, Lysholm, Lysholm, et al. [116], dass bei Testverfahren mit Richtungswechseln die verletzten Probanden im Vergleich zur gesunden Gruppe signifikant schlechtere Ergebnisse erzielten. Nur knapp über die Hälfte erzielte vergleichbare Ergebnisse wie eine gesunde Referenzgruppe. Bei einfachen Bewegungen, d. h. ohne Drehungen oder bei geradem Lauf, wurden zumeist gleichwertige Ergebnisse erzielt. Allerdings wurde die Kategorie der Agilitätstests in der vorliegenden Arbeit zum Großteil nicht von der

Patientengruppe durchgeführt. Denkbar wäre, dass sich die Patienten im Rehaprozess noch nicht sicher genug fühlten diese Tests auszuführen. Anhand der erstellten Referenzwerte kann jedoch in weiteren Studien eine Bewertung der absoluten Laufleistung hinsichtlich der benötigten Zeit mit Rückschluss auf die Ausführung des Patienten stattfinden und geprüft werden, ob einer der Tests besonders zur Diskrimination geeignet ist.

Eine Reduktion der Sprungtestbatterie auf wenige Tests erscheint aus praxisorientierten Gründen (Zeitersparnis, Praktikabilität, einfache Durchführbarkeit, geringere Kosten etc.) für den breiten Einsatz einerseits sinnvoll. Da sich insbesondere bei den unilateralen Tests der einzelnen Kategorien keine Vergleichbarkeit hinsichtlich des LSI zeigte, erfolgte eine Analyse innerhalb der gleichen Anforderungsgruppen (Maximalkraft, Schnelligkeit und Ausdauer) bei den gesunden Probanden hinsichtlich eines Zusammenhanges der absoluten Testergebnisse.

Wie sich zeigte, absolvierten Probanden, die ein weites Sprungergebnis im HFD erzielten, tendentiell einen höheren Sprung im VJ. Ebenso fand sich ein Zusammenhang zwischen schnellem Testresultat des F8T und des UDT sowie im umgekehrten Sinn bezüglich eines langsamen Ergebnisses. Innerhalb der Kategorie „Ausdauer“ konnte kein Zusammenhang zwischen SHT und SDT herausgestellt werden. Dieser Fakt lässt sich ggf. erneut durch das unterschiedliche testspezifische Anforderungsprofil erklären. Beim SHT waren insbesondere neben der kardio-vaskulär fordernden Komponente sowohl exzentrische als auch konzentrische Muskelarbeit im ständigen Wechsel sowie hohe koordinative Fähigkeiten während der Sprungstabilisierung erforderlich, wohingegen die Hauptbelastung im Rahmen des SDT v. a. in der exzentrischen Muskelarbeit des M. quadriceps femoris bestand [65]. Hinsichtlich der Kategorien Maximalkraft und Schnelligkeit scheint nach Betrachtung der Ergebnisse bei gesunden Probanden eine Vergleichbarkeit der absoluten Testresultate möglich. Künftige Forschung könnte diese Beobachtung nutzen, um die erzielten Testergebnisse von Patienten neben der reinen Betrachtung des LSI zu vergleichen.

Gegen eine minimierte Testbatterie spricht andererseits, dass eine umfangreiche Testbatterie als eine Ausdauerbelastung unter kontrollierten Bedingungen dienen könnte. Je nach Aktivitätsniveau und Rehabilitationsstatus des Patienten könnte dies auch in Form einer vorangestellten oder eingestreuten, sportartspezifischen Belastung erzielt werden. Eine Ermüdung der Muskulatur geht mit einer schlechteren neuromuskulären Stabilisierung einher und damit

auch mit einem erhöhten Verletzungsrisiko [41, 42, 71]. Schwächen und Defizite von Patienten sollten daher mehr zu Tage treten. Augustsson, Thomeé und Karlsson [7] untersuchten diesen Zusammenhang und zeigten ein schlechteres Abschneiden während funktioneller Tests nach vorausgegangener Ermüdung bei 68 % der eingeschlossenen Patienten. Zukünftige Studien sollten diesen Zusammenhang berücksichtigen und anhand standardisierter Testprotokolle mit und ohne vorgeschaltete Belastung erruieren.

4.1.4 Kann der LSI als alleiniger Indikator zur Beantwortung der RTP-Frage herangezogen werden oder ist eine Kombination mit weiteren Maßen angezeigt?

Die Beantwortung dieser Frage ist anhand des vorliegenden Studienprotokolls nur eingeschränkt möglich. Bereits die uneinheitlichen Ergebnisse des gesunden Probandenkollektives über die Testreihe hinweg decken zwangsläufig weiterhin bestehenden Forschungsbedarf auf. Es scheinen Längsschnittstudien notwendig sowie eine Definition der Kriterien, wann eine Rückkehr zum Sport als erfolgreich betrachtet wird. Dies sollte insbesondere im Rahmen größer angelegter Untersuchungen von Patienten mit homogenen Voraussetzungen (Rehaverlauf, gleiche Zielsetzung, Folgebeltung, Alter etc.) erfolgen sowie hinsichtlich des prädiktiven Charakters von Sprungtests und anderweitiger Faktoren, die das Gelingen der Sportrückkehr beeinflussen. Gleiches fordern bereits Narducci, Waltz, Gorski, et al. [82], die darauf hinweisen, dass funktionelle Tests bislang eher als Bewertung des OP-Ergebnisses angewandt werden und der Nutzen zur Sportfreigabe, aufgrund des unklaren prädiktiven Charakters, begrenzt ist.

Eine interessante Beobachtung der Sprungergebnisse von Patienten und gesunden Probanden im Vergleich ist, dass die Patienten nicht nur beim Mittelwertvergleich des LSI und der Absolutwerte des betroffenen Beines schlechtere Ergebnisse erzielten, sondern ebenfalls beim gesunden Bein. Insgesamt legt dies jedoch auch die Schlussfolgerung nahe, dass der LSI-Wert der Patienten sogar überschätzt wurde, da ebenfalls das gesunde Referenzbein ggf. nicht die volle Leistung erzielte. Eine ähnliche Beobachtung machten Barber, Noyes, Mangine, et al. [10] und rieten von der Verwendung des SRC und SRS aufgrund ihrer fehlenden Sensitivität ab. In ihrer Studie erzielten selbst 90 % der eingeschlossenen $N = 35$ VKB-Patienten einen LSI von 90 %. Ursache sahen die Autoren in der gleichsam Schockung beider Beine während der Wendemanöver.

Das Abschneiden der Patienten in den betrachteten Testverfahren legt nahe, dass die Tests geeignet sind das betroffene Bein anzuzeigen. Die Patienten schnitten im Mittel bei beiden Geschlechtern mit dem betroffenen Bein unter Betrachtung der Sprungweiten, - höhen, Testzeiten und der Anzahl absolvierter Sprünge schlechter ab. Einen Beitrag zur Bewertung des Abschneidens von Patienten in den einzelnen im Rahmen der „Würzburger Testbatterie“ durchgeführten Tests, könnten daher die in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der absoluten Testergebnisse generierten Referenzwerte leisten. Diese wurden geschlechterspezifisch für die einzelnen Tests aufgeführt und können somit künftiger Forschung als Vergleichswerte für den Breitensport und zur genaueren Einschätzung der Testleistung des Patienten dienen.

Da unter alleiniger Betrachtung des LSI kein Rückschluss auf das exakte Abschneiden bezüglich der absolut erzielten Testergebnisse möglich ist, gibt es in der Literatur bisher anderweitige Bestrebungen sich mit einer Kombination verschiedener Parameter, beispielsweise einer Zielweite beim HFD, zu nähern. Die VBG schlug diesbezüglich für die Bewertung der Sprungweite des HFD einen Bezug zur Körpergröße der jeweiligen Testperson als Referenzwert vor [123]. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den erzielten Sprungweiten und der Größe der Probanden und Probandinnen konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht nachgewiesen werden, so dass dieser Vorschlag in Frage gestellt werden muss.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Festlegung des Zeitpunktes stellt das individuelle Ziel des Patienten dar. Neben der Sportart, die wieder aufgegriffen werden soll, spielt auch das Level der Aktivität eine Rolle [129]. Für den Wiedereinstieg als gelegentlicher Freizeitsportler in eine risikoarme Sportart gelten sicherlich andere Anforderungen wie für eine Rückkehr in den Wettkampfbetrieb einer Spielsportart als Leistungssportler. Keiner der eingeschlossenen gesunden Probanden war auf höchstem Niveau sportlich aktiv, sodass sich diese Ergebnisse nur eingeschränkt zur Anwendung im Leistungssport eignen. Hierfür besteht weiterer sportartspezifischer Forschungsbedarf. Ideal erscheint auch anhand der vorliegenden Daten das Erstellen individueller Referenzwerte mit persönlichen Messungen, die dann im Falle einer späteren Verletzung herangezogen werden können [130]. Obwohl dies für die breite Masse schwierig umzusetzen ist, bietet diese Vorgehensweise die Möglichkeit eventuell bereits vorhandene Dysbalancen aufzudecken, um dem Eintreten einer Verletzung vorzubeugen, da Seitenunterschiede in der Literatur als Risikofaktor gelten [96].

In der Praxis versucht man sich daher mittels Algorithmen der Klärung der Frage zum Rückkehrzeitpunkt zu nähern [24, 77]. Dabei müssen jeweils unterschiedliche Minimalziele während des Rehaprozesses erfüllt werden, um wieder in ein Individual- oder Mannschaftstraining und den Wettkampf einsteigen zu dürfen. Neben funktionellen Testverfahren, spielt in den genannten Studien je nach Stufe der Rehabilitation auch die Bewegungsausführung eine Rolle. Sehr vielversprechend scheint daher auch die Kombination aus Sprungtests, wie dem DJ, mit Bewegungsanalysen mittels Videoaufnahmen zu sein, da bestimmte Bewegungsmuster das Auftreten von VKB-Verletzungen begünstigen [46, 47]. Einen solchen Ansatz beschrieben Petersen, Stöhr, Ellermann, et al. [90] in einer Übersichtsarbeit. Die Autoren bewerteten eine Rückkehr zum Sport zwischen sechs und zehn Monaten postoperativ als realistisch, jedoch unter Erfüllung diverser Kriterien, da eine vollständige Einheilung des VKB-Transplantates zu diesem Zeitpunkt noch nicht als gesichert angenommen werden kann. Zunächst musste die Erfüllung objektiver Basiskriterien (kein Erguss, IKDC-Bewertung A und B und passive Stabilität) gewährleistet sein, ehe eine spezifischere Testung der funktionellen und neuromuskulären Rehabilitation mittels Sprungtests erfolgen sollte. Bei Bewertung letzterer wurde neben dem Abschneiden im einzelnen Testverfahren auch Wert auf eine Bewegungsanalyse, beispielsweise zum Ausschluss eines funktionellen Valgus, gelegt. In der vorliegenden Arbeit erfolgte keine Auswertung von Videomaterial. Dies könnte jedoch bei künftigen Studien dazu dienen die Bewegungsausführung der Probanden bzw. Patienten neben der absoluten Testleistung noch genauer zu beurteilen.

4.1.5 Welche Charakteristika von VKB-Patienten beeinflussen die Ausprägung des LSI?

Aufgrund der in der Literatur beschriebenen Risikofaktoren für ein Rezidiv oder weitere Verletzungen wurden verschiedene Parameter (Zeitspanne seit OP, Muskelumfangsdifferenzen, aktuelles sportliches Level und subjektive Einschätzung des Knies) und deren Einfluss auf die Vorhersage der Höhe des LSI untersucht.

Obwohl die Vorhersagekraft bezüglich des LSI im SHT beachtliche 74 % ($R^2 = ,740$) betrug, scheinen verschiedene andere Werte, die nicht Gegenstand dieser Arbeit waren, die Ausprägung des LSI hinsichtlich seiner Höhe zu beeinflussen (bspw. neuromuskuläre, koordinative und psychische Faktoren). Im SHT ergab sich zudem ein negativer Zusammenhang zwischen Tegner Score und LSI. Dies bedeutet, dass Teilnehmer mit höherem Leistungsniveau einen

geringeren LSI erzielen. Die negative Korrelation dieser beiden Parameter erwies sich jedoch als statistisch nicht signifikant, sodass es sich um einen Zufallsbefund handeln könnte. Weitere Forschung zum Zusammenhang des selbst eingeschätzten Aktivitätsniveaus und der LSI-Höhe erscheint indiziert.

Zudem wies das beste Vorhersagemodell mit den gleichen Prädiktoren für die anderen drei Testverfahren (HFD, VJ und F8T) nur Aufklärungsraten von knapp über 20 % auf. Dies deutet darauf hin, dass nicht einzelne Prädiktoren, wie bspw. der Zeitraum zwischen OP und Testung, in der Lage sind den LSI zu präzisieren. Vielmehr erscheinen unterschiedliche Prädiktoren für verschiedene Testverfahren aussagekräftiger.

Allein der KOOS Sport/Rec wurde im Modell als Prädiktor berücksichtigt. Dieser prüft insbesondere Fähigkeiten ab, die mit den Anforderungen der Testbatterie übereinstimmen. Dazu zählen das Hüpfen, Rennen und in die Knie gehen sowie das Ausführen von einbeinigen Drehungen.

Eine Ursache für den fehlenden Vorhersagewert der muskulären Umfangsdifferenzen bei Patienten kann unter anderem in den methodischen Schwächen der Untersuchungsmethode selbst liegen. So führt beispielsweise eine Schwellung in diesem Bereich zum Zeitpunkt der Messung zu einem Unterschätzen der tatsächlich vorliegenden Atrophie [104]. Genaue Patientenangaben lagen jedoch nicht vor.

Der fehlende Einfluss des Testzeitpunktes auf die Vorhersage bezüglich des LSI Testergebnisses überraschte zunächst, da insbesondere im ersten Jahr nach der VKB-Rekonstruktion von einer erhöhten Rerupturrate berichtet wird. Webster, Feller, Leigh, et al. [129] berichteten diesbezüglich, dass etwa die Hälfte der Rerupturen in diesem Zeitraum auftrat. Eine Erklärung hierfür kann jedoch das eingeschlossene Patientenkollektiv sein. Berücksichtigt wurden nur Patienten, die die entsprechend betrachteten Tests (HFD, VJ, F8T und SHT) absolviert hatten. Patienten, die zum gleichen Zeitpunkt diese Tests abgebrochen oder aufgrund des Rehaerlaufes noch nicht durchgeführt hatten, wurden nicht berücksichtigt, was zu einer Selbstselektion des eingeschlossenen Patientengutes geführt haben kann. Exemplarisch anhand des F8T betrachtet, der aufgrund des fordernden Profils mit seriellen Einbeinsprüngen und Wendungen hohe Anforderungen an das Kollektiv stellte, sprach dies insgesamt für ein bereits geneseneres und im Rehaprozess weiter fortgeschrittenes Patientenkollektiv. Auch die von den männlichen Patienten im Mittel erzielten LSI-Werte von etwa 90 % sprachen

dafür. Studien weisen darauf hin, dass ein Großteil an Patienten im ersten Jahr nach der VKB-Rekonstruktion solche LSI-Werte verfehlt [76, 117].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass kein Charakteristikum von VKB-Patienten identifiziert werden konnte, welches die zuverlässige Prädiktion der LSI-Werte zulässt.

4.2 Methodische Aspekte

4.2.1 Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit liefert einen wertvollen Beitrag zur Bewertung funktioneller Testverfahren. Der Fokus lag dabei auf dem Vergleich der erzielten Testergebnisse, während die Qualität der Bewegungsausführung als mögliche Störvariable die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse beeinflussen kann. Es wurden bspw. keine zusätzlichen apparativen Messeinrichtungen, wie Muskelaktivitätsmessungen mittels Elektromyographie (EMG), Kontrollen der Kniestabilität mittels KT1000 oder Videoanalysen zur Kontrolle spezifischer Bewegungsabläufe verwendet. Insbesondere koordinative Fähigkeiten können neben der reinen Muskelkraft somit das Abschneiden in den einzelnen Tests beeinflusst haben. Mittels GKH wurde dieser Effekt jedoch versucht bei allen Testverfahren, außer den Agilitätstests, zu minimieren [31, 38, 122].

Eine weitere Einschränkung bezüglich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse stellt sicherlich die Repräsentativität der Stichprobe freiwilliger Probanden dar. Aufgrund von Selbstselektion könnten sich bspw. nur besonders fitte, engagierte und sportliche Probanden freiwillig zur Teilnahme an der Würzburger Kohorte gemeldet haben, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Insbesondere im Vergleich zu ähnlichen publizierten Studien stellt die Gruppengröße gesunder weiblicher und männlicher Referenzprobanden jedoch eine solide Grundlage für Schlussfolgerungen dar [37, 82, 99]. Dennoch muss erwähnt werden, dass sich die Ergebnisse nicht bedingungslos auf den Hochleistungssport übertragen lassen, da keiner der Probanden auf diesem Level sportlich aktiv war.

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden die empirischen Ergebnisse der gesunden Referenzstichprobe mit den Werten der Straubinger Patientenstichprobe in Verbindung gesetzt. Die Verallgemeinerbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse ist aufgrund der Heterogenität der Patientenstichprobe eingeschränkt. Zum einen bestehen große Unterschiede in Hinblick auf das Testintervall mit Abstand zur Operation, zum anderen ist die Anzahl der

tatsächlich durchgeführten Tests aufgrund individueller Testabbruchkriterien sowohl unter den Patienten als auch im Vergleich zur gesunden Referenzgruppe unterschiedlich. Die Vergleichbarkeit der Stichproben wurde dennoch durch die Testauswahl und weitestgehende Durchführung mindestens eines Tests aus drei der vier Kategorien der „Würzburger Testbatterie“ begünstigt.

4.2.2 Datenerhebung und Ablauf der Testung

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich nicht um eine randomisierte Studie. Reihenfolgeeffekte aufgrund der festgelegten Abfolge der einzelnen Testverfahren mit vorgegebenem Startzeitpunkt bei der „Würzburger Testbatterie“ sind möglich. Motivation für dieses Vorgehen war die Konstanthaltung der Belastung und Ermüdung im Verlauf der Testbatterie. Dem könnte in künftigen Betrachtungen mittels einer Permutation der Testabfolgen begegnet werden.

Um die Reliabilität der Messwerte zu steigern, wurden die einzelnen Testverfahren nach einem Protokoll stets mehrfach wiederholt. Durch das standardisierte Aufwärmprogramm und durch das Einhalten der Reihenfolge der Testbatterie wurde zudem die Kontrolle der Daten auf Ermüdung angestrebt, da die einzelnen Probanden somit jeweils die gleiche Vorbelastung hatten.

Anders als bei den gesunden Probanden in Würzburg, wurde die Testreihenfolge bei den Patientendaten nicht strikt eingehalten. Je nach körperlichem Zustand des Patienten wurde nur eine Teilmenge der durchführbaren Tests vor Ort ausgewählt, sodass Unterschiede zu den Daten aufgrund einer anderen Vorermdung vorliegen können. Eine stärkere Selektion von Patienten im Vorfeld mit homogenen Voraussetzungen, bzw. mit einem vergleichbaren Rehabilitationsstand, könnten die Vergleichbarkeit der Testergebnisse begünstigen. Die verbesserte Interpretation der Daten könnte durch einen zwischen den Stichproben einheitlich definierten Prozess mit Testabbruchkriterien und entsprechender Dokumentation ermöglicht werden.

Aufgrund des Umfangs der Erhebung wurden in Würzburg mehrere Versuchsleiter eingesetzt. Trotz eines standardisierten Vorgehens ist es nicht auszuschließen, dass die Instruktionen dadurch leichte Abweichungen erfuhren oder die Teilnehmer unterschiedlich stark motiviert wurden. Eine im Vorfeld durchgeführte Schulung der Versuchsleiter, ein festgelegter

Untersuchungsablauf, ein standardisiertes Testprotokoll und die Verwendung von speziellen Messsystemen sollte eine Varianz der Ergebnisse jedoch auf ein Minimum reduzieren.

Mögliche Abweichungen der maximalen Sprungergebnisse im VJ der gesunden Probanden und des Patientenkollektivs können zum Teil durch die unterschiedlichen Messsysteme in Würzburg (Optojump-Messsystem) und Straubing (Niedersprungmessgerät) zustande kommen. Zwar eignen sich unterschiedlichste Verfahren zur Ermittlung der Sprunghöhe, jedoch kann die Vergleichbarkeit durch minimale Abweichungen eingeschränkt sein [30]. Eine Korrektur der Ergebnisse gemäß Glatthorn, Gouge, Nussbaumer, et al. [34], um die Schwächen verschiedener Messmethoden zu kompensieren, könnte die Testresultate während weiterer Forschung in der Aussagekraft verbessern. Für künftige Studien wären ansonsten identische Messmethoden und ein für beide Kohorten deckungsgleiches Testprotokoll anzustreben, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verbessern.

4.3 Ausblick

Das Berufen auf LSI-Testresultate ist gängige Praxis in der Rehabilitation nach Kreuzbandruptur.

Die vorliegende Arbeit zeigte jedoch, dass ein pauschaler LSI-Grenzwert von 85 % oder 90 %, wie in der Literatur häufig beschrieben, über die gesamte in Würzburg durchgeführte Testbatterie nicht bedingungslos bestätigt werden konnte. Ein im Rahmen von Schwellwert-Definition gängiges Verfahren stellt die Anfertigung und Auswertung sog. Receiver-Operating-Characteristics-Kurven (ROC-Kurven) dar. Dabei wird in einer graphischen Darstellung von Sensitivität und Spezifität einer Messmethode derjenige Wert ermittelt, der am besten zur Unterscheidung eines dichotomen Merkmals geeignet ist und stellt eine weitere Möglichkeit dar, sich in künftigen Studien einem bestmöglichen Wert zu nähern. Dieser Ansatz zur Bestimmung inhaltlich bedeutsamer LSI-Grenzwerte wurde bereits von Fitzgerald, Lephart, Hwang, et al. [29] vorgeschlagen. Problematisch bewerteten diese allerdings neben der Sicherung der einheitlichen Rehabilitation, zeitlichem Aufwand der Testungen und Rücksichtnahme auf individuelle Rehabilitationsverläufe ebenfalls die Klassifikation des „Return to Play“-Versuches als gelungen oder gescheitert.

Die Tatsache, dass Frauen häufiger und früher von einer VKB-Verletzung betroffen sind, legte die geschlechterspezifische Untersuchung der Bewertungskriterien von Sprungtests

nahe [106, 128]. Wie gezeigt werden konnte, hatte das Geschlecht der gesunden Probanden jedoch keinen Einfluss auf die Höhe des LSI. In künftigen Studien kann es somit zulässig sein, diese hinsichtlich des LSI als eine Kohorte zusammenzufassen. Anders verhielt es sich mit dem Abschneiden bei den Sprungtests hinsichtlich der Absolutwerte, wobei sich im Mittelwertvergleich deutliche Unterschiede zeigten. Gemeinsam mit dem Wissen, dass die Verwendung eines einheitlichen LSI auch in einem gesunden Probandenkollektiv über verschiedene Tests hinweg keineswegs als selbstverständlich angenommen werden sollte, erscheint daher für künftige Testprotokolle die Kombination mit anderweitigen Messmethoden zur Optimierung der Beurteilung oder anderen Testgrößen, wie einen Bezug zum absoluten Testergebnis, als sinnvoll. In der Literatur häufig vorgeschlagen wird zudem eine Kombination mit Bewegungsanalysen im Rahmen von Videoaufzeichnungen, um neben der reinen Testleistung falsche Bewegungsmuster der Patienten aufzudecken und im Verlauf mit gezieltem Training zu korrigieren. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Obwohl durch die Anwendung mehrerer Sprungtests im Rahmen einer Testbatterie die Sensitivität erhöht werden kann [10, 27, 37, 97], scheint insbesondere im Hinblick auf eine Praxistauglichkeit und Effizienz die Reduktion auf weniger Sprungtests anzustreben. Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich anhand des gesunden Probandenkollektivs bestimmte Zusammenhänge bezüglich des Abschneidens bei den absoluten Testwerten und dem LSI in den jeweiligen Kategorien der „Würzburger Testbatterie“ herausstellen lassen. Zukünftige Studien können die erstellten Referenzwerte dahingehend nutzen, um die Ergebnisse mit größeren und homogenen Patientenkollektiven zu vergleichen und weitere Empfehlungen im Rahmen des RTP-Gedankens abzuleiten.

Ein wichtiger Punkt, der im Rahmen dieser Diskussion nicht ausgespart bleiben darf, ist der weiterhin fehlende prädiktive Charakter der Sprungtests. Eine genaue Vorhersage, ob eine erneute Verletzung eintreten wird oder nicht und ob somit eine Aussage über die Sportfreigabe getroffen werden kann, ist aufgrund des Studiendesigns (Querschnittsmessung) nicht möglich. Zu diesem Zweck ist es notwendig, Studien mit längerer Beobachtungsdauer und einem größeren homogenen Patientenkollektiv durchzuführen und Kriterien zu finden, ab wann eine Rückkehr zum Sport als gelungen angesehen werden kann. Letzteres beispielsweise hinsichtlich des verletzungsfreien Intervalls in der Folgezeit und auch in Hinblick auf das Ausbleiben der Manifestation von Folgeschäden. In diesem Zusammenhang scheint eine flächendeckende und prätraumatische Testung von Sportlern ideal. Im Sinne solch einer

„Baseline Untersuchung“, wie es zum Teil im Profisport bereits durchgeführt wird, werden intraindividuelle Vergleiche ermöglicht, die eine genauere Einschätzung der Testleistung zulassen sollten.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Kontrolle des Rehabilitationserfolges und in der Entscheidungsfindung bezüglich einer Sportfreigabe nach VKB-Rekonstruktion werden funktionelle Testverfahren angewandt. Diese testen unter standardisierten Bedingungen verschiedene muskuläre und neuromuskuläre Fähigkeiten von Patienten.

Die vorliegende Arbeit untersuchte das geschlechterspezifische Abschneiden in gängigen funktionellen Testverfahren im Rahmen einer Testbatterie, bestehend aus verschiedenen Sprung-, Schnelligkeits-, Agilitäts- und Ausdauertests sowie deren Hauptbewertungskriterium – den Limb Symmetry Index (LSI) – anhand eines großen, gesunden und sportlichen Probanden- ($N = 124$; Frauen: $N = 50$; Männer: $N = 74$) und eines VKB-Patientenkollektivs ($N = 44$; Frauen: $N = 15$; Männer: $N = 29$).

Ein genereller und in der Literatur gängiger LSI-Grenzwert von 85 % oder 90 % für alle durchgeführten Tests ließ sich nicht uneingeschränkt bestätigen. Selbst in der gesunden Referenzgruppe wurden diese Werte zum Teil weit verfehlt. Zudem führten die verschiedenen Sprungtests, welche eine Berechnung des LSI-Wertes zulassen, bei den gleichen gesunden Probanden zu unterschiedlichen Ergebnissen. Dies lässt darauf schließen, dass die verschiedenen durchgeführten Tests der Batterie unterschiedliches abbilden. Eine weitere testspezifische Adjustierung oder Kombination mit anderweitigen Bewertungskriterien (z. B. Absolutwerte, Bewegungsanalysen) scheint daher notwendig. Ein Einfluss des Geschlechts auf das Abschneiden hinsichtlich des LSI konnte nicht gefunden werden. Eine gemeinsame Betrachtung der LSI-Ergebnisse von männlichen und weiblichen Testpersonen in künftigen Studien scheint somit zulässig. Bei den Absolutwerten ist diese Vergleichbarkeit der Geschlechter nicht gegeben, da Männer durchschnittlich höhere Werte als Frauen erzielten. Die betrachtete Patientenstichprobe zeigte in der übereinstimmend durchgeführten Teiltestbatterie sowohl hinsichtlich der LSI- als auch der absoluten Testergebnisse im betroffenen und nicht betroffenen Bein schlechtere Resultate. Eine Vorhersage der LSI-Ausprägung bei Patienten war anhand der erhobenen gängigen Kriterien, wie beispielsweise der vergangenen Zeitspanne seit Operation, nicht möglich.

Bei den hier angewendeten Testverfahren handelt es sich um eine verhältnismäßig einfache Methode zur Erhebung funktioneller Defizite. In Bezug auf notwendige Testresultate zur Sportfreigabe erscheinen diese jedoch als nicht hinreichend. Hierfür ist weitere Forschung notwendig (z. B. Längsschnittstudie mit größerem und homogenen Patientenkollektiv). Insbesondere eine Definition von Kriterien, ab wann eine Rückkehr als gelungen angesehen wird, muss erfolgen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der höchste Aussagewert bezüglich funktioneller Tests bei Vorliegen intraindividuellem Vergleichswerte zu bestehen scheint, wie es beispielsweise im Leistungssport denkbar ist und bereits durchgeführt wird. Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Referenzwerte gesunder Teilnehmer können jedoch als wertvolle Orientierung für den Breitensport dienen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abe S, Kurosaka M, Iguchi T et al. Light and electron microscopic study of remodeling and maturation process in autogenous graft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 1993; 9: 394-405
2. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 705-729
3. Amis A, Dawkins G. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 1991; 73: 260-267
4. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF et al. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *British Journal of Sports Medicine* 2011; 45: 596-606
5. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A et al. Risk factors for injuries in football. *The American Journal of Sports Medicine* 2004; 32: 5S-16S
6. Arundale AJ, Kvist J, Hägglund M et al. Jump performance in male and female football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2020; 28: 606-613. doi:10.1007/s00167-019-05747-1
7. Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004; 12: 350-356
8. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine* 2005; 39: 324-329
9. Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2011; 27: 1697-1705
10. 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; 255: 204-214
11. Beighton P, Horan F. Orthopaedic aspects of the Ehlers-Danlos syndrome. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1969; 51: 444-453
12. Beighton P, Solomon L, Soskolne C. Articular mobility in an African population. *Annals of the rheumatic diseases* 1973; 32: 413-418

13. Berschin G, Hartmann M. Agility - Bedeutung, Training und Testung der Richtungswechselfähigkeit am Beispiel Fußball. *Leistungssport* 2011; 41: 25-28
14. Biedert RM, Hintermann B, Hörterer H et al. Wissenschaftlicher Beitrag: 8. GOTS-Schweiz Tagung Universität Basel, 2. Februar 2006: Sportfähigkeit nach Verletzungen und Operationen. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie* 2006; 22: 249-254
15. Boden BP, Dean GS, Feagin JA et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 2000; 23: 573-578
16. Breusch S, Mau H, Sabo D et al. Untere Extremität. In: Breusch S, Clarius M, Mau H et al, Hrsg. *Klinikleitfaden - Orthopädie Unfallchirurgie*: Elsevier GmbH, München; 2009: 429-563
17. Burnham JM, Yonz MC, Robertson KE et al. Relationship of hip and trunk muscle function with single leg step-down performance: implications for return to play screening and rehabilitation. *Physical Therapy in Sport* 2016; 22: 66-73
18. Büsch D, Hagemann N, Bender N. Das lateral preference inventory: Itemhomogenität der deutschen Version. *Zeitschrift für Sportpsychologie* 2009; 16: 17-28
19. Cheung R, Smith A, Wong D. H: Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players. *Journal of Human Kinetics* 2012; 33: 63-71
20. Clayton RA, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury, Int J Care Injured* 2008; 39: 1338-1344
21. Coren S. The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: Norms for young adults. *Bulletin of the Psychonomic Society* 1993; 31: 1-3
22. Cristiani R, Mikkelsen C, Edman G et al. Age, gender, quadriceps strength and hop test performance are the most important factors affecting the achievement of a patient-acceptable symptom state after ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2020; 28: 369-380. doi:10.1007/s00167-019-05576-2
23. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H et al. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *The American journal of sports medicine* 2002; 30: 199-203
24. Davies GJ, McCarty E, Provencher M et al. ACL return to sport guidelines and criteria. *Current reviews in musculoskeletal medicine* 2017; 10: 307-314
25. Dvorak J, Junge A, Chomiak J et al. Risk factor analysis for injuries in football players possibilities for a prevention program. *The American Journal of Sports Medicine* 2000; 28: 69S-74S
26. Ekstrand J, Gillquist J. The avoidability of soccer injuries. *International journal of sports medicine* 1983; 4: 124-128

27. Engelen-van Melick N, van Cingel RE, Tijssen MP et al. Assessment of functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of measurement procedures. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2013; 21: 869-879
28. Faunø P, Wulff JB. Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *International journal of sports medicine* 2006; 27: 75-79
29. Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH et al. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2001; 31: 588-597
30. Garcia-Lopez J, Peleteiro J, Rodriguez-Marroyo J et al. The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *International journal of sports medicine* 2005; 26: 294-302
31. Gerodimos V, Zafeiridis A, Perkos S et al. The contribution of stretch-shortening cycle and arm-swing to vertical jumping performance in children, adolescents, and adult basketball players. *Pediatric exercise science* 2008; 20: 379-389
32. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA et al. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2009; 12: 622-627
33. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The Cruciate Ligaments of the Knee Joint: Anatomical, Functional and Experimental Analysis. *Clinical orthopaedics and related research* 1975; 106: 216-231
34. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S et al. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2011; 25: 556-560
35. Gokeler A, Welling W, Benjaminse A et al. A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a case control study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2017; 103: 947-951
36. Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL et al. Sport-specific yearly risk and incidence of anterior cruciate ligament tears in high school athletes: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine* 2016; 44: 2716-2723
37. Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P et al. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 778-788
38. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN et al. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports an Exercise* 1990; 22: 825-833
39. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM et al. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 1999; 15: 741-749
40. Hauptmann M. Schnelligkeitsfähigkeit: Objektivierung - Diagnostik. In: Schnabel G, Harre H-D, Krug J, Hrsg. *Trainingslehre - Trainingswissenschaften: Leistung - Training - Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag; 2011: 175-178

41. Hawkins RD, Fuller CW. A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs. *Br J Sports Med* 1999; 33: 196-203
42. Hawkins RD, Hulse M, Wilkinson C et al. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med* 2001; 35: 43-47
43. Hefti E, Müller W, Jakob R et al. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 1993; 1: 226-234
44. Hegedus EJ, Cook CE. Return to play and physical performance tests: evidence-based, rough guess or charade? *British journal of sports medicine* 2015; 49: 1288-1289
45. Herbst E, Hoser C, Hildebrandt C et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2015; 23: 1283-1291
46. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes a prospective study. *The American journal of sports medicine* 1999; 27: 699-706
47. 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. *The American journal of sports medicine* 2005; 33: 492-501
48. Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br J Sports Med* 2009; 43: 417-422
49. Hickey KC, Quatman CE, Myer GD et al. Methodological report: Dynamic field tests used in an NFL combine setting to identify lower extremity functional asymmetries. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association* 2009; 23: 2500-2506
50. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB et al. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2000; 32: 1472-1479
51. Hildebrandt C, Müller L, Zisch B et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2015; 23: 1273-1281
52. Hochschild J. Strukturen und Funktionen begreifen. Funktionelle Anatomie–therapie-relevante Details. Band 2. LWS, Becken und Hüftgelenk, untere Extremität: Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York; 2008
53. Hoffart H-E, Paetz B. Anatomie und Physiologie. In: Paetz B, Hrsg. *Chirurgie für Pflegeberufe*. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2009: 463-464

54. Huston LJ, Wojtys EM. Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *The American journal of sports medicine* 1996; 24: 427-436
55. IKDC (Internationaler Ausschuss zur Dokumentation von Knieverletzungen). Formblätter des International Knee Documentation Committee (2000). Im Internet: https://www.sportsmed.org/AOSSMIMIS/members/downloads/research/IKDC_German.pdf; Stand: 05.05.2019
56. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL et al. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *The American journal of sports medicine* 2001; 29: 600-613
57. Itoh H, Kurosaka M, Shinichi Y et al. Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998; 6: 241-245
58. Janssen RP, van der Wijk J, Fiedler A et al. Remodelling of human hamstring autografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19: 1299-1306
59. Juris PM, Phillips EM, Dalpe C et al. A dynamic test of lower extremity function following anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 1997; 26: 184-191
60. Klingenberg M. Return-to-Sport - Funktionelles Training nach Sportverletzungen. München: Richard Pflaum Verlag GmbH & Co. KG; 2018
61. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH et al. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine* 1991; 19: 76-81
62. Kvist J, Ek A, Sporrstedt K et al. Fear of re-injury: a hindrance for returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005; 13: 393-397
63. Lee DY, Karim SA, Chang HC. Return to Sports After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction--A Review of Patients with Minimum 5-year Follow-up. *Annals Academy of Medicine Singapore* 2008; 37: 273
64. Lohmander LS, Östenberg A, Englund M et al. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis & Rheumatism* 2004; 50: 3145-3152
65. Loudon JK, Wiesner D, Goist-Foley HL et al. Intrarater Reliability of Functional Performance Tests for Subjects With Patellofemoral Pain Syndrome. *J Athl Train* 2002; 37: 256-261
66. Luk H-Y, Winter C, O'Neill E et al. The comparison of muscle force imbalance in powerlifters and jumpers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2014; 28: 23-27
67. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine* 1982; 10: 150-154

68. Magalhaes J, Oliveira J, Ascensao A et al. Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2004; 44: 119-125
69. Majewski M, Habelt S, Steinbrück K. Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *The Knee* 2006; 13: 184-188
70. Markolf KL, Mensch JS, Amstutz HC. Stiffness and laxity of the knee - the contributions of the supporting structures. A quantitative in vitro study. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58: 583-594
71. Meyer T. Trainingsgestaltung im Leistungsfußball-wissenschaftliche Erkenntnisse vs. sportartspezifische Tradition. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2006; 57: 132-137
72. Meyer T, Faude O, Fünten Kad. *Sportmedizin im Fußball: Erkenntnisse aus dem Profifußball für alle Leistungsklassen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag; 2014
73. Mihata LC, Beutler AI, Boden BP. Comparing the incidence of anterior cruciate ligament injury in collegiate lacrosse, soccer, and basketball players implications for anterior cruciate ligament mechanism and prevention. *The American journal of sports medicine* 2006; 34: 899-904
74. Muhr G, Wagner M. *Kapsel-Band-Verletzungen des Kniegelenks: Diagnostikfibel*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag; 1981
75. Myer GD, Ford KR, Paterno MV et al. The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. *The American journal of sports medicine* 2008; 36: 1073-1080
76. Myer GD, Martin LJ, Ford KR et al. No Association of Time From Surgery With Functional Deficits in Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Evidence for Objective Return-to-Sport Criteria. *Am J Sports Med* 2012; 40: 2256-2263
77. Myer GD, Paterno MV, Ford KR et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: Criteria-based progression through the return-to-sport phase. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 2006; 36: 385-402. doi:10.2519/jospt.2006.2222
78. Myer GD, Schmitt LC, Brent JL et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2011; 41: 377-387
79. Myklebust G, Maehlum S, Engebretsen L et al. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 1997; 7: 289-292
80. Myklebust G, Maehlum S, Holm I et al. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1998; 8: 149-153

81. Nagai T, Schilaty ND, Laskowski ER et al. Hop tests can result in higher limb symmetry index values than isokinetic strength and leg press tests in patients following ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2020; 28: 816-822. doi:10.1007/s00167-019-05513-3
82. Narducci E, Waltz A, Gorski K et al. The clinical utility of functional performance tests within one-year post-acl reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther* 2011; 6: 333-342
83. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C et al. The Drop-Jump Screening Test - Difference in Lower Limb Control By Gender and Effect of Neuromuscular Training in Female Athletes. *The American Journal of Sports Medicine* 2005; 33: 197-207
84. Orchard J, Seward H. AFL Injury Report: Season 2007 (28.05.2008). Im Internet: <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=025161179002725;res=IELHEA>; Stand: 10.01.2016
85. Orchard J, Seward H, McGivern J et al. Intrinsic and extrinsic risk factors for anterior cruciate ligament injury in Australian footballers. *The American Journal of Sports Medicine* 2001; 29: 196-200
86. 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. *The American Journal of Sports Medicine* 2010; 38: 1968-1978. doi:10.1177/0363546510376053
87. Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. "Ligamentization" in hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2013; 29: 1712-1721
88. Petersen W. Diagnostik von Bandverletzungen. In: Petersen W, Zantop T, Hrsg. *Das vordere Kreuzband - Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH; 2009: 49-66
89. Petersen W, Rosenbaum D, Raschke M. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Dt Zeitschrift für Sportmedizin* 2005; 56: 150-156
90. Petersen W, Stöhr A, Ellermann A et al. Wiederkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion. Empfehlungen der DKG-Expertengruppe Ligament. *OUP* 2016; 5: 166-176. doi:10.3238/oup.2015.0166-0176
91. Petersen W, Zantop T. Return to play following ACL reconstruction: survey among experienced arthroscopic surgeons (AGA instructors). *Arch Orthop Trauma Surg* 2013; 133: 969-977
92. Petersen W, Zantop T, Rosenbaum D et al. Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 2: Präventionsstrategien und Präventionsprogramme. *Dt Zeitschrift für Sportmedizin* 2005; 56: 157-164

93. Petschnig R, Baron R, Albrecht M. The relationship between isokinetic quadriceps strength and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 1998; 28: 23-31
94. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J et al. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury–reduction regimen. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2007; 23: 1320-1325
95. Pschyrembel. *Klinisches Wörterbuch*. In: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin; 2007
96. Rahnema N, Lees A, Bambaecchi E. A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics* 2005; 48: 1568-1575
97. Reid A, Birmingham TB, Stratford PW et al. Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical therapy* 2007; 87: 337-349
98. Remvig L, Jensen DV, Ward RC. Epidemiology of general joint hypermobility and basis for the proposed criteria for benign joint hypermobility syndrome: review of the literature. *The Journal of rheumatology* 2007; 34: 804-809
99. Risberg MA, Ekeland A. Assessment of functional tests after anterior cruciate ligament surgery. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 1994; 19: 212-217
100. Rohman E, Steubs JT, Tompkins M. Changes in Involved and Uninvolved Limb Function During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Implications for Limb Symmetry Index Measures. *The American Journal of Sports Medicine* 2015; 43: 1391-1398. doi:10.1177/0363546515576127
101. Roos EM. KOOS Scoring (August 2012). Im Internet: <http://www.koos.nu/KOOSscoring2012.pdf>; Stand: 14.04.2019
102. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS et al. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)—development of a self-administered outcome measure. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 1998; 78: 88-96
103. Roos H, Adalberth T, Dahlberg L et al. Osteoarthritis of the knee after injury to the anterior cruciate ligament or meniscus: the influence of time and age. *Osteoarthritis and Cartilage* 1995; 3: 261-267
104. Rudroff T. *Kreuzbandruptur und Rekonstruktion des Ligamentum cruciatum anterius mit Patellar- und Semitendinosussehnentransplantat. Bewegungsverhalten, neuromuskuläre Aktivierung und Rehabilitation.*: Universität Konstanz; 2001
105. Salmon L, Russell V, Musgrove T et al. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2005; 21: 948-957

106. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: a 21-year population-based study. *The American journal of sports medicine* 2016; 44: 1502-1507
107. Sangha O, Stucki G, Liang MH et al. The self-administered comorbidity questionnaire: A new method to assess comorbidity for clinical and health services research. *Arthritis Care & Research* 2003; 49: 156-163
108. Schiltz M, Lehance C, Maquet D et al. Explosive strength imbalances in professional basketball players. *Journal of Athletic Training* 2009; 44: 39-47
109. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus, Lernatlas der Anatomie - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: Georg Thieme Verlag, Stuttgart; 2007
110. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of athletic training* 2008; 43: 396-408
111. Smith HC, Vacek P, Johnson RJ et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature—part 2: hormonal, genetic, cognitive function, previous injury, and extrinsic risk factors. *Sports health* 2012; 4: 155-161
112. Smits-Engelsman B, Klerks M, Kirby A. Beighton score: a valid measure for generalized hypermobility in children. *The Journal of Pediatrics* 2011; 158: 119-123
113. Steinbrück K. Epidemiologie von Sportverletzungen - 25 Jahres-Analyse einer sportorthopädisch-traumatologischen Ambulanz. *Sportverletzung Sportschaden*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York 1999; 13: 38-52
114. Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2010; 18: 277-291
115. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical orthopaedics and related research* 1985; 198: 43-49
116. Tegner Y, Lysholm J, Lysholm M et al. A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. *The American journal of sports medicine* 1986; 14: 156-159
117. Thomeé R, Neeter C, Gustavsson A et al. Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 1143-1151
118. Thomeé R, Werner S. Return to sport. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy* 2011; 19: 1795-1797
119. Trinkle B. Gelenkmessung nach der Neutral-Null-Methode. In: Hüter-Becker A, Dölken M, Hrsg. *Untersuchen in der Physiotherapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2011: 39
120. Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H et al. Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. *The American Journal of Sports Medicine* 2001; 29: 83-87

121. Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN et al. Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament a prospective four-year evaluation of 859 west point cadets. *The American journal of sports medicine* 2003; 31: 831-842
122. Vaverka F, Jandačka D, Zahradník D et al. Effect of an arm swing on countermovement vertical jump performance in elite volleyball players. *Journal of human kinetics* 2016; 53: 41-50
123. VBG. Return-to-Competition - Testmanual zur Beurteilung der Spielfähigkeit nach Ruptur des vorderen Kreuzbands. Hamburg: Jedermann-Verlag GmbH; 2017
124. von Lübken F, Spengler C, Claes C et al. Das neuromuskuläre Defizit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 2008; 56: 17-22
125. von Salis-Soglio GF. Die Neutral-0-Methode: Mit Längen-und Umfangsmessung. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2015
126. Wagner F. Die hintere Kreuzbandverletzung - Eine klinische Nachuntersuchung der BG Unfallklinik Tübingen [Dissertation]: Eberhard-Karls-Universität Tübingen; 2003
127. Waldén M, Hägglund M, Ekstrand J. High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *British journal of sports medicine* 2006; 40: 158-162
128. Waldén M, Hägglund M, Werner J et al. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy* 2011; 19: 3-10
129. Webster KE, Feller JA, Leigh WB et al. Younger patients are at increased risk for graft rupture and contralateral injury after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine* 2014; 42: 641-647
130. Wilke C, Grimm L, Hoffmann B et al. Funktionelle Tests als Entscheidungskriterium für die Rückkehr von Spilsportlern nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Sportverletzung Sportschaden* 2018; 32: 171-186
131. Zantop T. Biomechanik des Kniegelenkes. In: Petersen W, Zantop T, Hrsg. *Das vordere Kreuzband - Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH; 2009: 11-22
132. Zantop T. Intraartikuläres Rupturmuster und Partialrupturen. In: Petersen W, Zantop T, Hrsg. *Das vordere Kreuzband - Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH; 2009: 39-46

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Darstellung der Außen- und Binnenbänder eines rechten Kniegelenkes. Ansicht von lateral. Lig. collaterale tibiale und Meniscus medialis nicht abgebildet (eigene Darstellung).....	3
Abbildung 2: Valgusstress bei einem Fußballspieler (eigene Darstellung).....	6
Abbildung 3: Überblick zu „Anforderungen an einen Spilsportler, die im Rahmen von funktionellen Tests nach einer VKB-Verletzung geprüft werden können“ [130; S. 173], © Georg Thieme Verlag KG.....	12
Abbildung 4: Sportliche Aktivität der weiblichen (links, N = 50) und männlichen (rechts, n = 73) Probanden nach eigener Angabe der absolvierten Sportstunden pro Woche.	15
Abbildung 5: Zeitlicher Abstand zwischen operativer Versorgung und Testzeitpunkt der Patienten in Monaten. Nicht genannte Intervalle traten im Patientenkollektiv nicht auf. ...	16
Abbildung 6: Übersicht der Profilverteilung der „Würzburger Testbatterie“ und Reihenfolge der absolvierten Tests (Nummerierung) (eigene Darstellung).....	23
Abbildung 7: Absprung-, Flug- und Landephase des HFD.	25
Abbildung 8: Absprunghase, Flugphase und Landung des VJ.	26
Abbildung 9: Ablauf des DJ.	27
Abbildung 10: Schematischer Aufbau und Ablauf des F8T bei Start von links (eigene Darstellung).....	28
Abbildung 11: Schematischer Ablauf und Aufbau des MAT bei Start von links (eigene Darstellung nach Myer, Paterno, Ford, et al. [77; S. 396], © Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy®).....	30
Abbildung 12: Ablauf des SRC (eigene Darstellung).	31
Abbildung 13: Ablauf des Shuttle Run Stop (eigene Darstellung).....	32
Abbildung 14: Side-Hop-Test.	33
Abbildung 15: Aktuelle Aktivitätsscores nach Tegner und Lysholm der weiblichen (N = 50) und männlichen (N = 74) Probanden.	36
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung des Beighton Scores weiblicher und männlicher Probanden (inkl. Normalverteilungsannäherung).	37
Abbildung 17: Beindominanz hinsichtlich der Muskeldifferenzen der unteren Extremitäten aller Probanden (N = 124).	39
Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der erzielten Summenscores der LPI Fragenkategorie „Fuß“ hinsichtlich der bevorzugten Seite. Linkskongruent = Werte <0, egal = Wert 0, rechtskongruent = Wert >0.	40
Abbildung 19: Abschneiden der Probanden (n = 114) hinsichtlich der Beindominanz im HFD, VJ, F8T, UDT, SHT und SDT.	41

Abbildung 20: Erzielte LSI-Werte aller Tests (außer DJ) aufgeteilt nach Geschlecht mit bestehenden LSI-Grenzwerten (gestrichelte Linie = 90 %, gepunktete Linie = 85 %). 48

Abbildung 21: Aktivitätsscores nach Tegner und Lysholm der weiblichen (N = 15) und männlichen (n = 25, zwei fehlend) Patienten zum Zeitpunkt der Testung. Nicht genannte Scores traten nicht auf..... 51

Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung des Beighton Scores weiblicher und männlicher Patienten (inkl. Normalverteilungsannäherung). 52

Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung des Tegner-Scores männlicher und weiblicher Patienten mit Markierungen der Gruppeneinteilung (gestrichelte Linien) nach Tegner and Lysholm [115]. 53

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Deskriptiva der gesunden Probanden bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI getrennt nach Geschlecht.....	14
Tabelle 2: Deskriptiva der Patienten bezüglich Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI getrennt nach Geschlecht.	16
Tabelle 3: Übersicht über den kompletten Ablauf mit zeitlicher Einschätzung. Angaben in Klammern bezeichnen die Version für Patienten/für gesunde Testteilnehmer.	17
Tabelle 4: Deskriptiva zu absoluten (abs) und relativen (rel) Muskeldifferenzen an Unter- (US) und Oberschenkl (OS) der unteren Extremität männlicher und weiblicher Probanden.	39
Tabelle 5: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse (ausgenommen DJ) gesunder Probanden getrennt nach Geschlecht.	42
Tabelle 6: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse im DJ gesunder Probanden getrennt nach Geschlecht.	47
Tabelle 7: Übersicht über die Zusammenhänge der Testergebnisse innerhalb der Anforderungsprofile Maximalkraft (zwischen HFD und VJ) hinsichtlich der maximalen Sprungweite bzw. -höhe, Schnelligkeit (zwischen F8T und UDT) hinsichtlich der benötigten Zeit und Ausdauer (zwischen SHT und SDT) hinsichtlich der maximal gültigen Anzahl absolvierter Bewegungsabläufe.	49
Tabelle 8: Übersicht über Zusammenhänge zwischen Körpergröße männlicher (N = 74) und weiblicher (N = 50) Probanden und deren maximalen Weitsprungergebnissen im HFD und VJ.	50
Tabelle 9: KOOS-Subscores in den fünf Kategorien Symptome, Schmerzen, Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Sport und Freizeit und Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie der männlichen und weiblichen Patienten.	54
Tabelle 10: Häufigkeiten der durchgeführten Sprungtests der Patienten (getrennt nach Geschlecht und Gesamtanzahl).....	55
Tabelle 11: Deskriptiva der erzielten Testergebnisse in den vier am häufigsten ausgeführten Tests der Patienten getrennt nach Geschlecht (b = betroffenes Bein, nb = nicht betroffenes Bein).	56

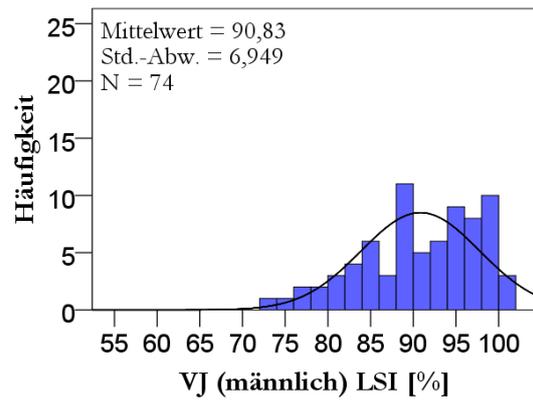
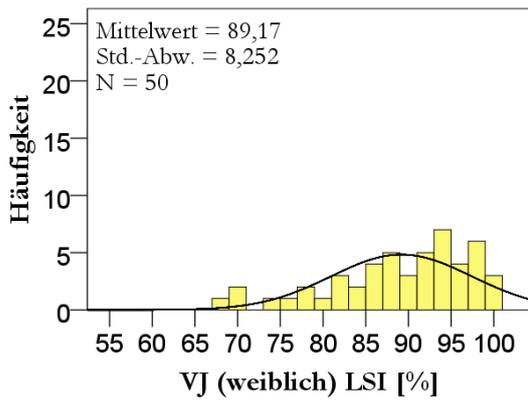
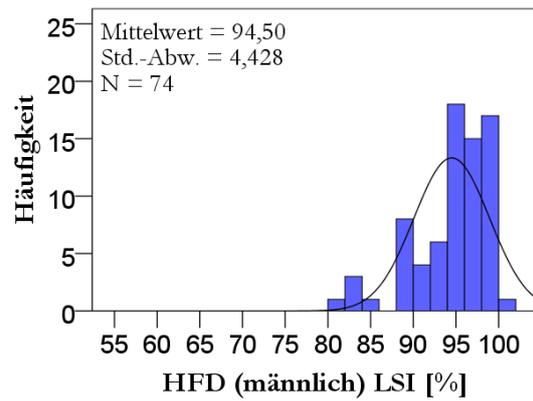
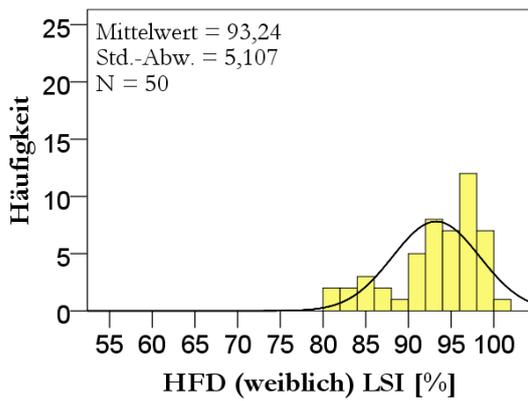
9 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

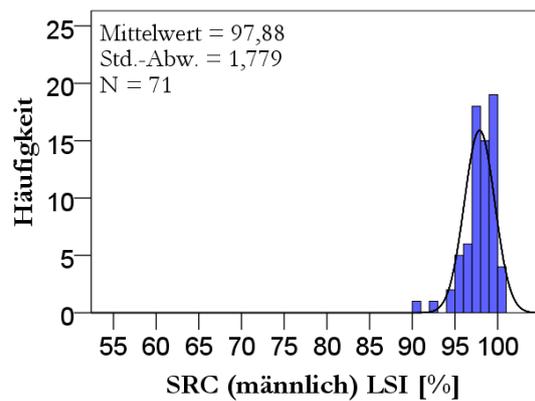
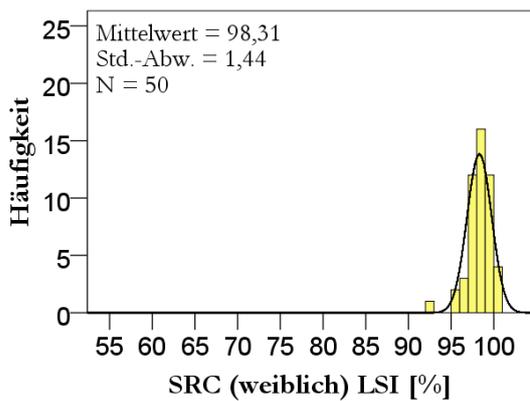
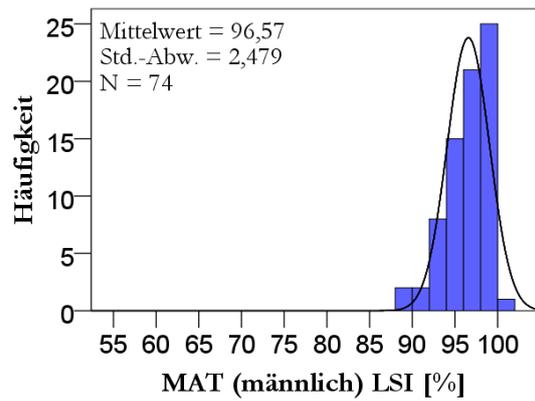
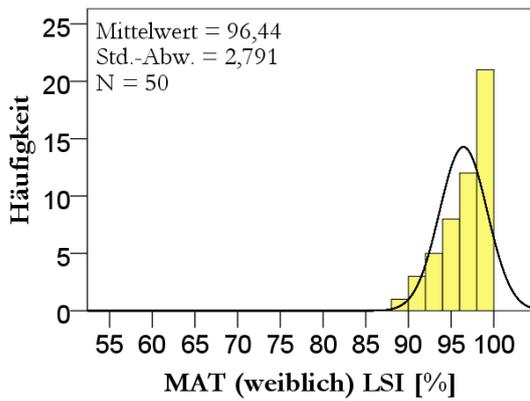
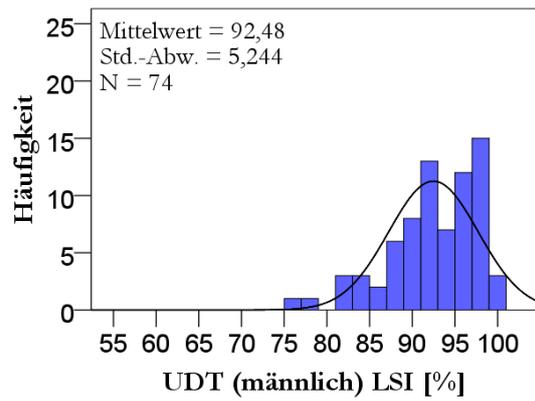
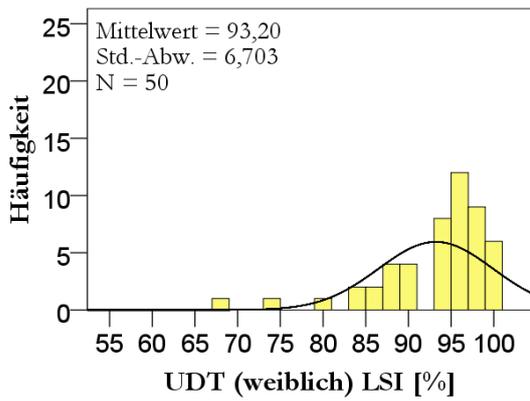
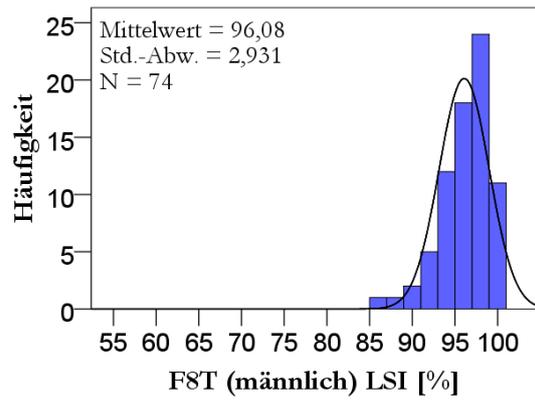
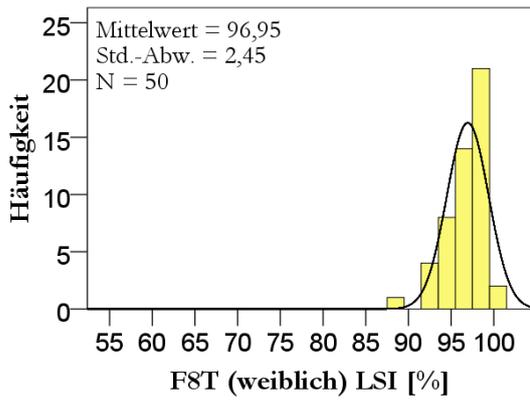
ADL	=	Aktivitäten des täglichen Lebens
AGA	=	Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie
BMI	=	Body-Mass-Index
DJ	=	Drop Jump
EBS	=	Einbeinsprung, Einbeinsprünge
F8T	=	Figure of Eight Test
FAT	=	Functional Ability Test
GKH	=	Grundkörperhaltung (siehe Kapitel 2.7)
HFD	=	Hop for Distance
HKB	=	Hinteres Kreuzband, Lig. cruciatum post.
IKDC	=	International Knee Documentation Committee
KOOS	=	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
LPI	=	Laterality-Präferenz-Inventar
LSI	=	Limb bzw. Leg Symmetry Index
MAT	=	Modified Agility T-Test
ROC	=	Receiver-Operating-Characteristics-Kurven
RTP	=	Return to Play
SDT	=	Step Down Test
SHT	=	Side Hop Test
SRC	=	Shuttle Run Circle
SRS	=	Shuttle Run Stop
VBG	=	Verwaltungs-Berufgenossenschaft
VJ	=	Vertical Jump
VKB	=	Vorderes Kreuzband, Lig. cruciatum ant.

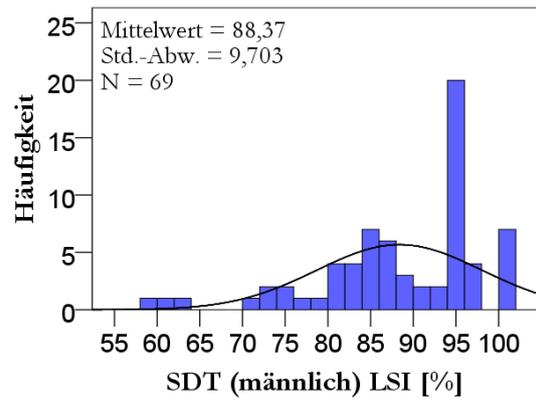
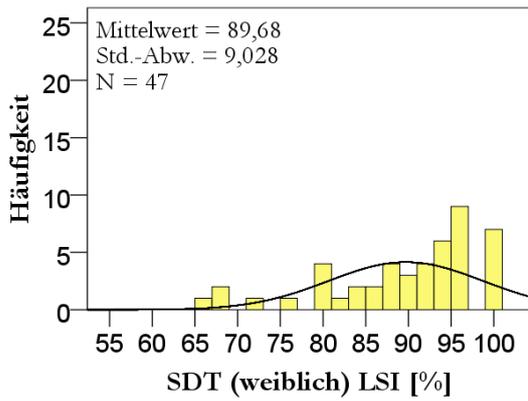
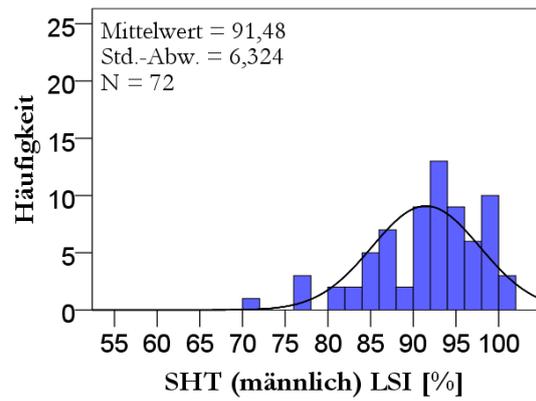
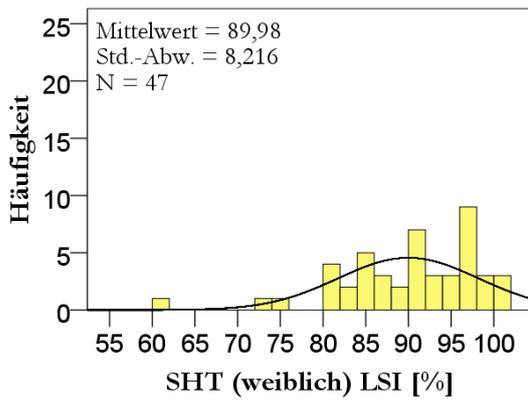
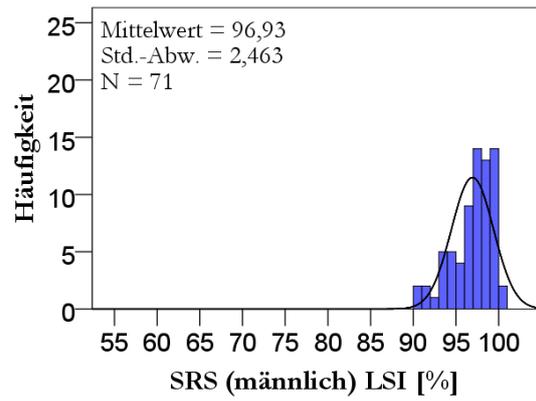
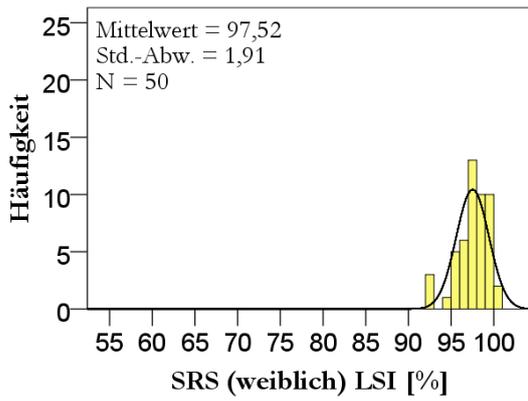
10 ANHANG

10.1 Ergänzung zur Datenauswertung

Detaillierte Häufigkeitsverteilungen der LSI-Werte aller Tests (außer DJ) gesunder männlicher und weiblicher Probanden (inkl. Normalverteilungsannäherung):







10.2 Probandeninformation

Probandeninformation

Sehr geehrte(r) Proband(in),

die Verletzungen des Kniegelenkes sind nach dem Sprunggelenk die häufigsten Sportverletzungen. Sportler, die bereits ein schwerwiegendes Trauma des Kniegelenkes wie z.B. einen Riss des vorderen Kreuzbandes erlitten haben, zeigen ein deutlich erhöhtes Risiko eine erneute Verletzung zu erleiden. Darüber hinaus können viele ihr ursprüngliches Leistungsniveau nicht wieder erreichen.

Ein Grund hierfür liegt in der unzureichenden Muskelsteuerung und Koordinationsfähigkeit.

Wann ist der richtige Zeitpunkt zum Sport zurück zu kehren? Wann ist es wieder möglich, an Wettkämpfen teil zu nehmen ohne ein erhöhtes Verletzungsrisiko einzugehen?

Es gibt Funktionstests, die das aktuelle Leistungsniveau des Sportlers prüfen können, jedoch sind diese bisher noch unzureichend überprüft worden. Hier setzt unsere Studie an.

Im Rahmen von 10-11 (Sprung-) Tests wollen wir nach Möglichkeit Vergleichswerte erheben, die dann hinterher Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit einzelner Sportler zulassen.

Was sind die Risiken, wenn Sie als Proband an der Messung teilnehmen?

Die Sprungtests sind allesamt aus kleinster Höhe (ca. 40 cm) oder aus dem Stand. Es besteht kein erhöhtes Verletzungsrisiko.

Entstehen für den Probanden Vorteile?

Ein persönlicher Vorteil entsteht für die teilnehmenden Probanden dahingehend, dass Sie hinterher Rückschlüsse ziehen können, ob Ihre Koordinationsfähigkeit ausreichend gut ist oder ob ggf. Defizite bestehen. Diese könnten dann gezielt durch ein spezifisches Training gemindert werden, um wiederum das individuelle Verletzungsrisiko zu verringern.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Wir bedanken uns herzlich für Ihre Teilnahme an den Messungen!

Lisa Feulner, Doktorandin

Dr. Kai Fehske

Universität Würzburg

10.3 Untersuchungsbogen

Proband:

Probandennr.:

Geburtsdatum:

Email-Adresse:

Gewicht:

BMI:

Größe:

Umfangsmessung: [cm]

	Linkes Bein	Rechtes Bein
Unterschenkel (15 cm)		
Oberschenkel (10 cm)		
Oberschenkel (20 cm)		

Abstand: Knie Gelenkspalt (Querfinger)

0	1	2	3	4	5

Abstand: Fußknöchel (Querfinger)

0	1	2	3	4	

Frühere Verletzungen: [Untere Extremität]

Keine

Links: _____ Rechts: _____

Akute Beschwerden: [Untere Extremität]

Keine

Links: _____ Rechts: _____

10.4 Fragebögen

10.4.1 IKDC und KOOS (gekürzte Versionen)

IKDC – DEMOGRAFISCHES FORMBLATT

Name: _____ Vorname: _____

Geburtsdatum: ____/____/____ Geschlecht: männlich
Tag Monat Jahr weiblich

E-Mail-Adresse: _____

Beruf: _____

Heutiges Datum: ____/____/____
Tag Monat Jahr

1. Nachstehend finden Sie eine Liste häufig vorkommender Gesundheitsbeschwerden. Bitte kreuzen Sie in der ersten Spalte „Ja“ oder „Nein“ an, geben Sie bitte in der zweiten Spalte an, ob Sie dafür Medikamente erhalten oder anderweitig behandelt werden. In der letzten Spalte geben Sie bitte an, ob Ihre Aktivitäten durch diese Beschwerden oder Krankheiten eingeschränkt werden.

	Haben Sie diese Beschwerden?		Sind Sie deswegen in Behandlung?		Sind Ihre Aktivitäten dadurch eingeschränkt?	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Herzkrankheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hoher Blutdruck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asthma oder Lungenkrankheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diabetes (Zuckerkrankheit)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschwür oder Erkrankung des Magens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darmerkrankung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nierenerkrankung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lebererkrankung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anämie (Blutarmut) oder andere Blutkrankheiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Übergewicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Krebs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Depression	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gelenkentzündung, degenerative Arthritis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rheumatoide Arthritis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rückenschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lyme-Borreliose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Gesundheitsbeschwerden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alkoholismus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Rauchen Sie Zigaretten?

- Ja.
- Nein, ich habe das Rauchen in den letzten sechs Monaten aufgegeben.
- Nein, ich habe das Rauchen vor mehr als sechs Monaten aufgegeben.
- Nein, ich habe nie geraucht.

3. Ihre Größe: _____ Zentimeter Inches

4. Ihr Gewicht: _____ Kilogramm Pfund

5. Ihre rassische Zugehörigkeit (bitte alles Zutreffende ankreuzen):

- Weiß
- Schwarz oder Afro-Amerikanisch
- Hispanisch
- Asiatisch oder Pazifische Inseln
- Nordamerika-Indianer
- Sonstiges

6. Welchen Schulabschluss haben Sie?

- Hauptschule
- Realschule
- Mittlere Reife
- Abitur
- Fachausbildung
- Universität
- Postgraduiertenstudium

7. Wie intensiv ist Ihre sportliche Betätigung?

- Ich bin ambitionierte/r Sportler/in.
- Ich bin gut durchtrainiert und treibe häufig Sport.
- Ich treibe ab und zu Sport.
- Ich treibe nie Sport.

IKDC – FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES

(gekürzte Version)

Name: _____ Vorname: _____

Heutiges Datum: _____ / _____ / _____
Tag Monat Jahr

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (z. B. Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht mit zunehmender Stärke der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

Linkes Knie

Keine Schmerzen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Unerträgliche Schmerzen
	<input type="checkbox"/>											

Rechtes Knie

Keine Schmerzen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Unerträgliche Schmerzen
	<input type="checkbox"/>											

8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (z. B. Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies folgende Aktivitäten für Sie?

		überhaupt nicht schwierig	Minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmöglich
a.	Treppensteigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.	Treppe hinuntergehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.	Auf dem vorderen Knie knien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.	Hockstellung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e.	Normal sitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f.	Vom Stuhl aufstehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g.	Geradeaus laufen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h.	Hochspringen und auf dem betroffenen Bein Landen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i.	Beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportler/in sind) schnell anhalten und starten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

KOOS Score (Knee and Osteoarthritis Outcome Score) (gekürzte Version)

Name: _____ Vorname: _____

Heutiges Datum: _____ / _____ / _____
Tag Monat Jahr

ANLEITUNG: Dieser Ankreuzbogen befragt Sie, welchen Eindruck Sie von Ihrem Knie haben. Die dadurch gewonnene Information wird uns helfen zu überwachen, wie es Ihnen mit Ihrem Knie geht und wie gut Sie in der Lage sind, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten.

Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens.

Bitte nur ein Kästchen pro Frage ankreuzen.

Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Sport und Freizeit:

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen eher sportlicher Aktivitäten. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der **letzten Woche** erfahren haben.

Hatten Sie Schwierigkeiten **letzte Woche** als Sie z. B.:

SP1. in die Hocke gingen?

keine wenig einige große sehr große

SP2. rannten?

keine wenig einige große sehr große

SP3. hüpfen?

keine wenig einige große sehr große

SP4. sich auf Ihrem kranken Knie umdrehen?

keine wenig einige große sehr große

SP5. sich hinknieten?

keine wenig einige große sehr große

Vielen Dank für die Beantwortung aller Fragen dieses Fragebogens!

10.4.2 LPI



sportropaedicum
 straubing
 berlin
 regensburg
 münchen

Sportropaedicum Straubing, Regensburg, München

PD Dr med Thore Zantop
 Dipl.-Sportwiss. Christian Zantop

Sportropaedicum Straubing, Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing

Lateralitäts-Präferenz-Inventar (LPI)

Fragebogen: Lesen Sie bitte die Fragen durch und entscheiden, welches Auge oder Ohr, welche Hand oder welchen Fuß Sie für die jeweils beschriebene Tätigkeit einsetzen würden. Markieren Sie die zutreffende Antwort. Sollten Sie sich nicht sicher sein, versuchen Sie einfach die beschriebene Tätigkeit nachzuahmen. Falls Sie dennoch keine Seite bevorzugen, so kreuzen Sie „egal“ an.

	links	egal	rechts
1. Mit welchem Auge würden Sie durch ein „einäugiges“ Fernrohr schauen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mit welchem Auge würden Sie von oben den Füllungsgrad einer undurchsichtigen Feld- oder Thermosflasche prüfen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Mit welchem Auge würden Sie durch ein Schlüsselloch gucken?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mit welchem Auge würden Sie durch das Visier eines Sportgewehrs zielen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auge (R-L): __			
1. Welches Ohr würden Sie an eine Tür lehnen, wenn Sie dahinter ein Gespräch belauschen wollten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. An welches Ohr würden Sie bei schlechter Hörverbindung den Telefonhörer legen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Welches Ohr würden Sie an die Brust einer ohnmächtigen Person legen, um deren Herzschlag zu überprüfen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Stellen Sie sich auf einem Tisch ein Kästchen vor, in dem eine mechanische Taschenuhr ist. Welches Ohr würden Sie auf dieses Kästchen legen, um das Ticken der Uhr festzustellen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ohr (R-L): __			
1. Mit welcher Hand zeichnen Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mit welcher Hand würden Sie einen kleinen Ball auf ein Ziel werfen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Seite 1 von 2

Bitte Rückseite beachten!

LATERALITÄTS-PRÄFERENZ-INVENTAR (LPI)
nach Ehrenstein und Arnold-Schulz-Gahmen (1997)

3. Mit welcher Hand würden Sie einen Radiergummi über das Papier führen?

4. Mit welcher Hand decken Sie in einem Kartenspiel die oberste Karte vom Stapel auf?

Hand (R-L):

1. Mit welchem Fuß würden Sie einen Fußball auf ein Tor schießen?

2. Mit welchem Fuß würden Sie (mittels der Zehen) einen Kieselstein aufgreifen?

3. Mit welchem Fuß würden Sie glühende Zigarettenasche auf dem Boden austreten?

4. Mit welchem Fuß würden Sie zuerst auf einen Stuhl oder eine Trittleiter steigen?

Fuß (R-L):

Bitte die nachfolgende Tabelle nicht ausfüllen, die Auswertung wird vom Versuchsleiter durchgeführt!

	Lateralitätsprofil									
	links			beidseitig				rechts		
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	
Auge	<input type="checkbox"/>									
Ohr	<input type="checkbox"/>									
Hand	<input type="checkbox"/>									
Fuß	<input type="checkbox"/>									

10.4.3 Würzburger Sportfragebogen

Fragebogen zur sportlichen Aktivität

Name: _____

1. Wie sportlich aktiv fühlst du dich?

Im Vergleich zu gleichaltrigen Personen fühle ich mich	
viel weniger aktiv	<input type="checkbox"/>
weniger aktiv	<input type="checkbox"/>
gleich aktiv	<input type="checkbox"/>
aktiver	<input type="checkbox"/>
viel aktiver	<input type="checkbox"/>

2. Berufliche Bindung an den Sport?

	ja	nein
Sportstudent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Berufssportler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freizeitsportler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trainer / Therapeut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Dominanz

	links	rechts	egal
Rechtshänder/Linkshänder?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit welcher Hand schreibst du?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linksfüßler/Rechtsfüßler?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was ist dein Sprungbein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was ist dein Schussbein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Was ist dein Wurf-/Schlagarm?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welches Bein ist bei dir beim Tiefstart vorne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welches Bein ist bei dir beim Snowboard-/Skateboardfahren vorne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf welchem Bein fühlst du dich beim Einbeinstand stabiler?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Sportliche Aktivität insgesamt

Wie viele Stunden pro Woche betätigst du dich sportlich?	
nie	<input type="checkbox"/>
selten (< 2 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
häufig (2 - 4 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
regelmäßig (4 - 6 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
viel (6 - 8 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
sehr viel (> 8 h/Woche)	<input type="checkbox"/>

5. Sprungkrafttraining

Wie häufig trainierst du aktiv deine Sprungkraft?	
nie	<input type="checkbox"/>
selten (< 1 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
häufig (1 - 2 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
regelmäßig (2 - 3 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
viel (3 - 4 h/Woche)	<input type="checkbox"/>
sehr viel (> 4 h/Woche)	<input type="checkbox"/>

6.1. Sportarten (Mehrfachnennungen möglich)

	nie	selten (2h/ Woche)	häufig (2 - 4 h/Woche)	regelmäßig (4 - 6 h/Woche)	viel (6 - 8 h /Woche)	sehr viel (> 8 h /Woche)	seit (Jahre):	Auf welchem Niveau?	Spielposition/ Teildisziplinen
Basketball	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Handball	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Fußball	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Volleyball	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Tennis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Badminton	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Anderer Ball-/Ruckschlagspiele	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Joggen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Schwimmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Fahrradfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Wandern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Fitnessstudio:									
Geräte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Cardio/Kurse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Turnen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Gymnastik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Kampfsport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Leichtathletik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Tanzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Anderer:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

6.2. Saisonsportarten

	nie	selten (5 Tage/ Jahr)	häufig (5-9 Tage/Jahr)	regelmäßig (4 - 6 h/Woche)	viel (6 - 8 h /Woche)	sehr viel (> 8 h /Woche)	seit (Jahre):	Auf welchem Niveau?
Skateboarden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Inlineskating	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Klettern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Anderer Funsportart (z.B. Beachvolleyball)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Ski/Alpin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Langlauf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Snowboard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Anderer:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

10.4.4 Lysholm Score



sportropaedicum
 straubing
 berlin
 regensburg
 münchen

Sportropaedicum Straubing, Regensburg, München
 PD Dr med Thore Zantop

Sportropaedicum Straubing, Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing

Lysholm Score (modifizierter Score nach Lysholm und Gillquist)

Hinken	nein	5
	wenig oder zeitweise	3
	stark oder immer	1
Belastung	Vollbelastung	5
	Gehstützen oder Stock	3
	Belastung nicht möglich	0
Blockierung	keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung	15
	Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung	10
	gelentliche Blockierung	6
	häufige Blockierung	2
	blockiertes Gelenk bei Untersuchung	0
Instabilität	Niemals "giving way" Phänomen	25
	"giving way" selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung	20
	"giving way" häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich, daran teilzunehmen)	15
	"giving way" gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10
	"giving way" oft während Tätigkeiten des Alltags	5
	"giving way" bei jedem Schritt	0
Schmerzen	keine	25
	unregelmäßig and gering während schwerer Anstrengung	20
	deutlich/ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15
	deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2 km	10
	deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2 km	5
	ständig	0

Schwellung	keine	10
	bei schwere Anstrengung	6
	bei gewöhnlicher Anstrengung	2
	ständig	0
Treppensteigen	kein Problem	10
	ein wenig beeinträchtigt	6
	Schritt für Schritt	2
	nicht möglich	0
Hocken	kein Problem	5
	wenig beeinträchtigt	4
	nicht über 90°	2
	nicht möglich	0

10.4.5 Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm



sportropaedicum
 straubing
 berlin
 regensburg
 münchen

Sportropaedicum Straubing, Regensburg, München
 PD Dr med Thore Zantop

Sportropaedicum Straubing, Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing

Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm (Tegner und Lysholm Clin Orthop 1985)

	VORHER:	AKTUELL:	ZIEL:
Sick leave or disability pension because of knee problems.	0	0	0
Work: sedentary work Walking on even ground possible	1	1	1
Work: light labor Walking on uneven ground possible but impossible to walk in forest	2	2	2
Work: light labor (e.g., nursing) Competitive and recreational sports: swimming Walking in forest possible	3	3	3
Work: moderately heavy labor (e.g., truck driving, heavy domestic work) Recreational sports: cycling, cross-country skiing, Jogging on even ground at least twice weekly	4	4	4
Work: Heavy labor (e.g., building, forestry) Competitive sports:cycling, cross-country skiing Recreational sports:jogging on uneven ground at least twice weekly	5	5	5
Recreational sports: tennis and badminton, handball, basketball, downhill skiing, jogging at least five times per week	6	6	6
Competitive sports: tennis, athletics (running), motorcross, speedway, handball, basketball Recreational sports: soccer, bandy and ice hockey, squash, athletics (jumping) Cross-country trackfindings both recreational and competitive	7	7	7
Competitive sports: bandy, squash or badminton, athletics (jumping, etc.), downhill skiing	8	8	8
Competitive sports: soccer, lower divisions, ice hockey, wrestling, gymnastics	9	9	9
Competitive sports: soccer - national and international elite	10	10	10

10.4.6 Beighton Score



Sporthopaedicum Straubing, Regensburg, München
 PD Dr med Thore Zantop

sporthopaedicum
 straubing
 berlin
 regensburg
 münchen

Sporthopaedicum Straubing, Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing

BEIGHTON-Score (Test auf Hypermobilität)

Test	Punkte
Handflächen können bei gestreckten Knie auf den Boden aufgelegt werden (FBA <0cm)	1
Überstreckbarkeit der Ellbogen um $\geq 10^\circ$, jeweils rechts und links	je Seite 1
Daumen berührt den Unterarm	je Seite 1
Überstreckung des Grundgelenkes des kleinen Fingers auf 90°	je Seite 1
Überstreckbarkeit der Kniegelenke um $\geq 10^\circ$, jeweils rechts und links	je Seite 1

10.5 BMI-Tabelle für SHT

Frauen

Konstitution	normal			athletisch		
	BMI [kg/m ²]	16-18,49	18,5-24,99	25-30	16-18,49	18,5-24,99
Sprungweite [cm]	30	35	25	30	35	35

Männer

Konstitution	normal			athletisch		
	BMI [kg/m ²]	16-18,49	18,5-24,99	25-30	16-18,49	18,5-24,99
Sprungweite [cm]	35	40	30	35	40	40

10.6 Datenblatt



Sporthopaedicum Straubing, Regensburg, München
 PD Dr med Thore Zantop

sporthopaedicum
 straubing
 berlin
 regensburg
 münchen

Sporthopaedicum Straubing, Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing

TEST- nummer / TEST-ADRESSE (Straubing)	TEST-ADRESSE (Regensburg)	TEST-ADRESSE (München)	PROBAND						
			TEST	LINKES BEIN:			RECHTES BEIN:		
☐	☐	☐	HFD1	Sprunghöhe:			Sprunghöhe:		
			HFD2						
			HFD3						
			HFD4						
			HFD5						
			HFD [MAX]						
HFD [LSD]									
☐	☐	☐	V11	Sprunghöhe:			Sprunghöhe:		
			V12						
			V13						
			V14						
			V15						
			V15T [MAX]						
V1 [LSD]									
☐	☐	☐	DI (Nr. 1)	Sprunghöhe:	Regelst:	Stützzeit:	Stützzeit:		
			DI (Nr. 2)						
			DI (Nr. 3)						
			DI (Nr. 4)						
			DI (Nr. 5)						
			DI [max]						
DI [Stützzeit]									
MAX [LSD]									
☐	☐	☐	E-SF1	Zeit:	Severanzahl:		Zeit:	Severanzahl:	
			E-SF2						
			E-SF [MIN]						
			E-SF [LSD]						
☐	☐	☐	UDF1	Zeit:	Severanzahl:		Zeit:	Severanzahl:	
			UDF2						
			UDF [min]						
			UDF [LSD]						
☐	☐	☐	MAT1	Zeit:	Schrittzahl / Side-Step:		Zeit:	Schrittzahl / Side-Step:	
			MAT2						
			MAT [min]						
			MAT [LSD]						
☐	☐	☐	SR-Circle	Zeit:			Zeit:		
			SR-Circle						
			SR-Circle [min]						
			SR-Circle [LSD]						
☐	☐	☐	SR-Stop	Zeit:			Zeit:		
			SR-Stop						
			SR-Stop [min]						
			SR-Stop [LSD]						
SCHNEID [LSD]									
☐	☐	☐	SHT1	brutto:	gesamt:	netto:	brutto:	gesamt:	netto:
			SHT2						
			SHT [MAX]						
			SHT [LSD]						
☐	☐	☐	SDF1	brutto:	gesamt:	netto:	brutto:	gesamt:	netto:
			SDF2						
			SDF [MAX]						
			SDF [LSD]						
☐	☐	☐	SQT1	brutto:	gesamt:	netto:	brutto:	gesamt:	netto:
			SQT2						
			SQT [MAX]						
			SQT [LSD]						
DAUER [LSD]									
SF (gesamt)			Gesamte Test-Batterie:			Teilgenommene Tests:			

DANKSAGUNG

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Rainer Meffert für die Möglichkeit an seiner Klinik zu promovieren.

Bei Dr. Kai Fehske bedanke ich mich herzlich für die Bereitstellung des Themas und die langjährige fachliche Betreuung – auch neben der Erstellung der Dissertation.

Priv.-Doz. Dr. Thore Zantop und seinem Bruder Christian Zantop, gemeinsam mit der Würzburger Arbeitsgruppe bestehend aus Dr. Kai Fehske, Prof. Dr. Olaf Hoos, David Aschenbrücker, Lukas Kreischer, Dennis Orf und Alexandra Wüstner danke ich für die Zusammenarbeit, das Zusammenstellen der Testatterie, die Möglichkeit zur Nutzung der Räumlichkeiten und Gerätschaften in der Hochschule sowie für die Hilfe bei der Erhebung der benötigten Daten.

Ein riesiges Dankeschön geht an meinen Ehemann Sebastian für seine unendliche Geduld, die aufmunternden Worte mit rundum Betreuung und die reichlich konstruktiven Ratschläge.

Meinen Freundinnen Constanze Böck und Franziska Käßner danke ich für die Hilfe bei der Korrektur und die Ablenkungen mit jeder noch so kleinen oder auch etwas größeren Kaffeepause.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern Brigitte und Stefan sowie meinem Bruder Manuel bedanken, die mich auf meinem Lebensweg immer unterstützt haben, mir mein komplettes Studium – und auch noch vieles mehr – so sorgenfrei ermöglicht haben, stets ein offenes Ohr für mich haben, mir immer mit guten Ratschlägen während der Erstellung dieser Arbeit zur Seite standen und mich ermutigt haben sie „endlich“ fertigzustellen.