Validität einer neuartigen Testbatterie zur Vorhersage von Wiederverletzungen nach Rehabilitation von Kreuzbandverletzungen

Validity of a novel return to sports test battery to predict reinjury rate after rehabilitation for ACL injuries

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Jonathan Häußer

aus

Lüneburg

2025

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Frank Timo Beil

Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Gunnar Lund

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Gunnar Lund

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Götz H. Welsch

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Thorsten Schinke

Datum der mündlichen Prüfung: 04.06.2026

Inhaltsübersicht

1 ARBEITSHYPOTHESE UND FORSCHUNGSFRAGE 5

2 EINLEITUNG 6

3 MATERIALIEN UND METHODEN 8

3.1 INTERVENTION 9
3.2 RETURN TO SPORT-TESTBATTERIE 10
3.3 MESSGRÖßEN DES OUTCOMES 12
3.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG 16

4 ERGEBNISSE 17

4.1 WIEDERVERLETZUNGSRATE ZWEI JAHRE NACH VKBR 20
4.2 WIEDERVERLETZUNGSRATE IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN KOMPONENTEN DER TESTBATTERIE 21
4.3 WIEDERVERLETZUNGSRATE IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT 21

5 DISKUSSION 23

5.1 WIEDERVERLETZUNGSRATE 23
5.2 BESTEHENSQUOTE 25
5.3 ZEIT BIS ZUR RÜCKKEHR IN DEN SPORT 26
5.4 ALTER, GESCHLECHT UND AKTIVITÄTSNIVEAU 27
5.5 BESTANDTEILE DER TESTBATTERIE 28
5.5.1 SPRUNGTESTS 28
5.5.2 KRAFTTESTS 29
5.5.3 Y-BALANCE-TEST 30
5.5.4 BEWEGUNGSQUALITÄT 31
5.5.5 PSYCHOLOGISCHE MESSINSTRUMENTE 32
5.6 WAS IST DIE OPTIMALE TESTBATTERIE FÜR DIE RÜCKKEHR IN DEN SPORT? 33
5.7 STÄRKEN UND SCHWÄCHEN 35
5.8 SCHLUSSFOLGERUNG 37

6 ZUSAMMENFASSUNG 39

6.1 SUMMARY 40

7 REFERENZEN **41**

8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **49**

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS **50**

10 TABELLENVERZEICHNIS **51**

11 FRÜHERE VERÖFFENTLICHUNGEN **52**

12 DANKSAGUNGEN **53**

13 ERKLÄRUNG DES EIGENANTEILS **54**

14 EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG **55**

15 ANHANG **56**

15.1 ANHANG 1: REHABILITATIONSPROTOKOLL 56
15.2 ANHANG 2: LYSHOLM-SCORE 57
15.3 ANHANG 3: ACL-RSI 58
15.4 ANHANG 4: TEGNER ACTIVITY SCALE (TAS) 60
15.5 ANHANG 5: DAS STROBE-STATEMENT – CHECKLISTE DER PUNKTE, DIE IN BERICHTEN ÜBER BEOBACHTUNGSSTUDIEN ENTHALTEN SEIN SOLLTEN 62
15.6 ANHANG 6: CHECKLISTE ZUR INTERVENTIONSBESCHREIBUNG UND REPLIKATION (TIDIER) 65

1 Arbeitshypothese und Forschungsfrage

Die Arbeitshypothesen bezüglich der Wiederverletzungsraten nach der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB) beschäftigen sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Bestehen einer Testbatterie für den Return to Sport (RTS) zu bestimmten Zeitpunkten und späteren Verletzungen.

Hypothese 1 besagt, dass Patienten, die die RTS-Testbatterie sowohl 6 als auch 12 Monate nach der Operation bestehen, nach 24 Monaten eine signifikant niedrigere Wiederverletzungsrate aufweisen als Patienten, die sie nicht bestehen. Diese Hypothese legt nahe, dass der erfolgreiche Abschluss der Testbatterie mit einer angemessenen Genesung und funktionellen Bereitschaft korreliert, wodurch das Risiko einer erneuten Verletzung aufgrund der verbesserten Kraft und neuromuskulären Kontrolle möglicherweise verringert wird.

Hypothese 2 erweitert diese Idee und besagt, dass Patienten, die die RTS-Testbatterie entweder nach 6 oder 12 Monaten bestehen, auch nach 24 Monaten eine signifikant niedrigere Wiederverletzungsrate aufweisen als diejenigen, die beide Tests nicht bestehen.

Forschungsfragen, die sich aus diesen Hypothesen ergeben, sind die folgenden:

1. Welche spezifischen Komponenten der RTS-Testbatterie sind Prädiktoren für eine erneute Verletzung?
2. Welche Faktoren beeinflussen das Bestehen oder Nichtbestehen der RTS-Testbatterie?
3. Gibt es Unterschiede zwischen Männern und Frauen sowohl bei der Wiederverletzungsrate als auch beim Bestehen der Testbatterie?

2 Einleitung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist eine häufige Verletzung bei jungen und aktiven Patienten. Laut Sanders et al. liegt Inzidenz in der Allgemeinbevölkerung bei 68,6 pro 100.000 (Sanders et al. 2016). Versicherungsdaten aus den USA aus 2020 haben hingegen eine Inzidenz von 53,32 VKB-Rupturen pro 100.000 ergeben (Bergstein et al. 2025). Jedes Jahr kommt es somit allein in den Vereinigten Staaten zu schätzungsweise 250.000 VKB-Verletzungen (Griffin et al. 2006). Von diesen Patienten erhalten zwischen 100.000 und 200.000 eine VKB-Rekonstruktion (Abrams et al. 2014, Griffin et al. 2006). Für Deutschland gibt es lediglich Daten zur Inzidenz von stationären Kreuzbandplastiken, welche in 2013 bei 46/100.000 Einwohnern lag (Domnick et al. 2017).

Auf die Kreuzbandplastik folgt eine umfangreiche Rehabilitationsphase, die in der Regel 6-12 Monate dauert, bis Patienten zum Sport zurückkehren. Es besteht jedoch ein erhebliches Risiko für erneute Verletzungen. Wiggins et al. berichten von einer Wiederverletzungsrate von insgesamt 15% sowohl für ipsilaterale (7%) als auch für kontralaterale (8%) Verletzungen (Wiggins et al. 2016). Zusätzliche Risikofaktoren sind ein junges Alter und die Rückkehr zum Hochleistungssport. So beträgt die Wiederverletzungsrate bei jungen Sportlern, die in Hochrisikosportarten zurückkehren, 23% (Wiggins et al. 2016). In einer Metaanalyse von Lai et al. lag die gepoolte Transplantatrupturrate bei 5,2% (Lai et al. 2018). Allerdings sind Wiederverletzungen nicht auf Transplantatrupturen beschränkt. Auch Verletzungen der Menisken sind häufig (Grindem et al. 2016). In einer systematischen Übersicht wurden Wiederverletzungsraten von 3 bis 49 % festgestellt (Barber-Westin and Noyes 2011).

Dementsprechend ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Athleten nicht zu früh oder in schlechter Verfassung in den Sport zurückkehren, was durch die Tatsache unterstrichen wird, dass 45,5% der erneuten Verletzungen innerhalb der ersten zwei Monate nach dem RTS auftreten (Grindem et al. 2016). Dies ist besonders bei Profisportlern eine Herausforderung, wenn sowohl der Sportler als auch die

Mannschaftführung darauf drängen, so schnell wie möglich wieder spielfähig zu sein. Eine frühere systematische Übersichtsarbeit kam zu dem Ergebnis, dass in 32% der analysierten Studien die Zeit das einzige Kriterium für die Rückkehr zum Sport war und nur 13% der Studien zusätzliche objektive Kriterien angaben (Barber-Westin and Noyes 2011). Die häufigsten Kriterien waren eine isokinetische Muskelkraft von 80-90% für Quadrizeps und Hamstrings im Vergleich zum kontralateralen Bein. Nur 4% nutzten dynamische Tests wie z.B. Hop Tests (Barber-Westin and Noyes 2011).

In den letzten Jahren haben sich jedoch zunehmend funktionelle Tests etabliert. Ein neueres systematisches Review ergab, dass 98,4% der Studien Hop Tests, 82,5% Krafttests und 77,8% Patient-Reported Outcome Measures (PROM) (Roe et al. 2022) berücksichtigten. Bislang gibt es nur wenig Evidenz dafür, dass das Bestehen einer RTS-Testbatterie das Risiko einer erneuten Verletzung verringert (Webster and Hewett 2019). Darüber hinaus weisen RTS-Testbatterien ein hohes Maß an Heterogenität auf (Golberg et al. 2024) und bis heute gibt es keinen Konsens über die Bestandteile von RTS-Testbatterien und darüber, ob einige Tests einen besseren Prädiktor für eine erneute Verletzung darstellen als andere (Gokeler et al. 2022, Golberg et al. 2024). Ziel dieser Studie war es daher, die Validität einer RTS-Testbatterie zur Vorhersage der Wiederverletzungsrate nach der Rückkehr zum Sport bei Patienten, die eine VKB-Rekonstruktion (VKBR) erhalten haben, zu ermitteln.

3 Materialien und Methoden

Diese prospektive Kohortenstudie wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki von 1964 und ihrer späteren Änderungen durchgeführt. Sie wurde von der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg genehmigt (PV7099). Das Studiendesign wurde auf Open Science Framework (DOI 10.17605/OSF.IO/MXF72) vorregistriert. Die Darstellung der Ergebnisse orientiert sich am STROBE-Statement und der TIDieR-Checkliste (Hoffmann et al. 2014, von Elm et al. 2007). Die Teilnehmer wurden über eine orthopädische Praxis während der ärztlichen Beratung vor einer VKB-Operation von Januar 2019 bis Mai 2020 rekrutiert (Orthopädikum Neuer Wall, Hamburg). Eingeschlossen wurden Patienten, die mindestens 18 Jahre alt waren und ihr vor der Verletzung bestehendes Sportniveau wieder erreichen wollten. Ausschlusskriterien waren Schwangerschaft, allgemeine neurologische Erkrankungen und Muskel-, Band-, Sehnen- oder Knochenverletzungen der unteren Extremitäten in der Vorgeschichte. Die Teilnehmer erklärten sich schriftlich mit der Teilnahme, der Datenerhebung und der Veröffentlichung der Bilder einverstanden. Die Datenerhebung fand am LANS Medicum in Hamburg statt. Die Finanzierung erfolgte ausschließlich durch das LANS Medicum.

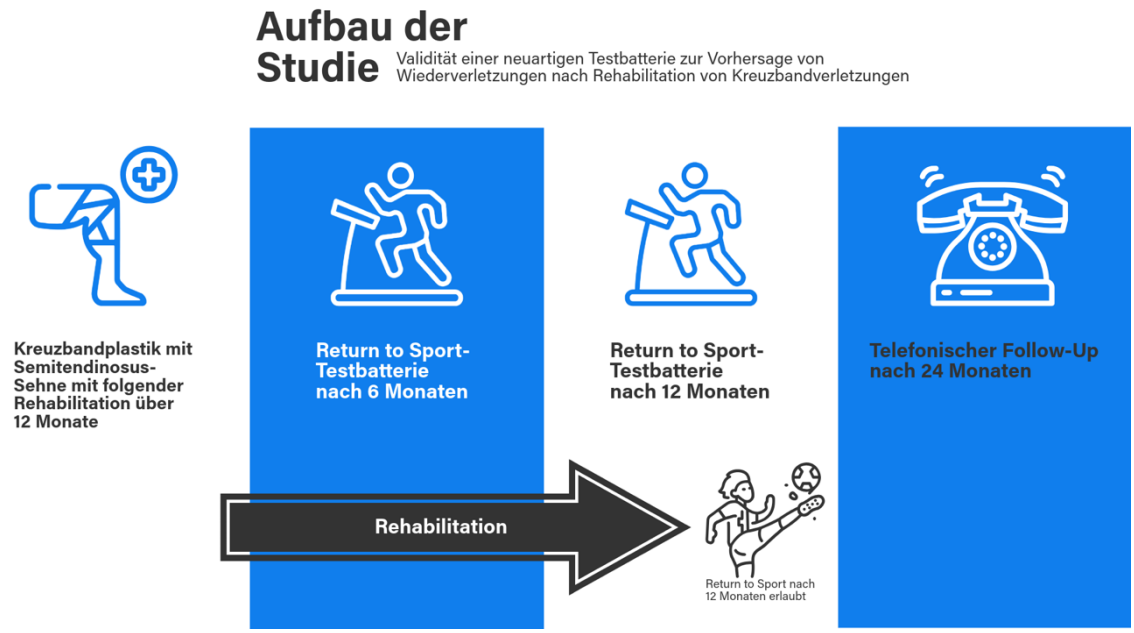

Abbildung 1: Aufbau der Studie

3.1 Intervention

Alle Patienten erhielten eine arthroskopische All-Inside-Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit einem autologen Semitendinosus-Transplantat. Die Operationen wurden von drei Chirurgen mit mehr als 15 Jahren chirurgischer Erfahrung durchgeführt. Die Transplantatfixierung erfolgte mit dem ACL TightRope® (Arthrex, Naples, Florida, USA). Es wurden keine lateralen extraartikulären Eingriffe durchgeführt. Alle Patienten erhielten ein standardisiertes Rehabilitationsprotokoll (siehe Anhang 1) und mussten eine neu zusammengestellte RTS-Testbatterie absolvieren, die von erfahrenen Physiotherapeuten und Sportwissenschaftlern durchgeführt wurde. Die Patienten wurden sechs und 12 Monate nach der VKBR am LANS Medicum in Hamburg getestet. Bei der Nachuntersuchung nach zwei Jahren wurden die Patienten von einem Arzt zu ihrem RTS, möglichen Wiederverletzungen und dem Tegner-Score per Telefon befragt.

Abbildung 2: Das DIERS 4Dmotion® Lab zur Analyse der Biomechanik in Stand und Gang

3.2 Return to Sport-Testbatterie

Vor der Durchführung des RTS-Tests wurden die Teilnehmer mündlich mit den Tests vertraut gemacht. Zunächst wurden mittels Fragebögen der Tegner-Score (Tegner and Lysholm 1985), der Lysholm-Score (Lysholm and Gillquist 1982) und der Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport after Injury Score (Webster et al. 2008), kurz ACL-RSI, zum Zeitpunkt des Tests erfasst. Anschließend wurden die Patienten ärztlich untersucht, einschließlich einer Sonografie des Kniegelenks. Wenn die Probanden die Einschlusskriterien erfüllten, begannen sie mit dem RTS-Test. Die RTS-Testbatterie umfasste:

- MFT Challenge Disc (TST Trend Sport Trading GmbH, Kirchberg, Österreich) zur Bewertung der Balance,
- Biomechanik des Gangs und der unteren Extremitäten sowie isometrische Maximalkraft (Abduktion und Adduktion der Hüfte; Flexion und Extension des Kniegelenks; DIERS 4Dmotion® Lab & myoline, DIERS International GmbH, Schlangenbad, Deutschland),
- Y Balance Test™ (Functional Movement Systems, Inc., Chatham, VA, USA)
- Side Hop und Square Hop Test,
- Einbeiniger Drop Jump,
- modifizierter Agility T-Test,
- Laufbandtest bis zur Erschöpfung einschließlich Spiroergometrie, um eine Ermüdung zu provozieren und die VO2max zu ermitteln
- gefolgt von einer erneuten Prüfung der isometrischen Maximalkraft und einbeiniger Drop Jumps.

Um die RTS-Testbatterie zu bestehen, mussten die Probanden einen LSI (Limb Symmetry Index) von >75% für Drop Jumps und einen LSI >90% für Square Hop und Side Hop Tests sowie für die Quadrizepskraft erreichen.

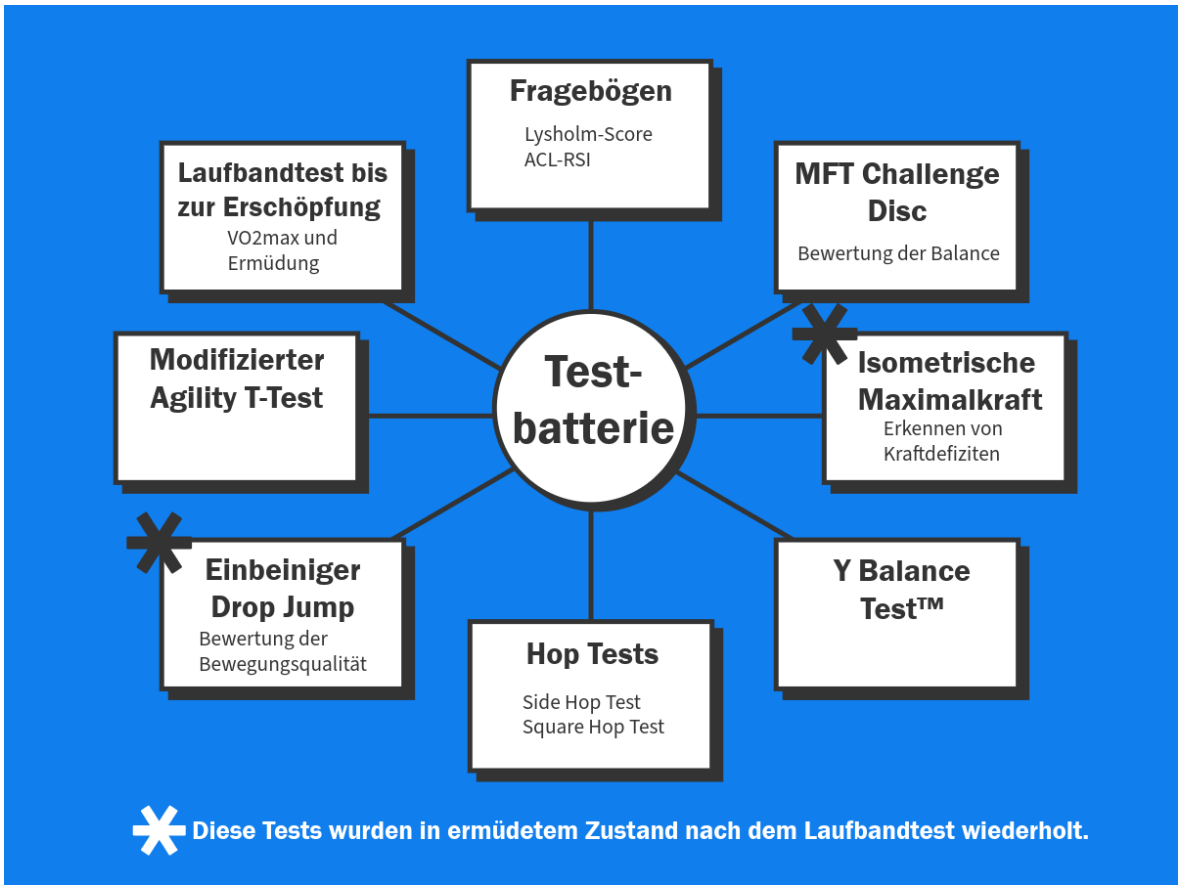

Abbildung 3: Übersicht über die Komponenten der Testbatterie

3.3 Messgrößen des Outcomes

Das primäre Outcome war die Wiederverletzungsrate (ipsilaterale oder kontralaterale Knieverletzung, z.B. VKB/Transplantat/Meniskusrisse) bei der Nachuntersuchung nach zwei Jahren und die Frage, ob die Wiederverletzungsrate geringer war, wenn die Patienten die Testbatterie sechs und zwölf Monaten nach VKBR bestanden. Zu den sekundären Outcomes gehörten die Wiederverletzungsrate in Abhängigkeit vom LSI der MFT Challenge Disc, des Y-Balance Composite Score, des Side Hop und Square Hop Tests, des Modified Landing Error Scoring System (MLESS) der Drop Jumps und der Kraft der Beinbeuger und -strecker

Das Gleichgewicht wurde auf der MFT Challenge Disc über einen Zeitraum von 20 Sekunden getestet (Raschner et al. 2008). Die Patienten wurden angewiesen, die Scheibe so waagerecht wie möglich zu halten. Die Software berechnete einen Score auf Grundlage der Anzahl und des Ausmaßes der Bewegungen der Scheibe während des Tests.

Abbildung 4: MFT Challenge Disc zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit

Der Y-Balance-Test ist ein Instrument zur Beurteilung des Gleichgewichts, mit dem die Reichweite in drei bestimmte Richtungen im Einbeinstand beurteilt wird (Shaffer et al. 2013). Das Testergebnis wurde auf der Grundlage der in jeder Richtung erreichten Distanz im Verhältnis zur Beinlänge der Person berechnet.

Die Daten für alle Sprünge wurden mit einer Kamera (Mindestauflösung von 1920x1080 px) erfasst, die auf einem Stativ in einem standardisierten Abstand (1,50 m) und auf einer standardisierten Höhe senkrecht zum Probanden positioniert war. Für den Side Hop Test und den Square Hop Test wurde ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 40 cm auf den Boden geklebt. Für den Side Hop Test standen die Probanden auf einer Seite der Linien und sollten in einem Zeitraum von 30 Sekunden so oft wie möglich von einer Seite zur anderen springen. Im Gegensatz dazu starteten die Teilnehmer beim Square Hop Test mit dem Fuß vor dem Quadrat und sollten in einem Zeitraum von 30 Sekunden so schnell wie möglich im oder gegen den Uhrzeigersinn in das Quadrat hinein- und wieder herausspringen. Mit dem linken Fuß mussten die Teilnehmer gegen den Uhrzeigersinn springen, mit dem rechten Fuß im Uhrzeigersinn. Das Berühren des Quadrats wurde als Foul gewertet, so dass diese Sprünge nicht gezählt wurden. Sowohl der Side Hop als auch der Square Hop Test wurden mit Schuhen durchgeführt.

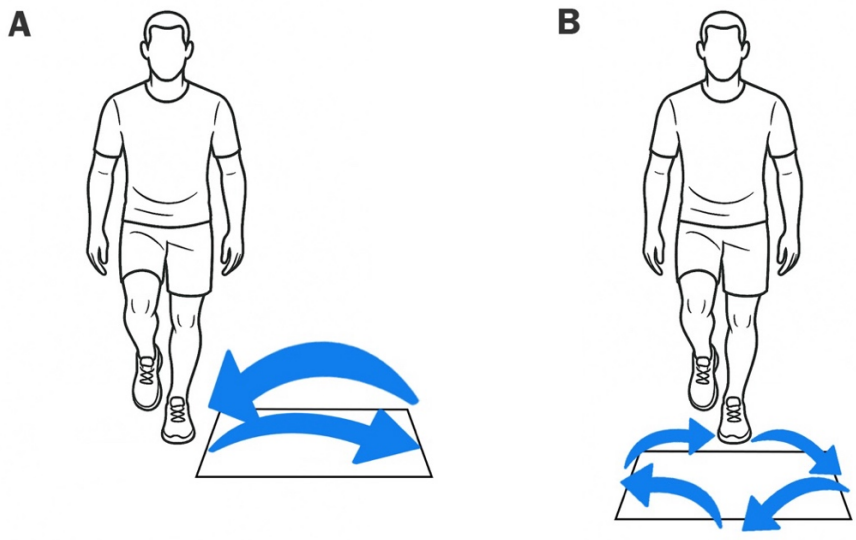

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Hop Tests; (A) Side Hop Test; (B) Square Hop Test

Die Teilnehmer hatten drei Versuche für einen einbeinigen Drop Jump. Dieser Test wurde barfuß durchgeführt. Die Probanden mussten von einem 30 cm hohen Kasten etwa eine Fußlänge nach vorne herunterspringen und wurden angewiesen, sofort so hoch wie möglich zu springen und dabei die Bodenkontaktzeit so kurz wie möglich zu halten. Die Videoaufnahmen der Drop Jumps wurden mit dem Softwarepaket Kinovea (Version 0.8.15, 2005-2011, Joan Charmant & Contrib) ausgewertet. In Kinovea wurden die Winkel der Knie- und Sprunggelenke anhand vordefinierter anatomischer Orientierungspunkte identifiziert und bestimmt. Zur objektiven Bewertung der Bewegungsqualität bei der Landung wurde eine modifizierte Version des Landing Error Scoring System (Padua et al. 2009) verwendet. Ursprünglich wurde das Landing Error Scoring System zur Bewertung der Biomechanik in der Frontal- und Sagittalebene verwendet. In diesem Fall wurde das mLESS jedoch angepasst, um nur die Biomechanik der Frontalebene zu bewerten.

Die Kraft der unteren Extremitäten wurde mit dem DIERS myoline (DIERS International GmbH, Schlangenbad, Deutschland) gemessen. Die Teilnehmer hatten fünf Versuche, um die maximale isometrische Kraft zu erreichen. Die durchschnittliche Maximalkraft der fünf Versuche wurde für weitere Berechnungen herangezogen. Der Krafttest wurde nach einem Laufbandtest bis zur Erschöpfung wiederholt.

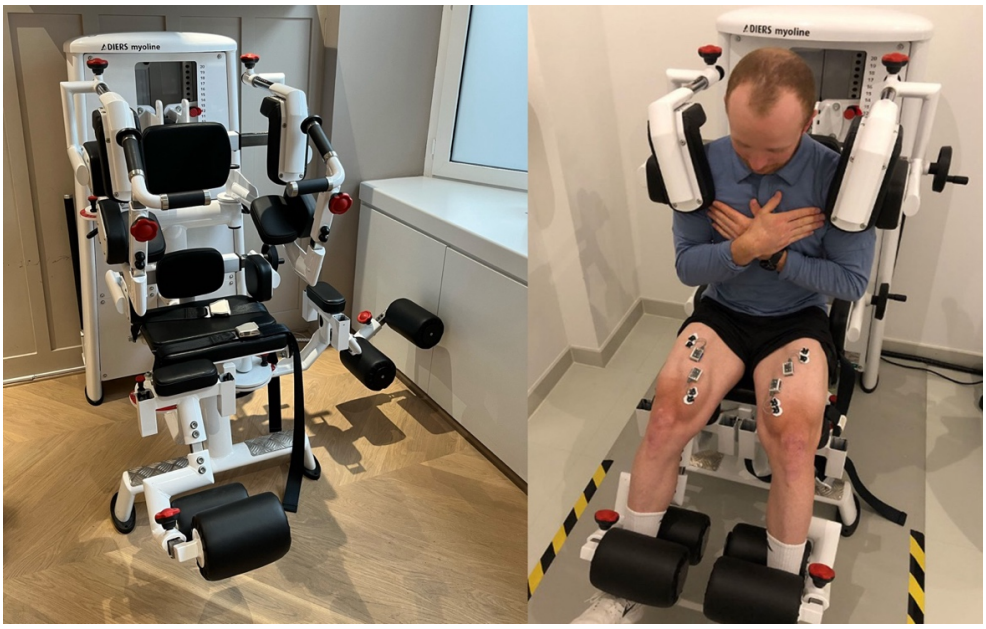

Abbildung 6: DIERS Myoline zur Messung der isometrischen Maximalkraft, rechts mit EMG-Elektroden ©LANS Medicum

Beim Agility T-Test wird ein Parcours in Form eines "T" aufgebaut, bei dem der Patient an der Basis startet, zu einem vorderen Hütchen sprintet, zum linken und rechten Hütchen seitwärts läuft und dann wieder zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Die Zeit für den gesamten Parcours wurde gemessen und der beste Versuch von fünf Versuchen wurde gezählt.

Für alle Tests wurde der LSI berechnet. Dieser errechnet sich als Prozentsatz der Ergebnisse der betroffenen Seite geteilt durch die Ergebnisse der nicht betroffenen Seite.

3.4 Statistische Auswertung

Die statistischen Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics 29 (Chicago IL, USA) durchgeführt. Die Daten wurden auf fehlende Werte, Verteilung und Ausreißer überprüft. Patienten mit fehlenden Daten wurden in die jeweiligen Auswertungen nicht eingeschlossen. Gleiches galt für Patienten, bei denen die Nachbeobachtung unvollständig war. Wenn nicht anders angegeben, werden die Ergebnisse als Mittelwerte ± Standardabweichung und 95% Konfidenzintervalle (KI95%) dargestellt.

Es wurde eine binäre logistische Regressionsanalyse durchgeführt, um die Odds Ratio (OR) für eine erneute Verletzung in Abhängigkeit vom Bestehen der Testbatterie und den Ergebnissen einzelner Tests der Testbatterie zu berechnen. Zusätzlich wurde eine Subgruppenanalyse für Patienten mit einem Tegner-Score > 7 für das primäre Outcome durchgeführt. Zusätzlich wurden Odds Ratios für das Bestehen oder Nichtbestehen der Testbatterie abhängig von Alter, Größe, Gewicht, BMI, Tegner-Score und VO2max berechnet.

Bei den Analysen wurden Dropouts, Patienten, die innerhalb des Nachbeobachtungszeitraums nicht zum Sport zurückkehrten oder zu Nachuntersuchungen nicht mehr erschienen, sowie Teilnehmer mit fehlenden Daten ausgeschlossen. Die Stichprobengröße wurde mit der G*Power-Analyse (G*Power Version 3.1.9.4) berechnet. Bei einer Power von 0,8, einer Effektgröße von 0,5 und einem Alpha-Fehler von 0,05 errechneten wir eine Stichprobengröße von 64. Es gab eine leichte Überrekrutierung aufgrund einer erwarteten Dropout-Rate von 10-20%.

4 Ergebnisse

Die erste Testbatterie wurde 6 Monate nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion von 68 Teilnehmern absolviert. Im weiteren Verlauf brachen 22 Personen die Studie vor dem 12-Monats-Zeitpunkt ab. Die Gründe hierfür waren persönliche Gründe (n = 6), Schwangerschaft (n = 3), erneute Verletzung (n = 6) oder andere Ausschlusskriterien (n = 7). Somit führten 46 Teilnehmer die erneute Testbatterie nach 12 Monaten vollständig durch.

Für das Follow-up nach 24 Monaten konnten 12 Teilnehmer trotz mehrfacher Kontaktversuche nicht erreicht werden. Damit schlossen 34 Personen das Follow Up nach 24 Monaten ab. Für die abschließende Datenanalyse wurden 29 Teilnehmer berücksichtigt. Fünf Personen wurden ausgeschlossen, da kein Return to Sport erfolgt war. Das Patientenflussdiagramm ist in Abbildung 1 dargestellt.

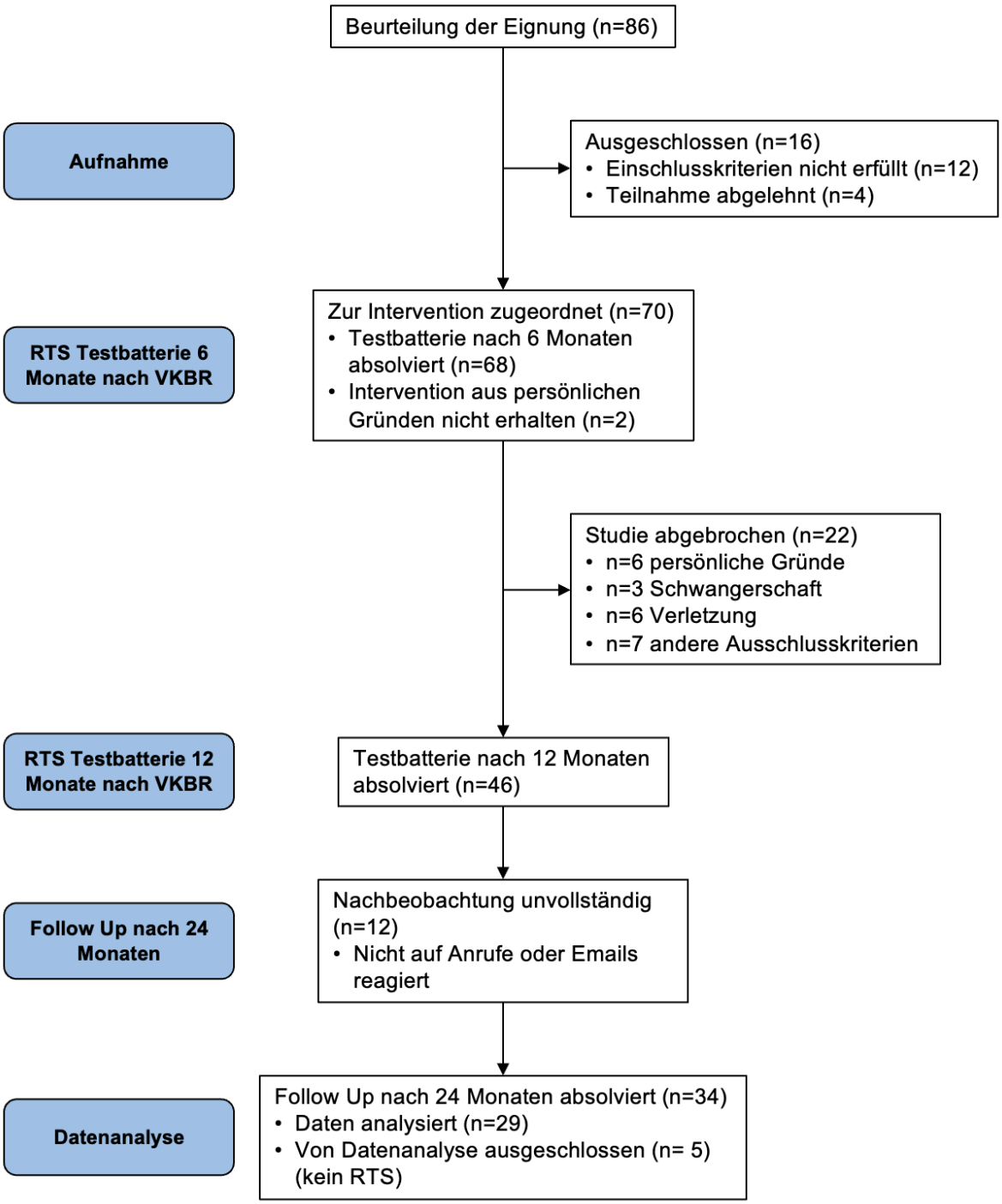

Abbildung 7: Flussdiagramm der in diese Studie einbezogenen Patienten (VKBR = vordere Kreuzbandrekonstruktion; RTS = Return to Sport)

Bei der abschließenden zweijährigen Nachuntersuchung (im Mittel nach 25,3 Monaten [Spanne: 24 – 33 Monate]) waren 22 Männer und sieben Frauen zum Sport zurückgekehrt, von denen 14 ihr Niveau von vor der Verletzung wieder erreichten. Die durchschnittliche Zeit bis zum RTS betrug 14,1 ± 6,7 Monate. Nach sechs Monaten bestanden nur zwei Patienten die Testbatterie, daher wurden alle weiteren Ergebnisse für diejenigen berechnet, die entweder nach sechs oder nach 12 Monaten bestanden. Nach 12 Monaten bestanden elf Männer, aber keine Frau die RTS-Testbatterie, was einer Bestehensquote von 23,4 % entspricht.

Die Patientenmerkmale zu Studienbeginn sind in Tabelle 1 aufgeführt. Frauen waren mit einem Anteil von 25% an der Studienpopulation vertreten. Ein Tegner-Score von 5,6 entspricht einer freizeitsportlichen Ausübung von intensiven Sportarten wie Ball- und Rückschlagsportarten, Laufen auf unebenem Untergrund (mindestens 2× pro Woche), Wintersport (z. B. Snowboard), Aerobic (High Impact), Turnen, Inlineskaten, Bergsteigen oder körperlich schwerer Arbeit. Auf Wettkampfniveau zählen hierzu Radfahren, Skilanglauf oder Eiskunstlauf.

Tabelle 1: Patientenmerkmale zu Studienbeginn (m = männlich; f = weiblich)

Sex	Alter [Jahre]	Höhe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m²]	Tegner-Score
m = 51 f = 17	32.7 ± 10.2	178 ± 8	83.2 ± 14.2	26.06 ± 3.56	5,6 ± 2,0

4.1 Wiederverletzungsrate zwei Jahre nach VKBR

Bei der finalen Nachuntersuchung nach 25,4 ± 1,8 Monaten berichteten sechs von 29 Patienten (20,7 %) über eine erneute Verletzung des Kniegelenks. Eine kontralaterale Verletzung lag bei einem Patienten vor, fünf Patienten erlitten eine ipsilaterale Wiederverletzung. Es gab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der RTS-Testbatterie und der Wiederverletzungsrate. Es bestand jedoch eine Tendenz zu einer geringeren Chance für eine erneute Verletzung, wenn die Testbatterie bestanden wurde (OR 0,457, KI95% 0,045-4,668). Die Odds Ratio für ipsilaterale Wiederverletzungen nach Bestehen der Testbatterie betrug 0,607 (KI95% 0,057-6,440). Von den Patienten, die eine erneute Verletzung erlitten, bestanden 17% die RTS-Testbatterie, während 83% dies nicht schafften. Die Merkmale der Patienten, die die Testbatterie bestanden, sind in Tabelle 2 dargestellt. Patienten mit einer höheren VO2max hatten eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, die Testbatterie zu bestehen (OR 1,19, KI95% 1,03-1,36).

Eine Subgruppenanalyse von 17 Patienten mit einem Tegner-Score ≥ 7 ergab, dass keiner der vier Patienten, die die RTS-Testbatterie bestanden, eine erneute Verletzung erlitt, während sechs der 13 Patienten, die die Testbatterie nicht bestanden, eine erneute Verletzung erlitten.

Die Sensitivität und Spezifität der RTS-Testbatterie lagen bei 30,3% bzw. 83,3%. Der positiv-prädiktive Wert betrug 87,5% und der negativ-prädiktive Wert 23,8%.

4.2 Wiederverletzungsrate in Abhängigkeit von den Komponenten der Testbatterie

Es gab keinen einzelnen Test, der eine Wiederverletzung statistisch signifikant vorhersagen konnte. Jedoch zeigte sich ein Trend, dass eine erneute Verletzung mit einem jüngeren Alter und einem höheren Tegner-Score sowie mit schlechteren Ergebnissen beim Square-Hop-Test und besseren Ergebnissen beim Agility-T-Test verbunden war. Weitere Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

4.3 Wiederverletzungsrate in Abhängigkeit vom Geschlecht

Bei Frauen war die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung geringer (OR 0,57, KI95% 0,06-5,88), was statistisch nicht signifikant war, auch wenn keine der Frauen die RTS-Testbatterie bestand. Frauen hatten einen niedrigeren Tegner-Score (6,2 ± 2,1 vs. 6,7 ± 1,4 bei Männern), erzielten niedrigere Werte beim ACL-RSI (64,0 ± 37,3 vs. 74,0 ± 16,5 bei Männern), kehrten aber schneller zum Sport zurück (12,4 ± 8,1 Monate vs. 16,3 ± 4,4 Monate bei Männern).

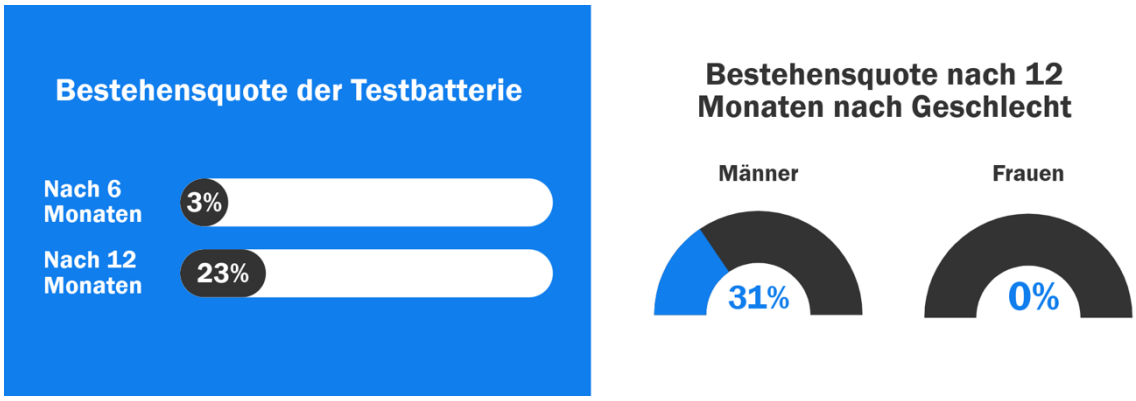

Abbildung 8: Bestehensquote nach 6 und 12 Monaten sowie Bestehensquote nach 12 Monaten nach Geschlecht

Tabelle 2: Merkmale der Patienten, die die RTS-Testbatterie bestanden oder nicht bestanden (RTS = Return to Sports Testbatterie)

	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m²]	Tegner Score	VO2max [ml/min/kg]
RTS bestanden	31.4± 10.0	181,0± 6,1	81,5± 8,9	24.9± 2.8	6.0± 1.3	43,5± 7,6
RTS nicht bestanden	33.2± 10.1	176,5± 7,8	80,4± 14,3	25,7± 2,7	6.2± 1.8	36,9± 5,8
OR (KI95%)	0.98 (0.90-1.06)	2.13 (0.79-5.80)	0.49 (0.18-1.38)	9.02 (0.32-251.75)	0.92 (0.59-1.45)	1.19 (1.03-1.36)

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung in Abhängigkeit von den Ergebnissen einzelner Tests der Testbatterie (ACL-RSI = Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury; LSI = Limb Symmetry Index; MFT = MFT Balance Board; m = männlich; w = weiblich)

	Alter [Jahre]	Geschlecht	Zeit bis RTS [Monat]	Tegner Score	Lysholm Score	ACL-RSI Score	LSI MFT [%]	LSI Y-Balance [%]
Wiederverletzung	26.1± 5.7	5m, 1w	16.3± 5.8	7.3± 1.4	90,5± 7,0	72,3± 15,5	106,2± 17,4	98.4± 4.8
Keine Wieder-verletzung	35,5± 11,1	17m, 6w	15.1± 5.7	6.3± 1.6	89,6± 8,2	71,6± 24,2	108,8± 19,6	99,3± 4,3
OR (KI95%)	0.87 (0.74-1.03)	0.57 (0.06-5.88)	1.04 (0.88-1.23)	1.50 (0.81-2.80)	1.01 (0.89-1.15)	1.00 (0.96-1.05)	0.99 (0.94-1.04)	0.94 (0.75-1.17)

Tabelle 3 Fortsetzung: Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung in Abhängigkeit von den Ergebnissen der einzelnen Tests der Testbatterie (LSI = Limb Symmetry Index)

	LSI Side Hop [%]	LSI Square Hop [%]	LSI Drop Jump [%]	LSI Quadrizeps [%]	LSI Hamstrings [%]	LSI Quadrizeps (ermüdet) [%]	LSI Hamstrings (ermüdet) [%]	Agility T-Test [sec]
Wiederverletzung	91.8± 16.0	83,7± 9,1	94.8± 8.5	102,6± 14,2	85,4± 14,6	94.3± 8.2	95,8± 13,2	6.4± 0.5
Keine Wieder-verletzung	80,8± 26,3	102,7± 21,6	95.7± 18.9	94,2± 16,0	91,4± 44,3	102,8± 9,8	98,5± 35,6	7.3± 1.0
OR (KI95%)	1.11 (0.95-1.30)	0.81 (0.62-1.05)	1.00 (0.94-1.05)	1.03 (0.98-1.10)	0.99 (0.97-1.03)	0.90 (0.80-1.01)	1.00 (0.97-1.03)	0.18 (0.03-1.004)

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Validität einer neuartigen Testbatterie zur Vorhersage der Wiederverletzungsrate nach RTS bei Patienten nach VKBR zu ermitteln. Insgesamt bestanden 23,4% der Athleten die Testbatterie. Die Ergebnisse zeigen, dass das Bestehen der RTS-Testbatterie das Risiko einer erneuten Verletzung nicht signifikant senkt. Es gab jedoch eine Tendenz zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung bei den Personen, die die Testbatterie bestanden. Die Subgruppenanalyse zeigte auch weniger Wiederverletzungen, wenn der Tegner-Score ≥ 7 war und die Testbatterie bestanden wurde.

5.1 Wiederverletzungsrate

In der vorliegenden Studie betrug die Wiederverletzungsrate insgesamt 20,7%, bei denjenigen, die die Testbatterie bestanden hatten, waren es 9,1%. Andere Studien haben ebenfalls ein geringeres Risiko einer erneuten Verletzung nach Bestehen einer Testbatterie festgestellt. Grindem et al. stellten fest, dass von den 55 Patienten, die die RTS-Kriterien nicht erfüllten, 21 (38,2%) eine erneute Knieverletzung erlitten, während nur einer der 18 Patienten, die die RTS-Kriterien bestanden, eine weitere Knieverletzung erlitt. Die Wiederverletzungsrate war also bei denjenigen, die die Testbatterie bestanden, um 84% niedriger (Grindem et al. 2016). Das Risiko einer Transplantatruptur war viermal höher, wenn die RTS-Kriterien nicht bestanden wurden (Kyritsis et al. 2016). Webster und Hewett fanden heraus, dass das Erfüllen der RTS-Kriterien das Risiko einer Transplantatruptur um 60% senkt, aber das Risiko einer kontralateralen Verletzung um 235% erhöht (Webster and Hewett 2019). Darüber hinaus stellten Paterno et al. fest, dass das Risiko einer weiteren VKB-Verletzung in einer Gruppe junger Sportler mit chirurgischer Rekonstruktion des VKB 5,71-mal höher war als bei gesunden Kontrollpersonen. Insgesamt 29,5% erlitten eine sekundäre VKB-Verletzung, von denen 9% einen Transplantatruptur und 20,5% eine kontralaterale VKB-Verletzung hatten (Paterno et al. 2010).

Die Wiederverletzungsrate ist mit anderen Studien vergleichbar. In einer Metaanalyse fanden Wiggins et al. eine Sekundärverletzungsrate von 15%, wobei 7% eine erneute Verletzung auf der ipsilateralen und 8% eine erneute Verletzung auf der kontralateralen Seite hatten. Die Wiederverletzungsrate war am höchsten bei Sportlern unter 25 Jahren, die zum Sport zurückkehrten, und betrug 23% (Wiggins et al. 2016). Webster et al. fanden ähnliche Raten, wobei eine Ruptur des Transplantats bei 4,5% und eine kontralaterale VKB-Verletzung bei 7,5% der Patienten nach einer VKB-Rekonstruktion auftrat (Webster et al. 2014). Grindem et al. fanden erneute Verletzungen bei 24% der Probanden, wobei es sich bei 8% um Transplantatrupturen und bei 2% um kontralaterale VKB-Rupturen handelte, während der Rest Meniskus-, Knorpel- oder andere Bandverletzungen des Knies waren (Grindem et al. 2016). Innerhalb der ersten neun Monate verringerte sich für jeden Monat, den die Rückkehr zum Sport hinausgezögert wurde, die Wiederverletzungsrate um 51% (Grindem et al. 2016). Kyritsis et al. berichteten über 16,5% Rupturen des Transplantats und 7,0% kontralaterale VKB-Rupturen (Kyritsis et al. 2016).

5.2 Bestehensquote

Die in der vorliegenden Studie ermittelte Bestehensquote von 23,4% steht im Einklang mit früheren Untersuchungen. In einer kürzlich durchgeführten Metaanalyse berichteten Webster und Hewett von einer durchschnittliche Bestehensquote von 23% mit einer Spanne von 0% bis 79% (Webster and Hewett 2019). Die Testbatterien wurden fünf bis zehn Monate nach der Operation durchgeführt. Die höchste von Webster und Hewett gemeldete Bestehensrate von 79% wurde in einer Studie gefunden, in der alle Patienten ≤18 Jahre waren (Luo et al. 2015, Webster and Hewett 2019). Das Durchschnittsalter in der vorliegenden Studienpopulation war höher (32,7 ± 10,2 Jahre) und ist daher nur bedingt vergleichbar. In ihrer Studie mit Profisportlern berichteten Kyritsis et al. über eine Bestehensquote von 73% vor der Rückkehr zum Sport, obwohl das Bestehen der RTS-Kriterien eigentlich eine Voraussetzung für den Abschluss der Rehabilitation war (Kyritsis et al. 2016).

Betrachtet man die Merkmale derjenigen, die die vorliegende RTS-Testbatterie bestanden haben, so waren diese Personen tendenziell jünger und hatten eine höhere VO2max. Außerdem bestand keine der Frauen die Testbatterie. Dies steht auch im Einklang mit Webster und Hewett, die berichteten, dass Patienten, die den RTS bestanden, deutlich häufiger männlich und jünger waren (Webster and Hewett 2019).

5.3 Zeit bis zur Rückkehr in den Sport

In der vorliegenden Studie war die Zeit bis zum RTS nicht signifikant mit Wiederverletzungen verbunden. Die Zeit bis zum RTS betrug jedoch im Durchschnitt 14,1 Monate und war damit länger als in anderen Studien. Dies könnte mit der COVID-19-Pandemie und den damit verbundenen Verzögerungen bei der Rehabilitation zusammenhängen. Grindem et al. berichteten von einer Zeit bis zum RTS zwischen drei und 23 Monaten, mit einem Median von acht Monaten (Grindem et al. 2016). Graziano et al. stellten fest, dass die durchschnittliche Zeit bis zur Rückkehr zu uneingeschränkter Aktivität 12 Monate betrug und keiner der Patienten nach neun Monaten bereit für den RTS war (Graziano et al. 2017).

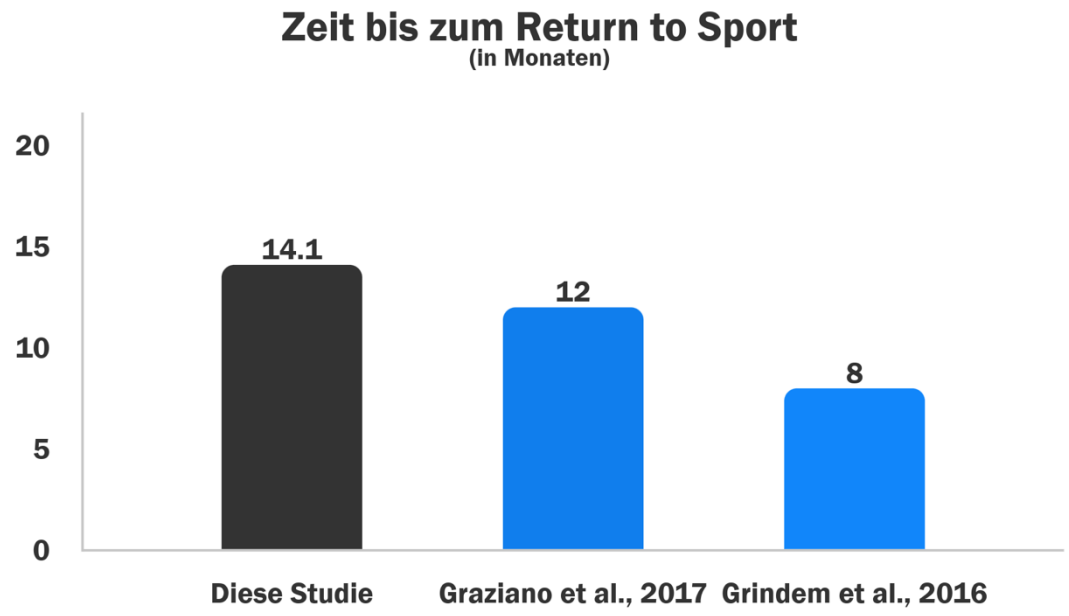

Abbildung 9: Zeit bis zum Return to Sport im Vergleich zu anderen Studien (Graziano et al. 2017, Grindem et al. 2016)

5.4 Alter, Geschlecht und Aktivitätsniveau

In der vorliegenden Studie waren die Teilnehmer mit einer erneuten Verletzung jünger als die Teilnehmer ohne erneute Verletzung. Dies ist ein Risikofaktor, der durchgehend in der Literatur berichtet wird. Wiggins et al. berichteten über höhere Wiederverletzungsraten bei Sportlern < 25 Jahren (Wiggins et al. 2016); das Risiko einer Transplantatruptur war sechsmal und das Risiko einer kontralateralen Verletzung dreimal höher bei Personen, die zum Zeitpunkt der Operation < 20 Jahre alt waren (Webster and Hewett 2019). Cronström et al. fanden heraus, dass die Odds Ratio für eine Transplantatruptur bei Personen im Alter von <18-30 Jahren im Vergleich zu ≥18-30 Jahren 2,59-3,53-fach höher war (Cronstrom et al. 2023).

Außerdem haben Cronstrom et al. gezeigt, dass ein Tegner-Score ≥7 mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für erneute Verletzungen verbunden ist (OR 3,91, KI95% 1,69-9,04)(Cronstrom et al. 2023). Dies wurde in der vorliegenden Population bestätigt, ohne jedoch statistisch signifikant zu sein.

In dieser Studie erlitten mehr Männer als Frauen eine erneute Verletzung. Während das Risiko einer primären VKB-Verletzung bei Frauen höher ist (Montalvo et al. 2019), scheint das Risiko einer Wiederverletzung bei Männern höher zu sein. Cronström et al. fanden ebenfalls heraus, dass das weibliche Geschlecht schützend wirkt (OR 0,88, 95% CI 0,79-0,98)(Cronstrom et al. 2023). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass mehr Männer auf ein höheres sportliches Niveau zurückkehren. Das wird durch die Tatsache unterstrichen, dass keine der weiblichen Probanden in der vorliegenden Studie die Testbatterie bestand und Frauen tendenziell einen niedrigeren Tegner-Score aufwiesen.

5.5 Bestandteile der Testbatterie

5.5.1 Sprungtests

Die Probanden, die die Testbatterie bestanden und keine nachfolgende Knieverletzung erlitten, wiesen tendenziell einen höheren LSI für den Square Hop Test auf als diejenigen, die die Testbatterie bestanden, aber eine erneute Verletzung erlitten. Bei denjenigen, die zum Sport zurückkehrten, war der LSI für den Side Hop Test bei denjenigen höher, die eine erneute Verletzung erlitten. In ähnlicher Weise fanden Cristiani et al. heraus, dass ein LSI > 90% beim Single Leg Hop Test das Risiko einer kontralateralen VKB-Rekonstruktion erhöht (Cristiani et al. 2022). Dies könnte durch damit verbundene höhere RTS-Raten bedingt sein. Eine Metaanalyse zeigte, dass ein höherer LSI nicht mit einem geringeren Risiko einer erneuten Knieverletzung zwei und fünf Jahre nach RTS verbunden war (West et al. 2023). Sprungtests waren jedoch prognostisch für den RTS und gingen mit einer besseren Kniefunktion einher. Die mangelnden Effekte auf die Wiederverletzungsrate könnten dementsprechend auf höhere RTS-Raten bei Patienten mit besseren Leistungen bei den Sprungtests zurückzuführen sein (West et al. 2023). Es wurde kritisiert, dass in den meisten Studien Sprungtests verwendet werden, die ausschließlich oder überwiegend eine Vorwärtsbewegung beinhalten (z. B. Single Hop oder Triple Hop for Distance, Triple Cross-Over Hop). Bei Tests, die eine seitliche oder rotatorische Bewegung beinhalten, ist es jedoch wahrscheinlicher, dass Seitendifferenzen festgestellt werden (Gokeler et al. 2022).

5.5.2 Krafttests

Der LSI für die Quadrizepskraft und Kraft der Hamstrings mit und ohne induzierte Ermüdung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen denjenigen, die eine erneute Verletzung erlitten, und denjenigen, die keine erlitten. Es gab jedoch eine Tendenz zu einem höheren LSI für die Quadrizepskraft nach Ermüdung bei denjenigen, die keine erneute Verletzung erlitten. Dies steht im Einklang mit der bisherigen Literatur. Grindem et al. fanden heraus, dass 33,3% derjenigen, die mit einem LSI für die Quadrizepskraft < 90% in Level I Sportarten zurückkehrten, eine erneute Verletzung erlitten gegenüber 12,5% derjenigen mit einem LSI > 90% (Grindem et al. 2016). Defizite in der Kraft der Hamstrings wurden ebenfalls als Risikofaktor für zukünftige Verletzungen identifiziert. Es wurde festgestellt, dass das Kraftverhältnis der Hamstrings zum Quadrizeps des betroffenen Beins mit der Ruptur des Transplantats in Zusammenhang steht. Das Risiko einer Transplantatruptur war um das 10,6-fache höher für jede 10%ige Abnahme des Kraftverhältnisses (Kyritsis et al. 2016). Dies konnte in dieser Studie nicht gezeigt werden. Darüber hinaus war die Quadrizepskraft ein Prädiktor für die Leistung bei Sprungtests (Garrison et al. 2015). Schmitt et al. fanden heraus, dass die isometrische Quadrizepskraft die Leistung bei Sprung-Tests bei VKBR-Patienten, die zum Sport zurückkehren durften, vorhersagte. Sie zeigten, dass die Leistung bei Sprungtests ähnlich wie bei gesunden Kontrollpersonen war, wenn der Kraftindex des Quadrizeps über 85% lag (Schmitt et al. 2012).

5.5.3 Y-Balance-Test

Der LSI des Y-Balance-Tests zeigte keine relevanten Unterschiede bei Personen mit einer erneuten Verletzung. Bislang wurde der Y-Balance-Test nicht mit einer erneuten Verletzung nach einer VKBR in Verbindung gebracht. In früheren Untersuchungen wurde der Y-Balance-Test 12 Wochen nach der Operation als Prädiktor für den LSI bei Leistungstests zum Zeitpunkt des RTS (Garrison et al. 2015) identifiziert. Darüber hinaus ist eine Seitendifferenz von mehr als 4 cm bei gesunden Basketballspielern mit einem höheren Risiko einer primären Verletzung der unteren Extremitäten verbunden (Garrison et al. 2015) . Oleksy et al. fanden signifikant niedrigere Ergebnisse für die anteriore Reichweite, die postero-laterale Reichweite und den Gesamt-Score in einer Gruppe, die eine VKBR erhielt, im Vergleich zu Patienten mit leichten Verletzungen der unteren Extremitäten und einer gesunden Kontrollgruppe (Oleksy et al. 2021).

5.5.4 Bewegungsqualität

Der LSI der Drop Jumps zeigte keinen Unterschied zwischen den Sportlern mit und ohne Wiederverletzungen. Allerdings war der Agility-T-Test bei denjenigen, die eine erneute Verletzung erlitten, tendenziell besser. Es hat sich gezeigt, dass Sportler nach einer VKB-Verletzung veränderte Bewegungsmuster aufweisen, die sechs bis 24 Monate nach einer VKBR bestehen bleiben (Paterno et al. 2010). Neben anderen Veränderungen ist ein erhöhter Valgus, insbesondere bei der Landung, sehr häufig. Dies stellt eine erhöhte mechanische Belastung für das Transplantat dar (Bisciotti et al. 2016). Paterno et al. fanden heraus, dass veränderte neuromuskuläre Kontrollmuster, die mit einer 3D-Bewegungsanalyse während der Landung gemessen wurden, und Defizite bei der posturalen Stabilität eine spätere VKB-Verletzung vorhersagen. Sie erörterten auch, dass die zweidimensionale Bewertung der Bewegung in der Frontalebene von ähnlichem Nutzen ist (Paterno et al. 2014). In der vorliegenden Studie wurde jedoch kein Zusammenhang zwischen der Bewegungsqualität beim Drop Jump und einer erneuten Verletzung festgestellt. Ähnlich wie bei Paterno et al. wurde auch kein Zusammenhang zwischen posturaler Stabilität und erneuter Verletzung festgestellt (Paterno et al. 2014).

5.5.5 Psychologische Messinstrumente

In der vorliegenden Studie wiesen die ACL-RSI-Scores keine signifikanten Unterschiede bei denjenigen auf, die eine erneute Verletzung erlitten. In der Literatur wurde dies jedoch als Risikofaktor für eine Transplantatruptur mit einer Odds Ratio von 2,18 identifiziert (Cronstrom et al. 2023). Die psychologische Beurteilung kann von besonderer Bedeutung sein, da nachgewiesen wurde, dass 24% der Patienten, die nicht zum Sport zurückkehren, Angst vor einer erneuten Verletzung als Hauptgrund angeben (Webster et al. 2014). Burland et al. zeigten, dass ein erhöhtes Bewusstsein für das eigene Knie, Zögern und mangelndes Vertrauen zu Selbstbeschränkung führte. Die RTS-Entscheidung wurde durch Erwartungen und Annahmen über den Genesungsprozess beeinflusst (Burland et al. 2018). Außerdem führte die Verletzung zu einer Neupriorisierung der Lebensziele. Die erneute Teilnahme am Sport stärkte die Identität des Patienten als Sportler und eine starke Unterstützung durch das Umfeld war entscheidend für den Vertrauensaufbau (Burland et al. 2018).

5.6 Was ist die optimale Testbatterie für die Rückkehr in den Sport?

Das Bestehen einer RTS-Testbatterie wird unwahrscheinlicher, je mehr Tests hinzugefügt werden. Die optimale Anzahl und Art der Tests sind noch unklar (Webster et al. 2008). Turk et al. fanden heraus, dass die Wiederverletzungsrate tendenziell geringer wurde, je mehr funktionelle Tests hinzugefügt wurden (Turk et al. 2023). Die Anzahl der Tests in der vorliegenden RTS-Testbatterie liegt am oberen Ende vergleichbarer Testbatterien, was die Erkennung von Defiziten wahrscheinlicher machen würde. Es ist jedoch immer noch nicht klar, welche Tests in den aktuellen Testbatterien den höchsten prognostischen Wert für zukünftige Verletzungen aufweisen und welche Grenzwerte für die Freigabe von Patienten zur Rückkehr in den Sport verwendet werden sollten. Möglicherweise sollten neben einigen allgemeinen Tests für die Funktion der unteren Extremitäten auch sportartspezifische Messungen der sportlichen Leistung hinzugefügt werden (Golberg et al. 2024).

Größere Testbatterien sind jedoch außerhalb von Spezialkliniken möglicherweise nicht durchführbar und es wird empfohlen, Testbatterien zu entwickeln, die mit wenig Material durchführbar sind. Broman et al. fanden heraus, dass 12 Monate nach einer VKB-Rekonstruktion zwar ähnlich viele Patienten eine einfache Testbatterie (zwei Sprungtests und Fragebögen) wie eine Goldstandard-Testbatterie (isokinetische Krafttests und drei Sprungtests) bestanden, jedoch nicht dieselben Patienten beide Testbatterien bestanden. Nur etwa die Hälfte der Patienten, die die einfache Testbatterie bestanden, bestanden auch den Goldstandard (Broman et al. 2023).

Auch die niedrige Erfolgsquote nach 6 Monaten in unserer Studie deutet darauf hin, dass Tests zu diesem Zeitpunkt zu früh sein könnten und umfangreichere Testungen durch das Erreichen bestimmter Meilensteine während der Rehabilitation ausgelöst werden sollten.

Am Ende gibt es möglicherweise auch nicht eine Testbatterie für alle. Verschiedene Sportarten weisen unterschiedliche Risiken auf und die Testbatterien müssen möglicherweise auf die jeweilige Sportart und die Merkmale des Sportlers abgestimmt werden. Bei Sportarten mit geringem Risiko sind möglicherweise keine so hohen Standards oder Bestehenskriterien erforderlich wie bei Sportarten mit hohem Risiko.

5.7 Stärken und Schwächen

Eine Stärke dieser Studie ist die umfangreiche Testbatterie mit zahlreichen Tests, die eine gründliche Beurteilung der Sportler vor der Rückkehr zum Sport ermöglicht. Auch das Testen sowohl nach sechs als auch nach 12 Monaten ist ein Vorteil gegenüber anderen Studien, die in der Regel nur zu einem Zeitpunkt Tests durchgeführt haben. Die Nachbeobachtungszeit von mindestens zwei Jahren nach der Operation reicht aus, um eine wesentliche Anzahl von erneuten Verletzungen zu entdecken, da die meisten davon innerhalb der ersten Monate nach der Rückkehr zum Sport auftreten.

Die vorliegende Studie hat aber auch ihre Limitationen. Da es sich um eine Beobachtungsstudie handelte, sind keine Rückschlüsse auf eine Kausalitätsbeziehungen der hier dargestellten Zusammenhänge möglich. Zudem gab es einen hohen Dropout von 50% nach zwei Jahren, was zu einer eher kleinen und überwiegend männlichen Stichprobe führte. Dies führte auch dazu, dass die Studie für die primäre Forschungsfrage zu wenig aussagekräftig war. Daher sind die vorliegenden Ergebnisse möglicherweise nicht auf die allgemeine Population von Patienten nach VKBR verallgemeinerbar. Eine ähnliche Dropout-Rate von 61,5% wurde jedoch in einer Studie von Wellsandt et al. (Wellsandt et al. 2017) berichtet.

Um Wiederverletzungen besser klassifizieren zu können, wäre es außerdem wünschenswert, das Expositionsrisiko in der Sportart, in die die Patienten zurückgekehrt sind, besser einschätzen zu können. Hier wären Intensität, Dauer und Häufigkeit des Trainings und der Wettkämpfe von Interesse (Gokeler et al. 2022).

Während das primäre Outcome die Wiederverletzungsrate war, können die sekundären Outcomes nur zur Hypothesenbildung herangezogen werden, da die Power der Studie nicht angemessen für Mehrfachtests ausgelegt war. Außerdem wurden die Kraftmessungen isometrisch und in den Standardhalterungen durchgeführt, was einen Vergleich mit anderen Gelenkwinkeln und isokinetischen Tests erschwert (Beere et al. 2022, Krishnan and Williams 2014). Leistungsdefizite können auch durch den LSI unterschätzt werden, da gezeigt wurde,

dass auch die Leistung der nicht verletzten Extremität im Verlauf der Rehabilitation abnimmt (Gokeler et al. 2017). Geeignete Messgrößen können EPIC-Werte sowie die Ergebnisse von Tests zu Beginn der Saison sein (Wellsandt et al. 2017).

Alle Patienten erhielten eine VKBR mit autologen Hamstringtransplantaten. Die hier gefundenen Ergebnisse sind daher möglicherweise nicht verallgemeinerbar auf Patienten mit anderen Transplantattypen, insbesondere solchen, die die Kniestrecker betreffen, wie Patellasehne und Quadrizepssehne (Herbawi et al. 2022, Herbst et al. 2015, Hughes et al. 2019, Welling et al. 2018). Außerdem sind die vorliegenden Ergebnisse möglicherweise nicht auf Spitzensportler übertragbar.

5.8 Schlussfolgerung

Insgesamt zeigte die vorliegende Untersuchung, dass lediglich eine geringe Anzahl der Patienten zwölf Monate nach einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion die ganze RTS-Testbatterie erfolgreich absolvieren konnte. Auffällig war dabei, dass auch sechs bis zwölf Monate postoperativ in mehreren funktionellen Bereichen Defizite bestanden. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass eine rein zeitgesteuerte Freigabe für die Rückkehr zum Sport nach VKBR derzeit nicht zu empfehlen ist und individuelle funktionelle Assessments erforderlich bleiben. Weiterhin ist nach wie vor unklar, welche speziellen Tests und Cut-Off-Werte innerhalb einer RTS-Testbatterie tatsächlich den besten prognostischen Wert besitzen und einen sicheren Wiedereinstieg ins Training oder den Wettkampfsport erlauben.

Die Ergebnisse unterstreichen zudem die Notwendigkeit eines multiprofessionellen Ansatzes, der die enge Zusammenarbeit zwischen Chirurgen, Physiotherapeuten, Sportwissenschaftlern und Sportmedizinern beinhaltet. Nur durch diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ist es möglich, Defizite frühzeitig zu identifizieren, Testverfahren optimal zu nutzen und so das Risiko einer erneuten Verletzung gezielt zu minimieren. Die Tendenz, dass mit dem Bestehen einer umfassenden Testbatterie die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Knieverletzung gesenkt werden könnte, ist in der Studie zwar beobachtbar, war aber statistisch nicht signifikant. Dieser Effekt schien sich in der Subgruppenanalyse mit Patienten mit einem höheren Tegner-Score zu verstärken.

Der hohe Anteil an Dropouts innerhalb der Studienkohorte sowie die Heterogenität der Kohorte schränkt die Aussagenkraft der Ergebnisse jedoch ein. Für eine endgültige Bewertung der RTS-Testbatterie und zur Entwicklung evidenzbasierter, klinischer Empfehlungen sind somit Studien mit größeren, möglichst homogenen Kohorten sowie längerer Nachbeobachtung erforderlich.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die vorliegenden Ergebnisse wertvolle Impulse für die künftige Gestaltung von Rehabilitationsprozessen liefern und die Bedeutung objektiver funktioneller Testverfahren sowie einer personalisierten Betreuung betonen. Die Frage nach den effektivsten Tests und Grenzwerten sowie deren Integration in die klinische Praxis sollte im Fokus zukünftiger Forschungsarbeiten stehen. Damit kann perspektivisch das Ziel einer sicheren und nachhaltigen Rückkehr zum Sport nach VKBR besser erreicht werden.

6 Zusammenfassung

Hintergrund: Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) ist eine häufige Verletzung im Sport und die vordere Kreuzbandplastik ist in der Regel mit einer langwierigen Rehabilitation verbunden. Die Wiederverletzungsrate kann je nach Kollektiv zwischen 3% und 49% liegen. Bei der Entscheidungsfindung für den richtigen Zeitpunkt zum Return to Sports (RTS) werden zunehmend Funktionstests herangezogen. Die optimale Zusammensetzung der Testbatterien ist allerdings noch unklar. Ziel dieser prospektiven Kohortenstudie war es daher, die Validität einer neuartigen Testbatterie für den RTS anhand der Wiederverletzungsrate zwei Jahre nach einer vordere Kreuzbandplastik zu bestimmen.

Material und Methoden: Patienten, die eine vordere Kreuzbandplastik mit der Semitendinosus-Sehne erhielten, absolvierten eine standardisierte Rehabilitation und durchliefen 6 und 12 Monate nach der Operation eine neu entwickelte Testbatterie. Die Testbatterie umfasste Tests für das Gleichgewicht und die Biomechanik der unteren Extremitäten sowie Sprung- und isometrische Krafttests sowohl im Ruhezustand als auch nach Ermüdung.

Ergebnisse: Von den 68 eingeschlossenen Personen kehrten 31 zum Sport zurück. Die durchschnittliche Zeit bis zum RTS betrug 14,1 Monate. Nach 12 Monaten bestanden 11 Männer die RTS-Testbatterie, jedoch keine Frau. Das entspricht einer Bestehensquote von 23,4%. Nach 2 Jahren erlitten 20,7% der Patienten eine erneute Verletzung. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bestehen der RTS-Testbatterie und der Wiederverletzungsrate, obwohl das Bestehen die Wahrscheinlichkeit einer Wiederverletzung tendenziell verringerte (Odd Ratio 0,46). Von den Patienten mit einem Tegner-Score ≥ 7 erlitt keiner der vier, die die RTS-Testbatterie bestanden, eine erneute Verletzung. Bei Frauen war die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung tendenziell geringer (OR 0,57).

Schlussfolgerung: Aufgrund noch bestehender funktioneller Defizite waren nur wenige Sportler in dieser Studie ein Jahr nach OP bereit für die Rückkehr in den Sport. Tendenziell zeigten sich aber weniger Wiederverletzungen nach Bestehen der Testbatterie.

6.1 Summary

Background: Rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) is a prevalent condition in sports and ACL reconstruction (ACLR) typically involves a lengthy recovery. Reinjury rates can range from 3% to 49%, with a reported overall rate of 15% for both ipsilateral and contralateral injuries. Functional test batteries are increasingly used to guide return to sport (RTS) decisions. However, the lack of consensus on RTS test components raises concerns about premature returns, as 45.5% of reinjuries occur within two months post-RTS. Therefore, the goal of the present study was to measure the predictive validity of a novel return to sports test battery based on the reinjury rate two years after anterior cruciate ligament reconstruction.

Material and Methods: Patients who received ACL reconstruction with the semitendinosus tendon completed a standardized rehabilitation protocol and a test battery 6 and 12 months after surgery. The test battery included measures of balance and lower extremity biomechanics, as well as jump and isometric strength tests both in a rested and fatigued state. The primary outcome was the odds ratio of reinjury at two years as a depending on passing or failing the test battery. Secondary measures included odds ratios for reinjury for each test.

Results: Of the included 68 subjects 31 returned to sports. The average time to RTS was 14.1 months. At 12 months, no women passed the RTS test battery, while 11 men did, resulting in a pass rate of 23.4%. After 2 years 20.7% of patients reported reinjuries. There was no significant association between passing the RTS test and reinjury rates, although passing tended to reduce odds of reinjury (Odd ratio 0.46). Among those with a Tegner score ≥ 7, none of the four who passed the RTS test experienced reinjury. Women had a tendency towards lower odds of reinjury (Odds ratio 0.57).

Conclusion: Due to persisting functional deficits, only few athletes in this study were ready to return to sports one year after surgery. However, athletes who passed the test battery tended to experience fewer reinjuries.

7 Referenzen

Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, Mccormick FM, Bush-Joseph CA, Verma NN, Cole BJ, Bach BR, Jr. (2014) Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. Orthop J Sports Med. 2(1):2325967113518305.

Barber-Westin SD, Noyes FR (2011) Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 27(12):1697-705.

Beere M, Ebert JR, Joss B, Ackland T (2022) Isometric dynamometry, dependent on knee angle, is a suitable alternative to isokinetic dynamometry when evaluating quadriceps strength symmetry in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. Knee. 34124-133.

Bergstein VE, Ahiarakwe U, Haft M, Fox H, Best MJ (2025) Decreasing Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Increasing Utilization of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the United States From 2010 to 2020. Arthroscopy. 41(6):1912-1918 e1.

Bisciotti GN, Quaglia A, Belli A, Carimati G, Volpi P (2016) Return to sports after ACL reconstruction: a new functional test protocol. Muscles Ligaments Tendons J. 6(4):499-509.

Broman D, Piussi R, Thomee R, Hamrin Senorski E (2023) A clinician-friendly test battery with a passing rate similar to a 'gold standard' return-to-sport test battery 1 year after ACL reconstruction: Results from a rehabilitation outcome registry. Phys Ther Sport. 59144-150.

Burland JP, Toonstra J, Werner JL, Mattacola CG, Howell DM, Howard JS (2018) Decision to Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Part I: A Qualitative Investigation of Psychosocial Factors. J Athl Train. 53(5):452-463.

Cristiani R, Forssblad M, Edman G, Eriksson K, Stalman A (2022) Age, time from injury to surgery and hop performance after primary ACLR affect the risk of contralateral ACLR. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 30(5):1828-1835.

Cronstrom A, Tengman E, Hager CK (2023) Return to Sports: A Risky Business? A Systematic Review with Meta-Analysis of Risk Factors for Graft Rupture Following ACL Reconstruction. Sports Med. 53(1):91-110.

Domnick C, Garcia P, Raschke MJ, Glasbrenner J, Lodde G, Fink C, Herbort M (2017) Trends and incidences of ligament-surgeries and osteotomies of the knee: an analysis of German inpatient records 2005-2013. Arch Orthop Trauma Surg. 137(7):989-995.

Garrison JC, Bothwell JM, Wolf G, Aryal S, Thigpen CA (2015) Y Balance Test Anterior Reach Symmetry at Three Months Is Related to Single Leg Functional Performance at Time of Return to Sports Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Int J Sports Phys Ther. 10(5):602-11.

Gokeler A, Dingenen B, Hewett TE (2022) Rehabilitation and Return to Sport Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Where Are We in 2022? Arthrosc Sports Med Rehabil. 4(1):e77-e82.

Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S, Seil R, Padua D (2017) Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 25(1):192-199.

Golberg E, Sommerfeldt M, Pinkoski A, Dennett L, Beaupre L (2024) Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Return-to-Sport Decision-Making: A Scoping Review. Sports Health. 16(1):115-123.

Graziano J, Chiaia T, De Mille P, Nawabi DH, Green DW, Cordasco FA (2017) Return to Sport for Skeletally Immature Athletes After ACL Reconstruction: Preventing a Second Injury Using a Quality of Movement Assessment and Quantitative Measures to Address Modifiable Risk Factors. Orthop J Sports Med. 5(4):2325967117700599.

Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, Bahr R, Beynnon BD, Demaio M, Dick RW, Engebretsen L, Garrett WE, Jr., Hannafin JA, Hewett TE, Huston LJ, Ireland ML, Johnson RJ, Lephart S, Mandelbaum BR, Mann BJ, Marks PH, Marshall SW, Myklebust G, Noyes FR, Powers C, Shields C, Jr., Shultz SJ, Silvers H, Slauterbeck J, Taylor DC, Teitz CC, Wojtys EM, Yu B (2006) Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. Am J Sports Med. 34(9):1512-32.

Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2016) Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. Br J Sports Med. 50(13):804-8.

Herbawi F, Lozano-Lozano M, Lopez-Garzon M, Postigo-Martin P, Ortiz-Comino L, Martin-Alguacil JL, Arroyo-Morales M, Fernandez-Lao C (2022) A Systematic Review and Meta-Analysis of Strength Recovery Measured by Isokinetic Dynamometer Technology after

Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autografts vs. Hamstring Tendon Autografts or Patellar Tendon Autografts. Int J Environ Res Public Health. 19(11).

Herbst E, Hoser C, Hildebrandt C, Raschner C, Hepperger C, Pointner H, Fink C (2015) Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 23(5):1283-1291.

Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I, Milne R, Perera R, Moher D, Altman DG, Barbour V, Macdonald H, Johnston M, Lamb SE, Dixon-Woods M, Mcculloch P, Wyatt JC, Chan AW, Michie S (2014) Better reporting of interventions: template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. BMJ. 348g1687.

Hughes JD, Burnham JM, Hirsh A, Musahl V, Fu FH, Irrgang JJ, Lynch AD (2019) Comparison of Short-term Biodex Results After Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Among 3 Autografts. Orthop J Sports Med. 7(5):2325967119847630.

Krishnan C, Williams GN (2014) Effect of knee joint angle on side-to-side strength ratios. J Strength Cond Res. 28(10):2981-7.

Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E (2016) Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. Br J Sports Med. 50(15):946-51.

Lai CCH, Ardern CL, Feller JA, Webster KE (2018) Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. Br J Sports Med. 52(2):128-138.

Luo TD, Ashraf A, Dahm DL, Stuart MJ, Mcintosh AL (2015) Femoral nerve block is associated with persistent strength deficits at 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction in pediatric and adolescent patients. Am J Sports Med. 43(2):331-6.

Lysholm J, Gillquist J (1982) Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. Am J Sports Med. 10(3):150-4.

Montalvo AM, Schneider DK, Yut L, Webster KE, Beynnon B, Kocher MS, Myer GD (2019) "What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?" A systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med. 53(16):1003-1012.

Oleksy L, Mika A, Sulowska-Daszyk I, Szymczyk D, Kuchciak M, Stolarczyk A, Rojek R, Kielnar R (2021) Standard RTS criteria effectiveness verification using FMS, Y-balance and TJA in footballers following ACL reconstruction and mild lower limb injuries. Sci Rep. 11(1):1558.

Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE, Jr., Beutler AI (2009) The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. Am J Sports Med. 37(10):1996-2002.

Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE (2014) Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. Am J Sports Med. 42(7):1567-73.

Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, Hewett TE (2010) Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. Am J Sports Med. 38(10):1968-78.

Raschner C, Lembert S, Platzer HP, Patterson C, Hilden T, Lutz M (2008) [S3-Check--evaluation and generation of normal values of a test for balance ability and postural stability]. Sportverletz Sportschaden. 22(2):100-5.

Roe C, Jacobs C, Hoch J, Johnson DL, Noehren B (2022) Test Batteries After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. Sports Health. 14(2):205-215.

Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, Stuart MJ, Krych AJ (2016) Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. Am J Sports Med. 44(6):1502-7.

Schmitt LC, Paterno MV, Hewett TE (2012) The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. J Orthop Sports Phys Ther. 42(9):750-9.

Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL, Warren RL, Koreerat CM, Straseske CA, Childs JD (2013) Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. Mil Med. 178(11):1264-70.

Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. Clin Orthop Relat Res. (198):43-9.

Turk R, Shah S, Chilton M, Thomas TL, Anene C, Mousad A, Le Breton S, Li L, Pettit R, Ives K, Ramappa A (2023) Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Requires Evaluation of >2 Functional Tests, Psychological Readiness, Quadriceps/Hamstring Strength, and Time After Surgery of 8 Months. Arthroscopy. 39(3):790-801 e6.

Von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotzsche PC, Vandenbroucke JP, Initiative S (2007) The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. Lancet. 370(9596):1453-7.

Webster KE, Feller JA, Lambros C (2008) Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. Phys Ther Sport. 9(1):9-15.

Webster KE, Feller JA, Leigh WB, Richmond AK (2014) Younger patients are at increased risk for graft rupture and contralateral injury after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 42(3):641-7.

Webster KE, Hewett TE (2019) What is the Evidence for and Validity of Return-to-Sport Testing after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 49(6):917-929.

Welling W, Benjaminse A, Seil R, Lemmink K, Zaffagnini S, Gokeler A (2018) Low rates of patients meeting return to sport criteria 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective longitudinal study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 26(12):3636-3644.

Wellsandt E, Failla MJ, Snyder-Mackler L (2017) Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. J Orthop Sports Phys Ther. 47(5):334-338.

West TJ, Bruder AM, Crossley KM, Culvenor AG (2023) Unilateral tests of lower-limb function as prognostic indicators of future knee-related outcomes following anterior cruciate ligament injury: a systematic review and meta-analysis of 13 150 adolescents and adults. Br J Sports Med. 57(13):855-863.

Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD (2016) Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med. 44(7):1861-76.

8 Abkürzungsverzeichnis

ACL-RSI *Anterior Cruciate Ligament - Return to Sport after Injury*

BMI *Body Mass Index*

KI95% *95% Konfidenzintervall*

LSI *Limb Symmetry Index*

mLESS *modified Landing Error Scoring System*

OR Odds Ratio

PROM *Patient Reported Outcome Measures*

RTS *Return to Sport*

VKB *Vorderes Kreuzband*, *Vorderes Kreuzband*

VKBR *Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes*

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Studie.....8

Abbildung 2: Das DIERS 4Dmotion® Lab zur Analyse der Biomechanik in Stand und Gang .9

Abbildung 3: Übersicht über die Komponenten der Testbatterie 11

Abbildung 4: MFT Challenge Disc zur Beurteilung der Gleichgewichtsfähigkeit.....12

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Hop Tests; (A) Side Hop Test; (B) Square Hop Test 13

Abbildung 6: DIERS Myoline zur Messung der isometrischen Maximalkraft, rechts mit EMG-Elektroden ©LANS Medicum 14

Abbildung 7: Flussdiagramm der in diese Studie einbezogenen Patienten (VKBR = vordere Kreuzbandrekonstruktion; RTS = Return to Sport) 18

Abbildung 8: Bestehensquote nach 6 und 12 Monaten sowie Bestehensquote nach 12 Monaten nach Geschlecht.....21

Abbildung 9: Zeit bis zum Return to Sport im Vergleich zu anderen Studien (Graziano et al. 2017, Grindem et al. 2016).....26

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientenmerkmale zu Studienbeginn (m = männlich; f = weiblich)..... 19

Tabelle 2: Merkmale der Patienten, die die RTS-Testbatterie bestanden oder nicht bestanden (RTS = Return to Sports Testbatterie)..... 22

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeit einer erneuten Verletzung in Abhängigkeit von den Ergebnissen einzelner Tests der Testbatterie (ACL-RSI = Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury; LSI = Limb Symmetry Index; MFT = MFT Balance Board; m = männlich; w = weiblich)..... 22

11 Frühere Veröffentlichungen

Degenhardt H, Henze AS, Häußer J, Praetorius A (2025). Prähabilitation–bessere Behandlungsergebnisse durch gezielte Operationsvorbereitung?. Arthroskopie. 38(4):333-340.

Häußer J, Wieber J, Catalá-Lehnen P (2021) The use of extracorporeal shock wave therapy for the treatment of bone marrow oedema - a systematic review and meta-analysis. Journal of orthopaedic surgery and research. 16(1):369.

12 Danksagungen

In erster Linie danke ich meinem Doktorvater, Prof. Dr. Frank Timo Beil, für die Möglichkeit, die Doktorarbeit in seiner Klinik durchführen zu können.

Ich danke meinem Betreuer, Prof. Dr. Philip Catalá-Lehnen, der mich immer ermutigt und motiviert hat. Er ist mein Mentor seit Beginn des Medizinstudiums und hat mich seitdem auf meinem Weg in die Sportmedizin begleitet und unterstützt. Er war maßgeblich an der Konzipierung der vorliegenden Studie und der Entwicklung der hier verwendeten Testbatterie beteiligt. Bei der Entwicklung der Testbatterie waren auch Birte Gehrmann und Bernhard Schlegel maßgeblich beteiligt. Ich danke beiden für ihre Beiträge.

Mit besonderem Dank erwähne ich Juliane Wieber, die diese Arbeit inhaltlich und methodisch wesentlich mitgestaltet hat. Ihre tatkräftige Begleitung der Studie, ihre Unterstützung bei der Wahl der passenden statistischen Verfahren sowie ihr Engagement bei der Analyse und Veröffentlichung der Ergebnisse haben die vorliegende Arbeit in entscheidender Weise geprägt.

Ich danke auch Philipp Weber vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie für seine statistische Beratung, die entscheidend zur Qualität dieser Arbeit beigetragen hat.

Andreas Barke danke ich für seine hilfreiche Unterstützung in der praktischen Durchführung der Studie und bei der Rekrutierung der Patienten. Ich danke auch allen Sportwissenschaftlern und Physiotherapeuten des LANS Medicum, die viele Stunden in die Untersuchung der Patienten investiert haben.

Mein besonderer Dank gilt außerdem Dr. Jörg Cramer, der mich bereits in einer frühen Phase meiner beruflichen Entwicklung gefördert und mir wichtige Impulse im Verlauf meiner Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie gegeben hat.

Ebenso danke ich Catharina Groß, die mich bei der Finalisierung dieser Dissertation unterstützt und die finale Version gegengelesen hat.

Meiner Familie danke ich von Herzen für ihre bedingungslose Unterstützung und ihren Rückhalt in allen Lebenslagen. Sie haben mir die Kraft gegeben, diese Arbeit zu vollenden. Mein Dank gilt auch meiner Freundin Sarah Pfeiffer die mit Geduld, Verständnis und Zuspruch an meiner Seite stand und mich in jeder Phase dieses Projekts unterstützt hat.

13 Erklärung des Eigenanteils

Die Konzeption der Studie sowie die Entwicklung der Testbatterie erfolgte maßgeblich durch Prof. Dr. Philip Catalá-Lehnen, PD Dr. Christian Ries und mich. Bei der Entwicklung der Testbatterie unterstützten uns auch Bernhard Schlegel sowie Birte Gehrmann von sportwissenschaftlicher und physiotherapeutischer Seite. Die Literaturrecherche dazu habe ich eingeständig durchgeführt.

Die Patientenrekrutierung übernahm Andreas Barke, der zu dem Zeitpunkt noch im Orthopädikum Neuer Wall tätig war. Die Patienten wurden dort über die Studie informiert, wenn sie zur Kreuzbandplastik vorstellig wurden. Die weitere Datenerhebung erfolgte am LANS Medicum. Nach ärztlicher Vorstellung bei Andreas Barke oder mir wurden die weiteren Testungen sechs und zwölf Monate postoperativ von mir oder teilweise auch von den dortigen Sportwissenschaftlern und Physiotherapeuten durchgeführt. Die telefonische Datenerhebung nach 24 Monaten mit dem Fokus auf Wiederverletzungen erfolgte durch mich persönlich.

Die Texte dieser Schrift habe ich selbst erstellt. Lediglich für den Methodikteil diente ein englischer Text für eine ursprünglich geplante Publikation als Grundlage, welche von mir übersetzt und überarbeitet wurde. Die Datenaufbereitung und -analyse habe ich zunächst in Excel, dann in SPSS durchgeführt. Abbildungen und Fotos habe ich selbst erstellt mit Ausnahme der Fotos in Abbildung 6, welche vom LANS Medicum stammen.

14 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum Unterschrift

15 Anhang

15.1 Anhang 1: Rehabilitationsprotokoll

	Physiotherapie	**Medikation**	**Orthese / UAG**	**Eigenübungen**
1.-2. Woche	Beginn 5 Tage postoperativ mit passiver Mobilisierung (anfangs im Liegen) nach Maßgabe der Beschwerden (ohne Orthese!), eine Beugung über 90° und volle Streckung sollte frühzeitig erreicht werden.	Diclofenac 75mg retard 1-0-1 Novalgin 500 mg 1-1-1-1 Cefuroxim 500mg Tbl. 1-0-1 Tilidin ret. 50/4mg Tbl. 1-0-1 Thrombareduct 180.000 (privat)	Verwendung Tag und Nacht ohne Bewegungslimitierung, 2 Unterarmgehhilfen mit 20kg Teilbelastung	Sofort nach Abnahme des Verbandes, Beuge- und Streckübungen nach Anleitung, Pendelübungen, Verwendung des EMS-Geräts , Start der Benutzung der CPM-Schiene sofort nach Erhalt in der 1 Woche
3.-4. Woche	Passive Mobilisierung nach Maßgabe der Beschwerden (ohne Orthese!), eine volle Beugung und Streckung sollte frühzeitig erreicht werden	Diclofenac 75mg retard 1-0-1 Novalgin 500mg Tbl. b.B.	Orthese weiterhin tragen, UAG kann abtrainiert werden, ggf. Kinesiotape	Beuge- und Streckübungen nach Anleitung, CPM-Schiene weiter für noch 2 Wochen (insg max. 4 Wochen), EMS weiter
5.-6. Woche	Weiterhin Verbesserung der Beweglichkeit, isometrisches Krafttraining, Propriozeptions-Training	Diclofenac retard Tbl. 1-0-0 Novalgin 500mg Tbl. b.B.	Orthese und UAG können weggelassen werden, ggf. Kinesiotape	Übungen nach Anleitung der Physiotherapie und des Arztes
7.-8. Woche	Langsamer Kraftaufbau an Geräten mit geführten Bewegungen, weiterhin Isometrie, Ergometrie	Diclofenac retard b.B.. Novalgin 500mg Tbl. b.B.	Keine, ggf. Kinesiotaping	Übungen nach Anleitung der Physiotherapie und des Arztes, Beginn mit eigenem Koordinationstraining
9.-12. Woche	Weiterhin Krafttraining an Geräten, Steigerung der Gewichte, Beginn eines vorsichtigen Lauftrainings unter Anleitung/Aufsicht	nur noch bei Bedarf	Ggf. Kinesiotaping	Eigenübung zur Kräftigung nach Anleitung der Physiotherapie und des Arztes, Wiederaufnahme der beruflichen Tätigkeit
12.-21. Woche	Erstellen eines individuellen Trainingsplans	nur noch bei Bedarf	Ggf. Kinesiotaping	Eigenübung zur Kräftigung Beginn Radfahren, Lauftraining und Schwimmen
Ab 21. Woche	Ggf. Physiotherapeutische Kontrolle des Trainingsplanes	nur noch bei Bedarf	Ggf. Kinesiotaping	Eigenständiges sportliches Training von Laufen, Schwimmen, Radfahren. KEINE Stop'n Go-Sportarten für weitere 7 Monate

15.2 Anhang 2: Lysholm-Score

Name:
Betroffene Seite:
OP-Termin:

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
• gelegentliche 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 und gering während schwerer Anstrengung	20
• deutlich/ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15
• deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2km	10
• deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2km	5
• ständig	0
SCHWELLUNG	
• keine	10
• bei schwerer 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
GESAMTPUNKTEZAHL	

15.3 Anhang 3: ACL-RSI

1. Sind Sie zuversichtlich, dass Sie den Sport auf demselben Niveau wie vorher ausüben können?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überhaupt nicht zuversichtlich					⟺					Völlig zuversichtlich

2. Halten Sie es für wahrscheinlich, Ihr Knie durch die Teilnahme an Ihrem Sport wieder verletzen zu können?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sehr wahrscheinlich					⟺					Völlig unwahrscheinlich

3. Macht Sie der Gedanke an die Ausübung Ihres Sports nervös?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sehr nervös					⟺					Gar nicht nervös

4. Sind Sie zuversichtlich, dass Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports nicht nachgeben wird?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überhaupt nicht zuversichtlich					⟺					Völlig zuversichtlich

5. Sind Sie zuversichtlich, dass Sie Ihren Sport ausüben können, ohne Bedenken wegen Ihres Knies zu haben?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überhaupt nicht zuversichtlich					⟺					Völlig zuversichtlich

6. Finden Sie es frustrierend, dass Sie in Bezug auf Ihren Sport Ihr Knie berücksichtigen müssen?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sehr frustrierend					⟺					Überhaupt nicht frustrierend

7. Befürchten Sie, dass Sie Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports wieder verletzen könnten?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Habe große Sorge					⟺					Habe überhaupt keine Sorge

8. Sind Sie zuversichtlich, dass Ihr Knie unter Belastung standhält?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überhaupt nicht zuversichtlich					⟺					Völlig zuversichtlich

9.Haben Sie Angst, dass Sie Ihr Knie bei der Ausübung Ihres Sports versehentlich wieder verletzen könnten?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Habe große Angst					⟺					Völlig zuversichtlich

10. Hält Sie der Gedanke daran, nochmals operiert und nachbehandelt werden zu müssen, davon ab, Ihren Sport auszuüben?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Die ganze Zeit					⟺					Zu keinem Zeitpunkt

11. Sind Sie zuversichtlich, Ihren Sport gut ausüben zu können?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überhaupt nicht zuversichtlich					⟺					Völlig zuversichtlich

12. Sind Sie gelassen, wenn es um die Ausübung Ihres Sports geht?

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Gar nicht gelassen					⟺					völlig gelassen

15.4 Anhang 4: Tegner Activity Scale (TAS)

validierte deutsche Version (Wirth 2013)

Name: Datum:

Geburtsdatum: Untersucher:

Mit den nachfolgenden Fragen möchten wir untersuchen, wie gut Ihre alltags- und sportartspezifische Funktion ist.

Bitte lesen Sie die nachfolgende Aufstellung durch. Beurteilen Sie Ihren Aktivitätsstatus und kreuzen Sie die betreffende Spalte an.

Aktivitätsgrad	Tätigkeit	Wertung
Wettkampfsport – auf nationalem und internationalem Niveau	Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)	10
Wettkampfsport	Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)	9
Wettkampfsport	Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)	8
Wettkampfsport Freizeitsport	Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf Eishockey, Fußball, Ski alpin	7
Freizeitsport	Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)	6
Wettkampfsport Freizeitsport	Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf	5

Arbeit	Turnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens. 2x die Woche) Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)	
Freizeitsport Arbeit	Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x die Woche) Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)	4
Wettkampf- und Freizeitsport Arbeit Gehen	Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling Leichte körperliche Arbeit Querfeldein ist möglich	3
Arbeit Gehen	Vorwiegend sitzende Tätigkeit Auf unebenem Boden möglich	2
Arbeit Gehen	Sitzende Tätigkeit Nur auf ebenem Boden möglich	1
Arbeit Gehen	Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen Nur eingeschränkt möglich	0

15.5 Anhang 5: Das STROBE-Statement – Checkliste der Punkte, die in Berichten über Beobachtungsstudien enthalten sein sollten

	Nr.	Empfehlung	Seite
Titel und Abstract	1	(a) Machen Sie das Studiendesign im Titel oder Abstract kenntlich, indem Sie dafür einen allgemein gebräuchlichen Begriff verwenden	39
		(b) Verfassen Sie für das Abstract eine aussagefähige und ausgewogene Zusammenfassung dessen, was in der Studie gemacht wurde und was herausgefunden wurde	39
Einleitung			
Hintergrund/Rationale	2	Erläutern Sie den wissenschaftlichen Hintergrund und die Rationale für die vorgestellte Studie	6-7
Zielsetzungen	3	Geben Sie alle spezifischen Zielsetzungen einschließlich der (vorab festgelegten) Hypothesen an	5-7
Methoden			
Studiendesign	4	Beschreiben Sie die wichtigsten Elemente des Studiendesigns möglichst früh im Artikel	9
Rahmen	5	Beschreiben Sie den Rahmen (Setting) und Ort der Studie und machen Sie relevante zeitliche Angaben, einschließlich der Zeiträume der Rekrutierung, der Exposition, der Nachbeobachtung und der Datensammlung	8
Studienteilnehmer	6	(a) Kohortenstudie – Geben Sie die Einschlusskriterien, die Herkunft der Teilnehmer sowie die Methoden ihrer Auswahl an; beschreiben Sie die Methoden der Nachbeobachtung	8
		(b) Kohortenstudie – Geben Sie für Studien, die Matching (Paarbildung) verwenden, die Matchingkriterien und die Anzahl der exponierten und der nicht exponierten Teilnehmer an	
Variablen	7	Definieren Sie eindeutig alle Zielgrößen, Expositionen, Prädiktoren, mögliche Confounder und Effektmodifikatoren; geben Sie gegebenenfalls Diagnosekriterien an	12-15
Datenquellen/ Messmethoden	8*	Geben Sie für jede in der Studie wichtige Variable die Datenquellen an und erläutern Sie die verwendeten Bewertungs- bzw. Messmethoden. Beschreiben Sie die Vergleichbarkeit der Messmethoden, wenn es mehr als eine Gruppe gibt	12-15

Bias	9	Beschreiben Sie, was unternommen wurde, um möglichen Ursachen von Bias zu begegnen	8
Studiengröße	10	Erklären Sie, wie die Studiengröße ermittelt wurde	16
Quantitative Variablen	11	Erklären Sie, wie in den Auswertungen mit quantitativen Variablen umgegangen wurde. Wenn nötig, beschreiben Sie, wie Kategorien (Gruppierungen) gebildet wurden und warum	16
Statistische Methoden	12	(a) Beschreiben Sie alle statistischen Methoden, einschließlich der Methoden, die für die Kontrolle von Confounding verwendet wurden	16
		(b) Beschreiben Sie Verfahren, mit denen Subgruppen und Interaktionen untersucht wurden	16
		(c) Erklären Sie, wie mit fehlenden Daten umgegangen wurde	16
		(d) Kohortenstudie – Erklären Sie gegebenenfalls wie mit dem Problem des vorzeitigen Ausscheidens aus der Studie („loss to follow-up“) umgegangen wurde	16
		(e) Beschreiben Sie vorgenommene Sensitivitätsanalysen	16
Ergebnisse			
Teilnehmer	13*	(a) Geben Sie die Anzahl der Teilnehmer während jeder Studienphase an, z. B. die Anzahl der Teilnehmer, die potenziell geeignet waren, die auf Eignung untersucht wurden, die als geeignet bestätigt wurden, die tatsächlich an der Studie teilgenommen haben, deren Nachbeobachtung abgeschlossen wurde und deren Daten ausgewertet wurden	18
		(b) Geben Sie die Gründe für die Nicht-Teilnahme in jeder Studienphase an	18
		(c) Erwägen Sie die Darstellung in einem Flussdiagramm	18
Deskriptive Daten	14*	(a) Beschreiben Sie Charakteristika der Studienteilnehmer (z. B. demographische, klinische und soziale Merkmale) sowie Expositionen und mögliche Confounder	19
		(b) Geben Sie für jede Variable die Anzahl der Teilnehmer mit fehlenden Daten an	18
		(c) Kohortenstudie – Fassen Sie die Nachbeobachtungszeit zusammen (z. B. Mittelwert und Gesamtzeitraum)	20

Ergebnisdaten	15*	Kohortenstudie – Berichten Sie über die Anzahl der Zielereignisse oder statistische Maßzahlen (z. B. Mittelwert und Standardabweichung) im zeitlichen Verlauf	19
Hauptergebnisse	16	(a) Geben Sie die unadjustierten Schätzwerte an und gegebenenfalls auch die Schätzwerte in denen Adjustierungen für die Confounder vorgenommen wurden sowie deren Präzision (z. B. 95%-Konfidenzintervall); machen Sie deutlich, für welche Confounder adjustiert wurde und warum diese berücksichtigt wurden	20-22
		(b) Wenn stetige Variablen kategorisiert wurden, geben Sie die oberen und unteren Grenzwerte der einzelnen Kategorien an	20-22
		(c) Wenn relevant, erwägen Sie, für aussagekräftige Zeiträume Schätzwerte relativer Risiken auch als absolute Risiken auszudrücken	
Weitere Auswertungen	17	Berichten Sie über weitere vorgenommene Auswertungen, z. B. die Analyse von Subgruppen und Wechselwirkungen (Interaktionen) sowie Sensitivitätsanalysen	20-22
Diskussion			
Hauptergebnisse	18	Fassen Sie die wichtigsten Ergebnisse in Hinsicht auf die Studienziele zusammen	23
Einschränkungen	19	Diskutieren Sie die Einschränkungen der Studie und berücksichtigen Sie dabei die Gründe für möglichen Bias oder Impräzision. Diskutieren Sie die Richtung sowie das Ausmaß jedes möglichen Bias	35-36
Interpretation	20	Nehmen Sie eine vorsichtige übergreifende Interpretation der Resultate vor und berücksichtigen Sie dabei die Ziele und Einschränkungen der Studie, die Multiplizität der Analysen, die Ergebnisse anderer Studien und andere relevante Evidenz	23-34
Übertragbarkeit	21	Besprechen Sie die Übertragbarkeit (externe Validität) der Studienergebnisse	35-36
Zusätzliche Informationen			
Finanzierung	22	Geben Sie an, wie die vorliegende Studie finanziert wurde, und erläutern Sie die Rolle der Geldgeber. Machen Sie diese Angaben gegebenenfalls auch für die Originalstudie, auf welcher der vorliegende Artikel basiert	8

15.6 Anhang 6: Checkliste zur Interventionsbeschreibung und Replikation (TIDieR)

Item-Nr.	Item	Seite
Kurze Bezeichnung		
1	Bezeichnung oder Umschreibung angeben, die die Intervention charakterisiert.	8
Warum		
2	Rationale, Theorien oder Ziele der für die Intervention wesentlichen Elemente beschreiben.	7, 11-14
Was		
3	Materialien: Jegliches Informations- oder gegenständliches Material, das in der Intervention genutzt wurde, beschreiben, einschließlich Material, das an die Studienteilnehmer ausgegeben oder bei der Behandlung selbst oder beim Training der Behandelnden eingesetzt wird. Informieren, wie auf Material zugegriffen werden kann (z. B. Online-Anhänge, Internetseiten).	9, 56
4	Prozeduren: Die einzelnen Prozeduren, Aktivitäten und/oder Prozesse, die im Rahmen der Intervention genutzt wurden, beschreiben, einschließlich vorbereitender oder unterstützender Aktivitäten.	9-10
Wer intervenierte		
5	Expertise, beruflichen Hintergrund und jegliches spezifisches Training der einzelnen Gruppen der Behandelnden (wie z. B. Psychologe oder Pflegeassistent) beschreiben.	9
Wie		
6	Modalitäten beschreiben, wie die Intervention durchgeführt wurde (z. B. im persönlichen Kontakt oder anderweitig per Telefon oder Internet) und ob sie als Einzel- oder Gruppenintervention angeboten wurde.	9
Wo		
7	Merkmale der Orte, an denen die Intervention eingesetzt wurde, beschreiben, einschließlich jeglicher notwendiger Infrastruktur oder relevanter Besonderheiten.	9-14
Wann und wieviel		
8	Beschreiben, wie häufig und über welchen Zeitraum die Intervention durchgeführt wurde, einschließlich der Anzahl, Frequenz und Dauer von Sitzungen bzw. der Intensität oder Dosis der Intervention.	8
Anpassung		
9	Wenn geplant war, die Intervention zu personalisieren, titrieren oder anzupassen, beschreiben was, warum, wann und wie angepasst wurde.	

Modifikation	
10	Wenn die Intervention im Verlauf der Studie modifiziert wurde, die Änderungen beschreiben (was, warum, wann und wie).
Wie gut	
11	Geplant: Wenn für die Intervention die Adhärenz oder die Therapietreue beurteilt wurden, beschreiben wie und von wem; falls Strategien eingesetzt wurden, um die Therapietreue zu erhalten oder zu verbessern, auch diese beschreiben.
12	Wie gut (tatsächlich): Wenn für die Intervention die Adhärenz oder die Therapietreue bewertet wurde, beschreiben in welchem Ausmaß die Intervention wie geplant ausgeführt wurde.