

Aus der orthopädischen Klinik der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf
Direktor/in bzw. Leiter/in: Univ.-Prof. Dr. med. Windolf

Retrospektive Evaluation der Ligabrace-Technik hinsichtlich
des subjektiven und klinischen Outcomes sowie der
radiologischen Einheilung in der MRT bei isolierter femoraler
Ruptur des vorderen Kreuzbandes im Vergleich zur
Versorgung mittels autologem Sehnentransplantat in
Hamstring-Technik

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Marie Riedel
2022

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan/in: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter/in: Prof. Dr. med. Thilo Patzer

Zweitgutachter/in: Priv.-Doz. Dr. med. Jan Graßmann

Meiner Familie

Zusammenfassung

Den aktuellen Goldstandard in der Therapie von VKB Rupturen stellt die VKB Rekonstruktion mit einem autologen Sehnentransplantat dar. Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass mittels Rekonstruktion die Stabilität im Kniegelenk weitestgehend wiederhergestellt werden kann. Dennoch verbleiben Probleme wie Entnahmemorbidität, ein reduziertes Aktivitätslevel im Vergleich zum prätraumatischen Zustand oder langfristige intraartikuläre Schäden, wie die Entwicklung einer Osteoarthrose. Frühere Untersuchungen zur offenen Reparatur des VKB zeigten unbefriedigende Langzeitergebnisse. Eine Erklärung hierfür bietet das breite unselektierte Patientengut, an dem eine Reparatur des VKB durchgeführt wurde. Besonders die Einteilung von Sherman und Kollegen der Rupturen nach Lokalisationsort sind grundlegend für den Aufschwung in der VKB erhaltenden Therapie. Zudem hat die fortwährende Weiterentwicklung im Feld der arthroskopischen Techniken und der diagnostischen Möglichkeiten die Methode der VKB Reparatur zurück in den Vordergrund gerückt und die Vorteile der Wiederherstellung des nativen, anatomischen Ausgangszustandes nochmals beleuchtet.

Das primäre Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es die LGB Technik, eine neuartige VKB erhaltende Operationstechnik, vorzustellen und mit dem aktuellen Goldstandard zu vergleichen. Die Indikation zur LGB Operation wird ausschließlich bei akuten, proximalen VKB Rupturen mit guter Restgewebequalität gestellt. Nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 12 Monaten wurden 25 Patienten einer LGB Gruppe mit 25 Patienten einer VKBR Gruppe hinsichtlich des subjektiven und klinischen Outcomes, sowie der radiologischen Einheilung im MRT verglichen. Alle Patienten zeigten in der MRT ein durchgängiges, eingehheiltes VKB. In der Stabilitätsmessung sahen wir in beiden Gruppen eine mittlere Seitendifferenz von weniger als 1 mm, was eine gute Stabilität in beiden Gruppen indiziert. Die Ergebnisse der validierten kniespezifischen Scores IKDC, Lysholm und Tegner zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Kohorten.

Anhand dieser Ergebnisse und unter Berücksichtigung der bereits publizierten primären Nahtverfahren wie der Ankerrefixationstechnik oder der Ligamys-Technik kommen wir zu dem Schluss, dass die LGB-Technik nach Dr. med. Vonhoegen bei strenger Patientenselektion und Indikationsstellung unabhängig von Alter und Aktivitätslevel bei akuten, proximalen VKB Rupturen eine gleichwertige Operationsmethode zur VKBR darstellt.

Abstract

The current standard in the treatment of ACL tears is ACL reconstruction with an autologous tendon graft. Studies in recent years have shown that reconstruction can largely restore stability in the knee joint. However, patients report issues such as removal morbidity, reduced activity level compared to the pretraumatic state, or long-term intra-articular damage such as the development of osteoarthritis. Previous studies on open ACL repair showed unsatisfactory long-term results. The wide unselected patient population in which ACL repair has been performed offers one explanation. In particular, the classification of Sherman and colleagues of tears regarding type of tear have been fundamental to the renewed interest in ACL preserving therapy. In addition, continued advancement in the field of arthroscopic techniques and diagnostic capabilities has put the focus back on the method of ACL repair and once again illuminated the advantages of restoring the native, anatomic conditions.

The primary intention of the present studies is to introduce the LGB technique, a novel technique in the field of ACL preserving surgery, and to compare it with the current operative standard. The indication for LGB surgery is exclusively for acute proximal ACL avulsion tears with good tissue quality. After a mean follow-up of 12 months, 25 patients in an LGB-group were compared with 25 patients in a VKBR-group with respect to subjective and clinical outcome, as well as radiological healing on MRI. All patients showed a continuous, healed ACL on MRI. In the measurement of stability, we saw a mean side-to-side difference of less than 1 mm, indicating good knee stability in both groups. The results of the validated knee-specific scores IKDC, Lysholm, and Tegner showed no significant differences between the two cohorts.

Based on these results and taking into account the already published ACL repair techniques such as the suture anchor-technique or the Ligamys-technique, we conclude that the LGB-technique according to Dr. med. Vonhoegen is an equivalent surgical method to the VKBR in the treatment of acute, proximal avulsures with strict patient selection independent of age and activity level.

Abkürzungen

ACL	anterior cruciate ligament
AM	anteriomedial
AOSSM	American Orthopaedic Society for Sports Medicine
ATT	anteriore tibiale Translation
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlich Medizinischen Fachgesellschaften
DIS	dynamische intraligamentäre Stabilisierung
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
GS	Musculus gracilis-Sehne
HKB	hinteres Kreuzband
HR	Healing Response
LGB	Ligabrace
M	Musculus
PL	posterolateral
PRO	patient reported outcome
STS	Musculus semitendinosus-Sehne
VKB	vorderes Kreuzband
VKBR	vordere Kreuzbandrekonstruktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Epidemiologie.....	2
1.2	Die Anatomie des Kniegelenkes.....	4
1.3	Die Anatomie des vorderen Kreuzbandes.....	5
1.4	Die biomechanische Funktion des vorderen Kreuzbandes.....	7
1.5	Die propriozeptive Funktion des vorderen Kreuzbandes.....	8
1.6	Entwicklung der operativen VKB Therapie.....	10
1.7	Therapie der VKB Ruptur.....	13
1.7.1	Indikationsstellung.....	13
1.7.2	Rekonstruktion mit einem autologen Sehnen­transplantat.....	16
1.8	Ziele der Arbeit.....	17
2	Material und Methoden.....	19
2.1	Studiendesign und Patientenkollektiv.....	19
2.2	Ein- und Ausschlusskriterien.....	21
2.2.1	Einschlusskriterien.....	21
2.2.2	Ausschlusskriterien.....	22
2.3	Scores.....	22
2.3.1	IKDC.....	22
2.3.2	Lysholm.....	26
2.3.3	Tegner.....	27
2.4	Instrumentelle Stabilitätsmessung mittels Rolimeter.....	27
2.5	Radiologische Untersuchung.....	28
2.6	Operationstechniken.....	29
2.6.1	Hamstring-Technik.....	30
2.6.2	Ligabrace-Technik.....	31
2.7	Postoperative Rehabilitation.....	36
2.8	Statistische Methoden.....	36
3	Ergebnisse.....	38
3.1	Scores.....	38
3.1.1	IKDC.....	38
3.1.2	Lysholm Score.....	41
3.1.3	Tegner Aktivitätsscore.....	44
3.2	Instrumentelle Stabilitätsmessung.....	47
3.3	IKDC Grade.....	48

3.4	Radiologische Untersuchung	50
4	Diskussion	53
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	53
4.2	Vergleichbarkeit der Patientenkollektive	54
4.3	Diskussion der Methoden	55
4.4	Vorstellung aktueller Verfahren.....	57
4.4.1	Fadenankertechnik nach Achtnich und Kollegen	59
4.4.2	Ligamys-Verfahren	60
4.4.3	Internal Bracing	61
4.5	Diskussion der Ergebnisse	62
4.5.1	Patient Reported Outcome	63
4.5.2	Klinische Untersuchung und Stabilitätsmessung.....	66
4.5.3	Radiologische Einheilung.....	68
4.5.4	Rehabilitation.....	72
4.6	Limitationen	75
4.7	Schlussfolgerung und Ausblick	76
5	Literaturverzeichnis.....	77
6	Abbildungsverzeichnis	90
7	Tabellenverzeichnis	91
	Danksagung	92
	Anhang	93

1 Einleitung

Die vordere Kreuzbandruptur (VKB Ruptur) im Kniegelenk ist eine häufige und schwerwiegende Sportverletzung jeden Alters mit einem Häufigkeitsgipfel zwischen 16 und 39 Jahren (Granán et al., 2008). Knieverletzungen stellen unter den Sportverletzungen mit den häufigsten Grund für eine permanente Beeinträchtigung in Form von persistierenden Symptomen dar (Kujala et al., 1995). Der Anstieg der Inzidenz der VKB Rupturen in den letzten Jahren lässt sich auf das steigende Interesse an der Ausübung von sportlichen Aktivitäten zurückführen (Micheli IJ, 1999 Jul, Shephard, 1988). Außerdem sind eine verbesserte Ausbildung der Sportmediziner, sensitivere diagnostische Verfahren (Crawford et al., 2007) und eine fortwährende Weiterentwicklung in einzelnen Sportarten als weitere Gründe für die steigende Inzidenz anzuführen, wie zum Beispiel die Änderung Fahrtechnik und Ausrüstung beim Skifahren (Steinbrück, 1999). Allein die operative Therapie der VKB Rupturen beruft sich auf bis zu eine Billionen Dollar Kosten pro Jahr (Griffin et al., 2000). Dies verdeutlicht auch die Kostenintensität einer solchen Verletzung.

Studien aus den letzten Jahren haben gezeigt, dass Frauen in Risikosportarten bis zu vier bis sechs Mal häufiger von VKB Rupturen betroffen sind als Männer (Hewett et al., 2005). Als besonders risikoreich stellen sich die sogenannten *pivoting*-Sportarten mit Sprüngen, schnellen Richtungswechseln und plötzlichen Abstoppbewegungen, wie beispielsweise Fußball, Handball oder Basketball, dar (Grøntvedt et al., 1996). Skifahren gehört ebenfalls zu den besonders risikoreichen Sportarten (Steinbrück, 1999). Die VKB Ruptur stellt für die Betroffenen eine schwerwiegende Verletzung dar. Um wieder in den Sport und zur alten Leistungsfähigkeit zurückkehren zu können, spielt daher eine erfolgreiche Therapie und Rehabilitation für die Sportler eine sehr große Rolle.

Besonders im Hinblick auf mögliche Funktionseinschränkungen, sekundäre Meniskusschäden oder das Auftreten von Langzeitschäden in Form von Arthrosen nach VKB versorgender Therapie (Daniel et al., 1994) sollte die Wahl der optimalen Therapie sorgfältig getroffen werden. Ardern und Kollegen fassten in einer Übersichtsarbeit die *return to.sports*- Raten von Athleten zusammen und fanden heraus, dass lediglich 63% zur ursprünglichen Form zurückkehrten. Weitaus weniger (44%) kehrten nach einer VKB Ruptur wieder in den Wettkampfsport zurück (Ardern et al., 2011). Die Weiterentwicklung in der Versorgung einer VKB Läsion ist daher essenziell für alle Betroffenen, um ein möglichst effizientes und zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen.

1.1 Epidemiologie

Das vordere Kreuzband stellt mit die am häufigsten verletzte ligamentäre Struktur des Kniegelenkes dar (Gianotti et al., 2009). Eine genaue Angabe zur Inzidenz von VKB Rupturen ist in der Literatur nicht einheitlich zu finden. So berichteten Nielson und Kollegen von einer Verletzungsrate von 30 Fällen pro 100.000 Einwohner pro Jahr in Dänemark (Nielsen and Yde, 1991). Eine ähnliche Inzidenz wurde für Deutschland beschrieben mit 30 Fällen im Flachland und 70 Fällen im Bergland pro 100.000 Einwohner pro Jahr (durchschnittlich 35.000/Jahr) (Krudwig, 2000). Amerikanische Untersuchungen berichteten über 80.000 VKB Rupturen pro Jahr (Garrick in Griffin et al., 2000). Damit ist die Inzidenz der Ruptur des VKB rund um zehn Mal höher als die des hinteren Kreuzbandes (HKB) (3-4:100.000) (Krudwig, 2000). Circa 65-70% der VKB Läsionen sind mit sportlicher Aktivität assoziiert (Daniel aus Griffin et al., 2000, Gianotti et al., 2009). Man nimmt sogar eine Verdopplung der Inzidenz bei sportlich Aktiven im Vergleich zur Gesamtbevölkerung an (Lobenhoffer, 1999).

Als klassischer Unfallmechanismus wird das kombinierte Flexions-Valgus-Außenrotationstrauma in Situationen ohne Fremdeinwirkung (*non-contact*-Situationen) beschrieben (Koga et al., 2010, Teske et al., 2010). Bei diesem Bewegungsablauf kommt es bei Kniebeugung (Flexion) zu einer Belastung des lateralen Gelenkfortsatzes (Valgus) mit anschließender Außenrotation des Oberschenkelknochens (Femur), vermutlich ausgelöst durch die Druckbelastung und durch eine Kontraktion des Quadricepsmuskels (Koga et al., 2010). Dieser Vorgang ist in Abb. 1 dargestellt. Weiterhin werden das Varus-/Innenrotationstrauma (Arnold et al., 1979), Hyperextensions/-flexionstraumen und die Verschiebung der Tibia nach anterior (anteriore tibialen Translation = ATT), besonders durch Scherkräfte ausgeübt vom Musculus (M.) quadriceps auf die Tibia, beschrieben (DeMorat et al., 2004).

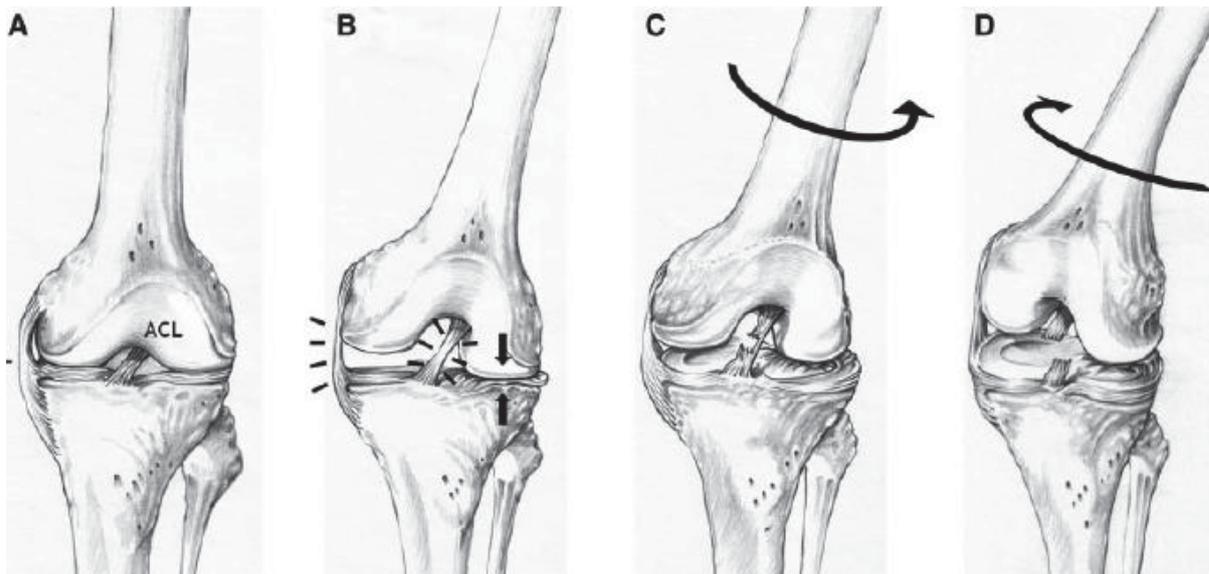


Abb. 1: Klassisches Valgus-Außenrotationstrauma.

A: Unbelastetes linkes Knie (ACL=anterior cruciate ligament).

B: Valgusstress führt zur Belastung des lateralen Kondylus; es kommt zur Dehnung des medialen Kollateralbandes und des VKB.

C: Druckbelastung und Kontraktion des M. quadriceps führen zu einer Verschiebung des lateralen Kondylus nach posterior und so zur Rotation des Femurs gegen die Tibia nach außen. Es kommt zum Riss des VKB.

D: Durch Riss des VKB kommt es zur Aufhebung der Rückhaltekraft für eine Verschiebung der Tibia nach anterior (anteriore tibiale Translation) und zur Verschiebung des medialen Kondylus nach posterior (Koga et al., 2010).

Dabei spielen besonders die sogenannten *pivoting*-Sportarten eine große Rolle. Schnelle Richtungswechsel, Sprünge oder Abstoppbewegungen, besonders in *non-contact*-Situationen, wie beispielsweise bei einer Körpertäuschung in Angriffssituationen beim Teamhandball, sind mit bis zu 70% für die VKB Läsionen in Ballsportarten verantwortlich (Myklebust et al., 1997, Griffin et al., 2000, Arendt and Dick, 1995). Hier ist besonders die wesentlich höhere Inzidenz bei den Frauen anzuführen (Gwinn et al., 2000). Myklebust und Kollegen berichteten in ihren Untersuchungen im norwegischen Teamhandball von einer fünfmal höheren Quote von VKB Läsionen bei Frauen als bei Männern (Myklebust et al., 1998). Im Skisport erleiden über 60% der Skifahrer/innen mit Knieverletzungen eine Kreuzbandruptur. Im Amateurfußball erlitt sogar jeder 5. Spieler über zwei Jahre eine Ruptur des VKB (Lobenhoffer, 1999).

Aus der Häufigkeit von VKB Läsionen lässt sich die klinische Relevanz der Therapie im Feld der VKB Rupturen ableiten. Eine optimale Therapie ist hier unabdingbar, um den verletzten Sportlern die Rückkehr zum ursprünglichen Aktivitätslevel zu ermöglichen.

1.2 Die Anatomie des Kniegelenkes

Das Kniegelenk, *Articulatio genus*, ist ein Drehscharniergelenk und eines der größten Gelenke des menschlichen Körpers. Es besteht aus drei miteinander artikulierenden Knochen: Femur, Tibia und Patella. Somit ergeben sich das Femorotibial- und das Femoropatellargelenk (*Articulatio femorotibialis* und *Articulatio femoropatellaris*), die von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben sind und eine gemeinsame Gelenkhöhle bilden. Im Femorotibialgelenk artikulieren die walzenförmigen Femurkondylen mit den Tibiakondylen, während im Femoropatellargelenk die *Facies patellaris femoris* des Femurs und die Patella ein Gelenk bilden (Schünke, 2014).

Aufgrund der mangelnden Kongruenz der artikulierenden Gelenkflächen spielt ein intakter Halteapparat im Kniegelenk eine wichtige Rolle (Petersen and Zantop, 2009). Daran sind, mit dem medialen und lateralen Meniskus (*Meniscus medialis* und *lateralis*), sowohl knorpelige als auch, mit den Kreuz-/ und Seitenbändern (*Ligamentum cruciata anterior und posterior* und *Ligamentum collaterale mediale und laterale*), ligamentäre Strukturen beteiligt. Dabei gleichen die Menisken die Asymmetrie zwischen den Femur- und Tibiakondylen aus (Benninghoff, 2008). Die starken Kreuzbänder erschweren anterior-posteriore Gleitbewegungen (Butler et al., 1980), während ein Aufklappen nach medial oder lateral durch die Seitenbänder verhindert wird (Schünke, 2014). Das Kniegelenk wird neben den Bandstrukturen zusätzlich durch starke Muskeln und Sehnen stabilisiert. Eine wichtige Rolle spielen hier der extensorisch wirkende *M. quadriceps femoris*. Die Gruppe des *Pes anserinus superficialis* (*Mm. sartorius, semitendinosus* und *gracilis*), sowie der *M. semimembranosus* (*Pes anserinus profundus*) zählen zu den Flexoren. Dazu gehören außerdem der mediale und laterale Gastroknemiuskopf, der *M. popliteus*, der *M. biceps femoris* und der *M. tensor fasciae latae* als Spanner des *Tractus iliotibialis* (Schünke, 2014). *M. semitendinosus*, *M. semimembranosus* sowie *M. biceps femoris* bilden nach ihrem Ursprung und Ansatz zudem die Gruppe der ischiokruralen Muskulatur (*Hamstrings*), dessen Funktion und Wichtigkeit in Abschnitt 1.5 noch weiter beschrieben wird.

Die Anfälligkeit des Kniegelenks für traumatische und degenerative Veränderungen erklärt sich aus den speziellen anatomischen Gegebenheiten: Das Kniegelenk fungiert als Verbindung der längsten Hebelarme des Skeletts, was zum einen große Kräfte auf die beteiligten Strukturen ausübt. Der geringe Weichteilschutz und die Asymmetrie der artikulierenden Gelenkflächen bieten zum anderen wenig Schutz gegen unerwünschte Bewegungen (Aumüller et al., 2010).

1.3 Die Anatomie des vorderen Kreuzbandes

Die Kreuzbänder (*Ligg. cruciata genus*) repräsentieren die Binnenbänder des Kniegelenkes und befinden sich zwischen den *Areae intercondylares anterior* und *posterior* der Tibia und der *Fossa intercondylaris* des Femurs, einer Knochenvertiefung zwischen den beiden Femurcondylen (Petersen and Zantop, 2009). Vorne und seitlich werden die Kreuzbänder von der Gelenkschleimhaut (*Membrana synovialis*) überzogen. Da dieser Überzug in der Kniekehle fehlt, grenzt das hintere Kreuzband (HKB) hier an die äußere Schicht der (*Membrana fibrosa*) der Gelenkkapsel. Daher kann die Lage der Kreuzbänder als extraartikulär und intrakapsulär beschrieben werden (Petersen and Zantop, 2009, Aumüller et al., 2010).

Das VKB zieht von der hinteren, inneren Fläche des lateralen Femurcondylus schräg durch die *Fossa intercondylaris* zur *Area intercondylaris anterior* der Tibia. Es verläuft somit von superio-dorso-lateral nach inferio-ventro-medial, während das HKB von der vorderen Innenfläche des medialen Femurcondylus schräg nach hinten in die *Area intercondylaris posterior* der Tibia zieht (von superior-ventro-medial nach inferior-dorso-lateral) (Benninghoff, 2008, Schünke, 2014). In der Literatur variieren die Angaben zur Länge des VKB von einer durchschnittlichen Länge von 31 (± 3) mm (Odensten and Gillquist, 1985) bis zur einer mittleren Länge von 39 mm (Wilcke, 2013).

Es wird kontrovers diskutiert, ob das VKB sich in unterschiedliche Faserzüge aufteilt. Beschrieben werden in der Literatur vor allem das anteromediale- (AM) und das posterolaterale (PL) Bündel (Abb. 2) (Samuelson et al., 1996), die von Fuss und Kollegen 1989 auch als Führungs- und Sicherungsbündel bezeichnet wurden (Fuss, 1989). Odensten und Kollegen konnten bereits 1985 herausstellen, dass die verschiedenen Anteile histologisch identisch sind und somit eine Unterteilung lediglich unter funktionellen Gesichtspunkten sinnvoll ist (Odensten and Gillquist, 1985). Die einzelnen Bündel weisen bei verschiedenen Kniestellungen unterschiedliche Spannungszustände auf und verhalten sich keineswegs isometrisch (Amis and Dawkins, 1991). Kadaverstudien zeigten, dass das AM Bündel in Flexion maximal angespannt war, während sich das PL Bündel genau gegensätzlich verhielt und bei zunehmender Flexion an Spannung verlor (Amis and Dawkins, 1991). Weiterhin konnten Zantop und Kollegen 2007 herausstellen, dass eine Resektion des AM Bündels zu einer signifikanten Zunahme der anterioren tibialen Translation (ATT), also des Vorschubs der Tibia gegen das Femur, in 60° und 90° Flexion führte. Eine Resektion des PL Bündels hingegen führte zu einer Zunahme der ATT in 30° Flexion und zudem zu einer Rotationsinstabilität (Zantop et al., 2007). Diese Ergebnisse

unterstützten die Annahme, dass das VKB verschiedene Faserzüge enthält, die in unterschiedlichen Bewegungsbereichen unter Spannung stehen und somit unter funktionellen Gesichtspunkten unterschieden werden können.

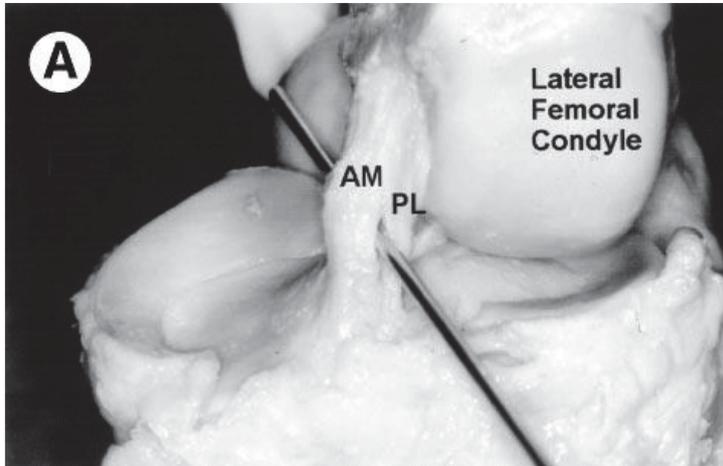


Abb. 2: Die verschiedenen Faserzüge des VKB. Darstellung des anteriomedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels des VKB in Knieflexion eines menschlichen, linken Kniegelenks (Harner et al., 1999).

Odensten und Gillquist sowie Harner und Kollegen stellten außerdem heraus, dass sich femoraler Ursprung und tibialer Ansatz bezüglich ihrer Morphologie unterschieden und somit die Funktion der verschiedenen Faserbündel bestimmten (Harner et al., 1999, Odensten and Gillquist, 1985). Der durchschnittlich 18 Millimeter lange und 11 Millimeter breite ovale, femorale Ursprung liegt in den hinteren Anteilen der *Fossa intercondylaris* und grenzt an die *Linea intercondylaris* (Odensten and Gillquist, 1985). Die tibiale Insertionszone befindet sich im mittleren Anteil der *Area intercondylaris* zwischen den intercondylären Höckern. Sie hat eine dreieckige bis ovale Form mit durchschnittlicher Länge von 17 Millimeter und 11 Millimeter Breite mit Mittelpunkt im Zentrum des Tibiaplateaus (Odensten and Gillquist, 1985, Petersen and Zantop, 2007) (Abb. 3). Die Namensgebung der einzelnen Bündel erfolgte analog zu den tibialen Ansatzzonen (Norwood and Cross, 1979), denn das femoral kranial entspringende Bündel setzt am anteromedialen Anteil der tibialen Ansatzzone an (AM Bündel), während der kaudal entspringende Anteil posterolateral inseriert (PL Bündel) (Fuss, 1989).

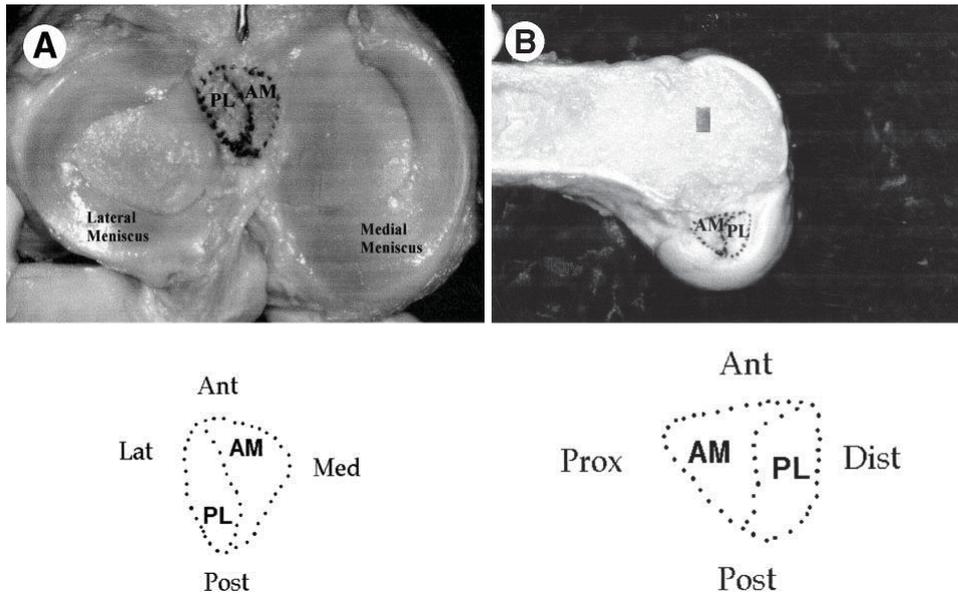


Abb. 3: Insertionszonen der einzelnen Faserzüge des VKB. AM=anteromedial, PL=posterolateral, Lat=lateral, Ant=anterior, Med=medial, Post=posterior, Prox=proximal, Dist=distal. A: Charakteristische Form der Insertionszonen des AM- und PL-Bündels am Femur; B: Darstellung der charakteristischen tibialen Insertionszonen des AM- und PL-Bündels (Harner et al., 1999).

1.4 Die biomechanische Funktion des vorderen Kreuzbandes

Die Kreuzbänder übernehmen als „Zentralpfeiler“ des Kniegelenks eine wichtige stabilisierende Position ein. Als Drehscharniergelenk spielt das Kniegelenk eine wichtige Rolle bei der Bewegung der Tibia gegenüber dem Femur. Der dabei auftretende Funktionsablauf wurde erstmals von den Gebrüdern Weber 1836 als „Roll-Gleit-Prinzip“ beschrieben. Mittels markierter Kontaktpunkte auf dem Femurkondylus und dem Tibiakopf bewiesen sie das Prinzip des Rollgleitens der Femurkondylen auf der Tibia. In vollständiger Extension wird das Gelenk zudem durch eine axiale Schlussrotation der Tibia um 5° durch Anspannung des VKB stabilisiert (Weber, 1836). Müller beschrieb 1982, dass bei alleiniger Rollbewegung das Femur bei Flexion von der Tibiakante hinunterrollen würde. Bestünde die Bewegung hingegen nur aus der gleitenden Komponente, so würde die Metaphyse des Femurs bei 130° Flexion an die hintere Tibiakante anschlagen (Müller, 1982). Eine Kombination der Bewegungen hingegen verhindert einerseits die posteriore Luxation und ermöglicht im Gegenzug einen größeren Bewegungsumfang in der Flexion (Jerosch and Heisel, 2013).

Ohne das Vorhandensein der Kreuzbänder wäre das Roll-Gleit-System jedoch nicht funktionstüchtig, da diese das Verbindungsstück zwischen den artikulierenden Gelenkstrukturen darstellen. Dies wird in der Literatur auch mit dem Modell der „Viergelenkkette“ beschrieben, welches das Kniegelenk zweidimensional und vereinfacht darstellt. Die vier Glieder der Kette stellen dementsprechend das VKB, das HKB und jeweils die Verbindungslinie zwischen tibialer und femoraler Ansatzstelle der Kreuzbänder dar. Diese schematische Darstellung verdeutlicht, dass die Kreuzbänder das Getriebe des Gelenkes abbilden (Jerosch and Heisel, 2013).

Die Hauptfunktion des vorderen Kreuzbandes ist es, die Tibia in Bezug zum Femur vor einer ATT zu schützen. Dies erklärt die Tatsache, dass man als klassischen diagnostischen Test den „Schubladentest“ anwendet. Hier wird der Patient auf dem Rücken liegend in 45° Hüftflexion und 90° Knieflexion positioniert. Der Untersucher fixiert den Fuß des Patienten, umfasst die proximale Tibia und übt dann einen Zug nach anterior aus. Ein vermehrter Vorschub im Vergleich zur Gegenseite kann auf eine VKB Ruptur hindeuten (Benjaminse et al., 2006). Diesen Schubladentests führten Butler und Kollegen bei intaktem und durchtrennten VKB durch und bestätigten somit die Hauptfunktion des VKB. Sie zeigten, dass die Rückhaltekraft bei Testung der vorderen Schublade nach Durchtrennung des VKB deutlich reduziert war und bei einer Flexion um 30° sowie bei 90° sogar durchschnittlich 85-87 % der gesamten Rückhaltekraft ausmachte (Butler et al., 1980). Eine zweite wichtige Funktion des VKB ist die Rotationsstabilisierung. Zantop und Kollegen stellten diesbezüglich in Untersuchungen fest, dass sich die Rotation nach einer Resektion des PL Bündels des VKB als Reaktion auf eine kombinierte Rotationsbelastung bei 0° und 30° Kniebeugung deutlich erhöhte (Zantop et al., 2007). Zudem ist das Zusammenspiel des VKB mit dem HKB nicht außer Acht zu lassen. Bei der Innenrotation wickeln sich die Kreuzbänder umeinander und wirken somit limitierend auf die Verdrehung der Tibia nach innen (Petersen and Tillmann, 2002). Einen weiteren kleinen Anteil trägt das VKB auch zur Unterstützung der Kollateralbänder zum Schutz gegen valgische (15%) und varische Bewegungen (22%) bei (Petersen and Tillmann, 2002, Sakane et al., 1997).

1.5 Die propriozeptive Funktion des vorderen Kreuzbandes

Neben der wichtigen mechanischen Stabilisierung durch das VKB spielt besonders die propriozeptive Funktion für die Stabilität des Kniegelenkes eine essenzielle Rolle. Bei einer Ruptur des VKB kommt es neben dem Verlust der mechanischen Stabilität, bedingt durch das erhöhte Bewegungsmaß, auch zu einem deutlichen neuromuskulären Defizit

(funktionelle Instabilität) (Von Lübken et al., 2008). Dieses resultiert aus dem Verlust der propriozeptiven Komponente. Es wird angenommen, dass der Propriozeption drei verschiedene Funktionen zugesprochen werden können:

- a) die statische Wahrnehmung der Gelenkposition
- b) die kinästhetische Wahrnehmung (Erfassung der Verschiebung oder Geschwindigkeit oder beides)
- c) Efferenzaktivität im geschlossenen Regelkreis, die für die Reflexaktivität und die Regulierung der Muskelsteifheit erforderlich ist (Beard et al., 1994)

Schultz und Kollegen beschrieben 1984 erstmals das Vorkommen von subsynovialen Mechanorezeptoren in den Insertionsstellen der menschlichen Kreuzbänder (Schultz et al., 1984). Neben freien Nervenendigungen wurden die sogenannten Ruffini-Körperchen, Vater-Pacini-Körperchen und Golgi-Sehnenorgane nachgewiesen, die zur Schmerzwahrnehmung und zur Detektion von Richtungs- und Spannungsänderungen dienen (Zimny et al., 1986, Halata and Haus, 1989, Hogervorst and Brand, 1998). Damit spielen sie eine große Rolle bei der Wahrnehmung der Gelenkstellung und fungieren somit zum Schutz vor Überbelastung (Haus et al., 1992).

Solomonow und Kollegen wiesen dahingehend in Untersuchungen an Säugetieren eine erhöhte Muskelaktivität in der ischiocruralen Muskulatur nach mechanischer Belastung des VKB nach. Hiermit deuteten sie auf das Vorhandensein eines Reflexbogens zwischen den Mechanorezeptoren des VKB und den *Hamstrings* (Hamstringreflex) hin (Solomonow et al., 1987). Diese Annahme ließ sich dann auch hinsichtlich des humanen VKB bestätigen. Es waren Tsuda und Kollegen, die ebenfalls eine erhöhte elektrische Aktivität in den *Hamstrings* nach elektrischer Stimulation des intakten VKB nachwiesen. Im Gegenzug konnte keine erhöhte Erregbarkeit der Muskulatur nach Anästhesieren des VKB detektiert werden. Daraus schloss man, dass die Mechanorezeptoren den Tonus der *Hamstrings* über eine afferente Weiterleitung steuern (Tsuda et al., 2001). Die *Hamstrings* tragen dabei zur Entlastung des VKB bei, indem sie eine Verschiebung der Tibia nach anterior verhindern und somit das VKB bei Überdehnung durch Kontraktion schützen (Petersen and Tillmann, 2002). Auch Beard und Kollegen bestätigten diese Beobachtungen. Denn auch sie zeigten, dass es nach Auslösen der „vorderen Schublade“, einer mechanischen Belastung des VKB, zu einer Anspannung der *Hamstrings* kommt. Zusätzlich stellten sie heraus, dass es bei VKB Rupturen zu einer Verlängerung der Latenzzeit des *Hamstring*-Reflexes kommt. Interessant war besonders, dass die empfundene Instabilität der Kreuzbandpatienten (*Giving-Way*-Phänomen) mit der Länge dieser Latenzzeit korrelierte (Beard et al., 1994).

Das *Giving-Way*-Phänomen beschreibt ein „Wegknicken“ bzw. „Nachgeben“ des Kniegelenkes bei Belastung, welches viele Patienten nach VKB Ruptur beschreiben (Felson et al., 2007). Kapreli und Kollegen sehen in der VKB Ruptur sogar eher die neurophysiologische Dysfunktion, als die mechanische Instabilität als problematisch an (Kapreli et al., 2009).

In anderen Worten: die gestörte Propriozeption bei VKB Ruptur bedingt ein neuromuskuläres Defizit, welches neben der ohnehin vorhandenen mechanischen Instabilität besonders zu einer funktionellen Instabilität führen kann (Störung der sensomotorischen Regulation). Fremery und Kollegen stellten weiterhin heraus, dass die Propriozeption nicht nur bei VKB Ruptur, sondern auch noch lange Zeit nach einer VKB Rekonstruktion (VKBR) defizient blieb. Vor allem aber fanden sie heraus, dass die Propriozeption gering mit der mechanischen Stabilität, aber sehr eng mit der Zufriedenheit der Patienten korrelierte (Fremerey et al., 2000). Bereits Barrett und Kollegen zeigten 1991, dass eine nicht vollständig wiedererlangte Propriozeption einhergehend mit anhaltendem *Giving-Way*-Phänomen Athleten die Rückkehr in den Sport immens erschwerte (Barrett, 1991). Weitere Untersuchungen zeigten jedoch, dass die verlorene sensorische Funktion des VKB nach VKBR mit Hilfe strengem standardisierten, propriozeptiven Trainingsprogramm zurückerlangt werden kann (Jerosch et al., 1998).

Aus all diesen Untersuchungen lässt sich schließen, dass neben den mechanischen Aspekten in der operativen Therapie vor allem auch der Erhalt der propriozeptiven Komponente berücksichtigt werden sollte. Da besonders das subjektive Instabilitätsgefühl, und damit die Rehabilitation nach einer Verletzung, mit dieser Entwicklung korreliert, ist es essenziell die Therapie der VKB Rupturen weiterhin zu optimieren und nach Lösungen zu suchen, die eine schnellere Erholung der neurophysiologischen Funktion ermöglichen.

1.6 Entwicklung der operativen VKB Therapie

In den letzten Jahrzehnten gab es immer wieder neue Untersuchungen und Erkenntnisse zur Therapie der VKB Ruptur. Jelle P. van der List und Kollegen bezeichneten diese Entwicklung als einen „Paradigmenwechsel“ (van der List and DiFelice, 2017a). Nach aktueller S1-Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlich Medizinischen Fachgesellschaften stellt die VKBR mittels autologem Sehnentransplantat den aktuellen Goldstandard in der operativen Therapie von VKB Rupturen dar (DGU, 2018). Wie eine amerikanische Studie berichtete, wurden 1994 jährlich circa 86.000 VKBR in den USA durchgeführt, 2006 waren es bereits über 120.000 pro Jahr (Mall et al., 2014). Die VKBR gehört zu den am häufigsten durchgeführten Eingriffen am Kniegelenk (Ritchie and Parker,

1996). Aus dieser stetigen Zunahme lässt sich die klinische Relevanz der operativen Versorgung von VKB Läsionen herauslesen. Im Folgenden soll ein Überblick über die Historie der operativen Therapieoptionen gegeben werden.

Die Evolution in der VKB Therapie begann bereits Anfang des 19. Jahrhunderts mit Mayo Robsons Veröffentlichung über die erste offene Naht eines rupturierten VKB, mit der er ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielte (Robson, 1903). Auch in den darauffolgenden Jahren wurde in weiteren Arbeiten die Therapie mittels Naht des VKB beschrieben und erfolgreich durchgeführt (Palmer, 1938, O'Donoghue, 1991), sodass die offene Naht des VKB in den 70er und 80er Jahren einen großen Stellenwert in der operativen Therapie von VKB Läsionen einnahm und sogar die am häufigsten durchgeführte operative Technik in diesem Feld darstellte (Feagin, 1972, Marshall et al., 1979, Warren, 1983). Obwohl die ersten Kurzzeit-Ergebnisse sehr vielversprechend waren (Marshall et al., 1979, Higgins and Steadman, 1987), stellten Feagin und Kollegen fest, dass ein Großteil der Patienten nach Reevaluation nach fünf Jahren vermehrt Schmerzen, Schwellung und Steifheit im betroffenen Knie beklagten (Feagin JR and Curl, 1976). 1991 waren es Sherman und Kollegen, die das Rupturmuster des VKB anhand Lokalisation und Gewebequalität in vier Kategorien einteilten, und somit einen möglichen Zusammenhang für die Diskrepanz der Ergebnisse fanden. Diese Einteilung nach Läsionsort in vier Kategorien (Typ I-IV) ist in Abb. 4 dargestellt. Ein Typ I-Ausriss stellt nach Sherman einen proximalen Ausriss des VKB am femoralen Ansatz ohne Knochenfragment und ohne Restbestand proximalen Gewebes dar. Bei einem Typ II-Ausriss hingegen verbleibt 20% des proximalen Stumpfes und 80% des distalen Stumpfes. Bei einem Typ III teilt die Ruptur das Gewebe in 33% proximalen femoralen Stumpf und 67% distales tibiales Gewebe. Ein Typ IV-Ausriss beschreiben sie als mittig lokalisiert (50% tibialer und 50% femoraler Stumpf).

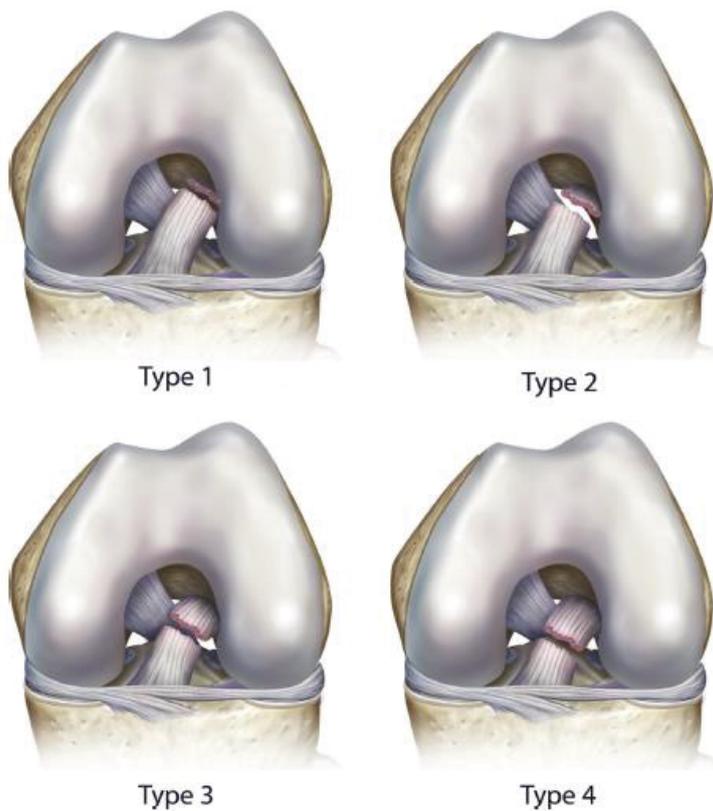


Abb. 4: Einteilung der VKB Läsion nach Risslokalisation. Ein Typ I-Ausriss stellt einen proximalen Ausriss des VKB am femoralen Ansatz ohne Knochenfragment und ohne Restbestand proximalen Gewebes dar. Bei einem Typ II-Ausriss verbleibt 20% des proximalen Stumpfes und 80% des distalen Stumpfes. Bei einem Typ III teilt die Ruptur das Gewebe in 33% proximalen femoralen Stumpf und 67% distales tibiales Gewebe. Ein Typ IV-Ausriss ist als mittig lokalisiert (50% tibialer und 50% femoraler Stumpf). Die Abbildung richtet sich nach der Einteilung nach Sherman (Sherman et al., 1991). Die Grafik wurde modifiziert von DiFelice und Kollegen (DiFelice et al., 2015).

Bei der Analyse der einzelnen Subgruppen manifestierte sich, dass Patienten mit proximalem Ausriss des VKB zum einen über eine bessere Qualität des Restgewebes verfügten, und zum anderen mit besseren postoperativen Ergebnissen assoziiert waren, als Patienten mit weiter distaler Rupturlokalisation und schlechter Restgewebequalität. Dabei machten die Patienten mit Risslokalisation im oberen Drittel des Ligamentes mehr als 50% aller Fälle aus (Sherman et al., 1991). In anderen Untersuchungen hingegen war das mittlere Drittel (midsubstance tear) am häufigsten betroffen, gefolgt von nah femoralen und tibialen Ausrissen (Ng et al., 2011).

Auch Weaver und Kollegen bestätigten, dass sich die Ergebnisse bezüglich Reoperationsquote und Rückkehr zum ursprünglichen Aktivitätslevel bei Patienten mit proximalem Ausriss und offener VKB Naht deutlich besser zeigten (Weaver et al., 1985). Genelin und Kollegen versorgten 49 Patientin mit einer Reinsertion des proximal

ausgerissenen Kreuzbandes und erhielten sehr zufriedenstellende Ergebnisse bezüglich objektiver Stabilität und subjektiver Zufriedenheit der Patienten (patient reportet outcome PRO). Und sie brachten noch einen wichtigen weiteren Aspekt hinzu. In ihren Untersuchungen folgte auf die VKB Reparatur eine sechswöchige Phase der Immobilisation des operierten Kniegelenkes. Angelehnt an das in der VKB Rekonstruktion bereits etablierte Verfahren der frühen postoperativen Mobilisation (*early mobilisation*) (Shelbourne and Nitz, 1990) stellten sie die Hypothese auf, dass dieses Konzept auch bei VKB Reparatur zu verbesserten Ergebnissen führen könnte (Genelin et al., 1993). Demnach sollte bereits einen Tag nach erfolgter Operation eine volle Extension und die Teilbelastung beim Gehen erreicht werden (Shelbourne and Nitz, 1990). Kaplan und Kollegen untersuchten 56 Patienten mit *midsubstance tears* und berichteten über eine Misserfolgsrate von 17% und einer *return to sports*-Rate von lediglich 62%. Auch diese Ergebnisse stützten die These, dass die Qualität der Ergebnisse der VKB Reparatur mit dem Lokalisationsort des Risses in Zusammenhang stehen und bei proximalem Ausriss eine gute Therapieoption darzustellen scheint (van der List and DiFelice, 2017c).

Trotz all dieser Entwicklungen in der VKB Reparatur schaffte das Verfahren es nicht sich weiterhin durchzusetzen. So gingen vergleichende Untersuchungen zugunsten der VKBR aus und drängten die Nahtverfahren in den Hintergrund (Engebretsen et al., 1990). Diese und weitere gute Ergebnisse im Feld der VKBR im Vergleich zur primären Reparatur (Grøntvedt and Engebretsen, 1995, Seiler and Frank, 1993) führten schließlich dazu, dass die Rekonstruktion die VKB erhaltende Nahttechnik in den 90er Jahren ablöste und von dort an den Standard der operativen Versorgung der VKB Ruptur darstellte und bis heute weiterhin darstellt (Petersen et al., 2013).

1.7 Therapie der VKB Ruptur

Wie bereits beschrieben unterliegt die Therapie der VKB Läsionen einer fortwährenden Weiterentwicklung. Im Folgenden soll ein Überblick über die Indikationsstellung zur Wahl der richtigen Therapie und über die aktuellen standardisierten Techniken gegeben werden.

1.7.1 Indikationsstellung

Im Allgemeinen stehen sich hinsichtlich der Behandlungsmöglichkeiten der VKB Ruptur die konservative und die operative Therapie gegenüber. Bevor näher auf die operative Therapie eingegangen wird, soll die Indikationsstellung genauer abgegrenzt werden. Die chirurgische Therapie hat in den letzten Jahrzehnten eine beträchtliche Veränderung von offener Nahttechnik bis hin zu arthroskopischer Technik mit autologem Sehnentransplantat

durchlaufen. Da parallel auch die konservative Therapieoption in den Vordergrund gerückt ist, werden im Folgenden einige Faktoren vorgestellt, die für oder gegen das jeweilige Therapiekonzept bei VKB Rupturen sprechen und die bei der Auswahl berücksichtigt werden sollten.

Der aktuellen S1-Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) ist zu entnehmen, dass insbesondere das Alter, das Aktivitätsniveau und die subjektive, aber auch objektive Instabilität des Patienten wichtige Parameter zur Therapieentscheidung darstellen (DGU, 2018). Auch wenn keine generelle Altersbeschränkung für eine operative Intervention existiert (Toanen et al., 2017), wird die konservative Therapie eher älteren Patienten, die beschränkte Sportambitionen und eine geringe Instabilität aufweisen, angeraten (Fithian et al., 2005). Casteleyn und Kollegen kamen in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass Patienten, die belastende sportliche Aktivitäten eindämmten, mit der konservativen Therapieoption sehr zufriedenstellende Ergebnisse bezüglich der Funktionalität erzielten (Casteleyn and Handelberg, 1996). Junge Patienten hingegen, die noch ein hohes Maß an Belastung und Aktivität ausüben, sollten eine frühe operative Intervention erhalten, um eine Rückkehr zum alten Leistungsniveau unter Reduktion des Risikos von Folgeschäden wie Meniskus- oder Knorpelschäden zu erreichen (Kay et al., 2018). Denn es konnte gezeigt werden, dass eine frühzeitige operative Therapie das Auftreten von Folgeschäden vermindern konnte (Brambilla et al., 2015).

Eine wichtige Rolle diesbezüglich spielt die Tatsache, dass das VKB als Stabilisator gegen die ATT fungiert. Der Verlust des VKB führt zu einer anteriolateralen Rotationsinstabilität, die bei den Betroffenen zu Instabilitätsgefühlen führen kann. Dies kann bewirken, dass die hinteren Teile der Menisken einer größeren Belastung ausgesetzt sind, was an den Menisken zu sekundären Schäden und im Verlauf sogar zu einer Osteoarthrose, einer chronischen Schädigung der Knorpel- und Knochenstruktur, führen kann. Petersen und Kollegen beschrieben diesen Zusammenhang in der „Knie-Trauma-Kaskade“ (Abb. 5). Diese beschreibt das Auftreten von sekundären Meniskus- und Knorpelschäden als Resultat der vorderen Instabilität und umfasst auch die primären Schäden dieser Strukturen als initiale Begleitverletzungen des Traumas (Petersen and Zantop, 2009), die ebenfalls langfristig zu Osteoarthrose führen können (Mayr et al., 2004).

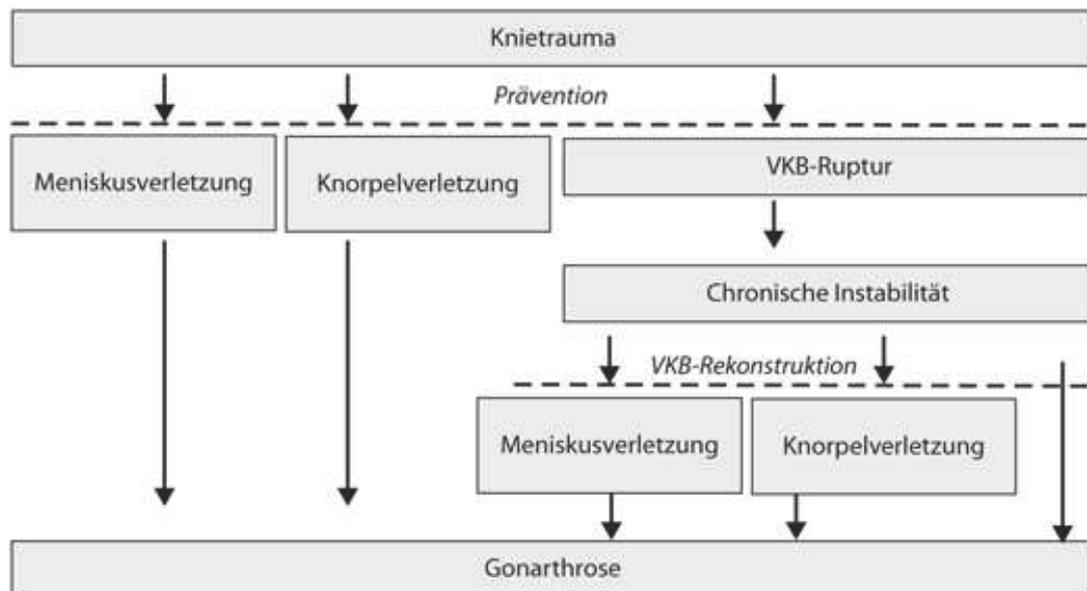


Abb. 5: Erweiterte Knie-Trauma-Kaskade nach Petersen und Kollegen. Die Grafik zeigt sowohl das Auftreten von primären Schäden nach einem Knie Trauma, als auch die sekundären Schäden nach VKB Ruptur mit chronischer Instabilität (Petersen and Imhoff, 2014).

Ein Zusammenhang zwischen konservativer Behandlungsmethode mit der daraus resultierenden Instabilität und der langfristigen Entstehung sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden wurde in einigen Studien beschrieben (Bray and Dandy, 1989, Noyes et al., 1983). In anderen Worten hieße das, dass eine VKBR die Knieinstabilität und somit das Risiko sekundärer Meniskus- und Knorpelschäden senken könnte (Brambilla et al., 2015, Kay et al., 2018). Fok und Kollegen zeigten 2013, dass eine längere Latenzzeit zwischen Verletzung und VKBR mit einer erhöhten Häufigkeit von Meniskus- und Knorpelschäden korrelierte (Fok and Yau, 2013). Weitere Untersuchungen zeigten, dass es nach unversorgter VKB Ruptur langfristig zur Entwicklung einer Gonarthrose kommen kann (Ajuied et al., 2014), die besonders durch die begleitende Meniskussschäden hervorgerufen wird (Claes et al., 2013).

Die potenzielle Gefahr von Folgeschäden sollte bei der Wahl des Therapieverfahrens berücksichtigt werden. Dabei ist vor allem wichtig, dass die individuellen Anforderungen der Patienten bedacht wird. Es scheint Hinweise darauf zu geben, dass besonders Leistungssportler von einer VKBR profitieren, da sie eine besonders hohe Arthroserate bei unversorgter VKB Ruptur aufwiesen. Nebelung und Kollegen untersuchten Leistungssportler mit konservativ versorgter VKB Läsion und stellten heraus, dass es bei Rückkehr zum alten Leistungssportniveau bei 95% der Athleten nach 20 Jahren zu Meniskus- und Knorpelschäden kam (Nebelung and Wuschech, 2005). Auch weitere

Studien bekräftigten die Annahme, dass junge, aktive Patienten primär operativ behandelt werden sollten (Ciccotti et al., 1994, Sanders et al., 2017). Wie Meuffels und Kollegen in einer Kohortenstudie jedoch zeigten, bewahrte auch die VKBR die Patienten nicht immer vor einer langfristigen arthrotischen Veränderung (Meuffels et al., 2009). Eine protektive Rolle der VKBR auf die Entwicklung sekundärer Meniskusschäden und einer Osteoarthritis wird zwar diskutiert (Dunn et al., 2004), lässt sich jedoch anhand der ambivalenten Studienlage nicht einheitlich festlegen.

Eine definitive Indikationsstellung zur Auswahl der richtigen Therapieform kann anhand der aktuellen Studienlage nicht allgemeingültig festgelegt werden (Brodhun, 2011). Vielmehr gilt es, die jeweiligen Vor- und Nachteile der einzelnen Therapieformen zu berücksichtigen und vor allem anhand der patientenbezogenen Gegebenheiten auszuwählen.

1.7.2 Rekonstruktion mit einem autologen Sehnentransplantat

Den operativen Goldstandard stellt heute die VKB Ersatzplastik mit einem autologen Sehnentransplantat dar (Irarrázaval et al., 2016). Die dabei am häufigsten verwendeten Transplantate sind die Semitendinosussehne, die Patellarsehne und die Quadricepssehne (Petersen et al., 2012).

Eberhardt und Kollegen geben in ihrer Veröffentlichung von 2002 einen Überblick über die Geschichte der Chirurgie des VKB. Unter anderem wurden früher freie Faszienstreifen, also bandförmige Teile der „Muskelhüllen“, oder diverse Muskelsehnen als plastischer Kreuzbandersatz verwendet (Eberhardt et al., 2002). 1963 beschrieb K. Jones dann erstmals ein distal gestieltes Transplantat des mittleren Patellarsehnedrittels unter Mitnahme eines Knochenblocks, welches dann 1966 geprägt von H. Brückner als „Brückner-Plastik“ bekannt wurde (K. Jones und H. Brückner aus Eberhardt et al., 2002). Im weiteren Verlauf der Jahre gab es Publikationen zur Verwendung der Sehnen von *M. gracilis* (GS) und *M. semitendinosus* (STS) (Edwards, 1926), die dann 1950 von Lindemann vorgelegt wurden (Lindemann aus Eberhardt et al., 2002). Als dann weitere Veröffentlichungen hinzukamen (Friedman, 1988, Cho, 1975), konnten sich die *Hamstring*-Sehnen schließlich als freies Transplantat in der Kreuzbandchirurgie etablieren.

Heute gelten das Transplantat des mittleren Patellarsehnedrittels (Keene, 2000) und die STS und GS als Goldstandard in der VKBR. Letztere zählen heutzutage sogar mit 90% zu den am häufigsten verwendeten Transplantaten (Domnick et al., 2017). Einen großen Vorteil der Entnahme der *Hamstring*-Sehnen stellt die bleibende Unversehrtheit des

Streckapparats des Kniegelenkes und die vergleichsweise einfacher durchzuführende Sehnenentnahme dar. Vergleichende Studien zwischen Patellar- und *Hamstring*-Sehnentransplantat zeigten, dass Patienten bei Verwendung der *Hamstring*-Sehne postoperativ eine geringere Entnahmemorbidität und weniger Probleme bei knieenden Tätigkeiten beklagten (Poolman et al., 2007, Wipfler et al., 2011). Bei Verwendung eines Patellarsehnentransplantats konnten eine signifikant höhere Zahl von Osteoarthritis, sowie vermehrte Schmerzen bei knieenden Tätigkeiten nachgewiesen werden (Thompson et al., 2016, Leitgeb et al., 2014). Einen Nachteil des *Hamstring*-Transplantates stellt indessen die Schwächung eines Agonisten des VKB dar, welche besonders bei Insuffizienz des medialen Kollateralbandes mitkalkuliert werden muss (Herbort et al., 2017). Nicht unberücksichtigt zu lassen ist auch das Transplantat in Form der Quadricepssehne, welches nach Veröffentlichung einer minimalinvasiven Entnahmetechnik einen Aufschwung erzielte (Fink et al., 2014). So konnten beispielsweise Lund und Kollegen vergleichbar gute Ergebnisse bei Verwendung der Quadricepssehne zu den herkömmlichen Transplantaten erzielen (Lund et al., 2014). Es ist demnach eine patientenorientierte Transplantatauswahl unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile zu treffen (Maletis et al., 2007).

In Abschnitt 2.6.1 wird das Verfahren des *Hamstring*-Transplantats in Einzelbündeltechnik genauer beschrieben, da dies das Sehnenstrangdarstellung darstellt, welches in der Klinik am Ring standardmäßig verwendet wird und somit auf das ausgewählte Patientenkollektiv zutrifft.

1.8 Ziele der Arbeit

In den vergangenen Jahren war es immer wieder zentrales Diskussionsthema, ob eine VKB erhaltende Therapie eine alternative Therapieoption zum aktuellen Goldstandard (VKBR) darstellt (Taylor et al., 2009). Obwohl die VKBR von offener Technik bis hin zur arthroskopischen Durchführung eine immense Entwicklung durchlaufen hat und eine exzellente Option zur Wiederherstellung der mechanischen Stabilität darstellt (Yagi et al., 2007), gibt es bezüglich der klinischen Ergebnisse weiterhin Diskussionsbedarf. Einen Grund dafür stellt die Tatsache dar, dass es anhand der aktuellen Therapieverfahren bis heute nicht gelingt eine vollständige Wiederherstellung des Ursprungszustandes (Rupp and Kohn, 2002) bzw. die Rückkehr zum alten Funktionslevel zu erreichen (Biau et al., 2007). Eine Erklärung diesbezüglich könnte vor allem der Verlust der nativen anatomischen Gegebenheiten und der damit verbundene Verlust der Propriozeption sein (Barrett, 1991). Einen wichtigen Faktor im Vergleich zu den oben beschriebenen offenen VKB

Reparaturverfahren stellt zudem die Weiterentwicklung der minimal invasiven Nahttechnik dar, die eine frühe postoperative Mobilisation ermöglicht (van Eck et al., 2018). Aus diesen Gründen ist es Gegenstand aktueller Forschungen weiter nach VKB erhaltenden Lösungen zu suchen.

Aktuelle Studien zeigen, dass VKB erhaltende Techniken bei sorgfältiger Indikationsstellung durchaus gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zur VKBR erzielen können (Achnich et al., 2016, Egli et al., 2015). Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurden VKB erhaltende Refixationsverfahren 2018 von der Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA) in die Therapieempfehlungen des AGA-Knie-Ligament-Komitee für femorale Avulsionsverletzungen des vorderen Kreuzbandes aufgenommen (AGA, 2018). Die Vorteile werden hier in dem Erhalt der Propriozeption und der Abwendung von Entnahmemorbidität gesehen (Biau et al., 2006, Kraeutler et al., 2013). Eine wichtige Rolle spielt auch der bessere Ausgangszustand für eine Revisionsoperation, die nach VKBR Komplikationen verursachen kann (Griffith et al., 2013), sowie ein potenzieller Schutz vor Osteoarthritis (Murray and Fleming, 2013).

Herr Dr. med. Vonhoegen entwickelte eine neuartige VKB erhaltende Technik, die ein primäres Nahtverfahren mit einer inneren Schienung kombiniert und ganz ohne intraossäre Implantate auskommt. Aufgrund der guten Praxiserfahrungen mit der sogenannten Ligabrace-Technik (Ligament-Repair mit Ligament-Bracing = LGB), der aber sehr dünnen Studienlage in diesem Feld, ist es Ziel dieser Arbeit diese neuartige Technik vorzustellen und mit dem aktuellen Goldstandard, sowie bereits vorhandenen Nahtverfahren zu vergleichen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass das LGB Verfahren bei sorgfältiger Indikationsstellung eine gleichwertige Therapieoption zu der VKBR in Einzelbündeltechnik darstellt. In einem weiteren Schritt sollen die Ergebnisse des LGB Verfahrens den Ergebnissen anderer veröffentlichter VKB erhaltenden Methoden, wie der *Suture Anchor*-Technik, der *Ligamys*-Technik und dem *Internal Bracing* gegenübergestellt werden.

Nullhypothese:

Hinsichtlich der subjektiven und objektiven Parameter wie Patient Reported Outcome (PRO), klinischer Stabilität und radiologischer Heilung gibt es keine Unterschiede zwischen der operativen Versorgung mittels Ligabrace-Technik und VKB Rekonstruktion.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv

In der Klinik am Ring in Köln werden circa 200 VKB Operationen jährlich von Dr. med Jan. Vonhoegen durchgeführt. Den Goldstandard in der operativen Therapie stellt auch hier die VKBR mittels autologem Sehnentransplantat dar. Seit August 2017 werden akute, proximale VKB Rupturen bei passender Operationsindikation und Zustimmung der Patienten alternativ mittels der von Dr. med. Vonhoegen neu entwickelten LGB Technik therapiert. In einer retrospektiven Studie wurden 50 Patienten eingeschlossen, die bei isolierter VKB Ruptur ohne rekonstruktionspflichtige Begleitverletzung eine operative Therapie in der Klinik am Ring in Köln erhalten haben und durchschnittlich 12 Monate postoperativ nachuntersucht wurden.

Es wurden 25 Patienten ausgewählt, die bei akuter, proximaler VKB Ruptur mittels Ligabrace-Verfahren (LGB) behandelt wurden. Ein weiteres Kollektiv von 25 Patienten wurde nach Goldstandard mittels VKBR mit autologem *Hamstring*-Sehnentransplantat therapiert und wurde ebenfalls nach zwölf Monaten nachuntersucht. Diese Gruppe wurde entsprechend dem Alters- und Geschlechtsprofil der LGB Gruppe ausgewählt und diente somit als Kontrollgruppe. Alle Patienten wurden präoperativ mündlich und schriftlich über die Möglichkeit der VKB erhaltenden Therapie in Form der LGB Technik aufgeklärt und haben der möglichen Durchführung der Operation schriftlich eingewilligt. Die Entscheidung über die definitive Indikation zur LGB Technik wurde jeweils intraoperativ gefällt.

Die Nachuntersuchung beinhaltete eine Bildgebung in Form einer Magnetresonanztomographie (MRT), eine Stabilitätsmessung mittels Aircast Rolimeter, und die Scoreerhebung (Patient reported outcome = PRO) mithilfe der wissenschaftlich validierten Knie-Scores IKDC, Lysholm und Tegner. Die Scoreerhebung erfolgte in einem ersten Schritt retrospektiv für den prätraumatischen Ausgangszustand (T0) und wurde dann erneut zwölf Monate postoperativ bestimmt (T2). Die instrumentelle Stabilitätsmessung, sowie die klinische Untersuchung zur Bestimmung des objektiven IKDC Grade erfolgte hingegen zum posttraumatischen, präoperativen Zeitpunkt (T1) und ebenfalls für den Zeitpunkt T2.

Die 50 nachuntersuchten Patienten setzten sich aus 20 Männern und 30 Frauen zusammen. Innerhalb der LGB Kohorte waren neun (36%) Männer und sechzehn (64%)

Frauen vertreten. In der VKBR Gruppe waren elf (44%) der Patienten männlichen Geschlechts und vierzehn (56%) weiblichen Geschlechts (Abb. 6). Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug in der LGB Kohorte 29.52 ± 12.22 Jahre (Median = 27 Jahre) und in der VKBR Kohorte 30.96 ± 12.28 Jahre (Median = 29 Jahre). Die jeweilige Altersverteilung innerhalb der Gruppen zeigt, dass 56% der Patienten beider Gruppen unter 30 Jahre alt waren. Weitere 30% füllten die Altersspanne zwischen 30 und 45 Jahren aus und 14% der Patienten waren älter als 45 Jahre (

Abb. 7). Die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit nach erfolgter Operation betrug in der LGB Gruppe 11.96 ± 1.65 Monate (Median = 12 Monate) und in der VKBR Gruppe 12.32 ± 2.14 Monate (Median = 12 Monate). Bezüglich der Verteilung von Geschlecht, Alter und Nachuntersuchungszeitraum wiesen die beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied auf ($p=.564$; $p=.662$; $p=.753$).

Fehlende Daten wurden durch eine telefonische Anamneseerhebung ergänzt.

Das Ethikvotum mit der Referenznummer 2018266 wurde am 28.09.2018 von der Ethikkommission der Ärztekammer Nordrhein erteilt.

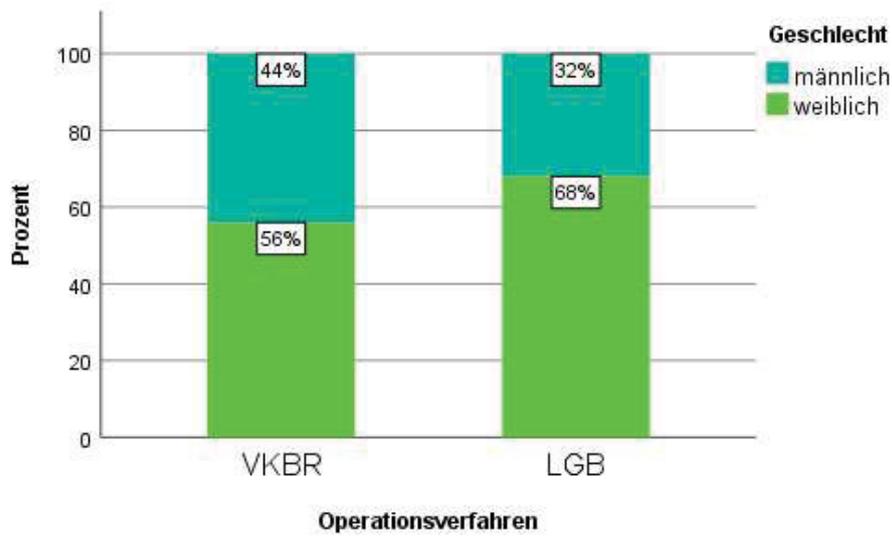


Abb. 6: Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen.

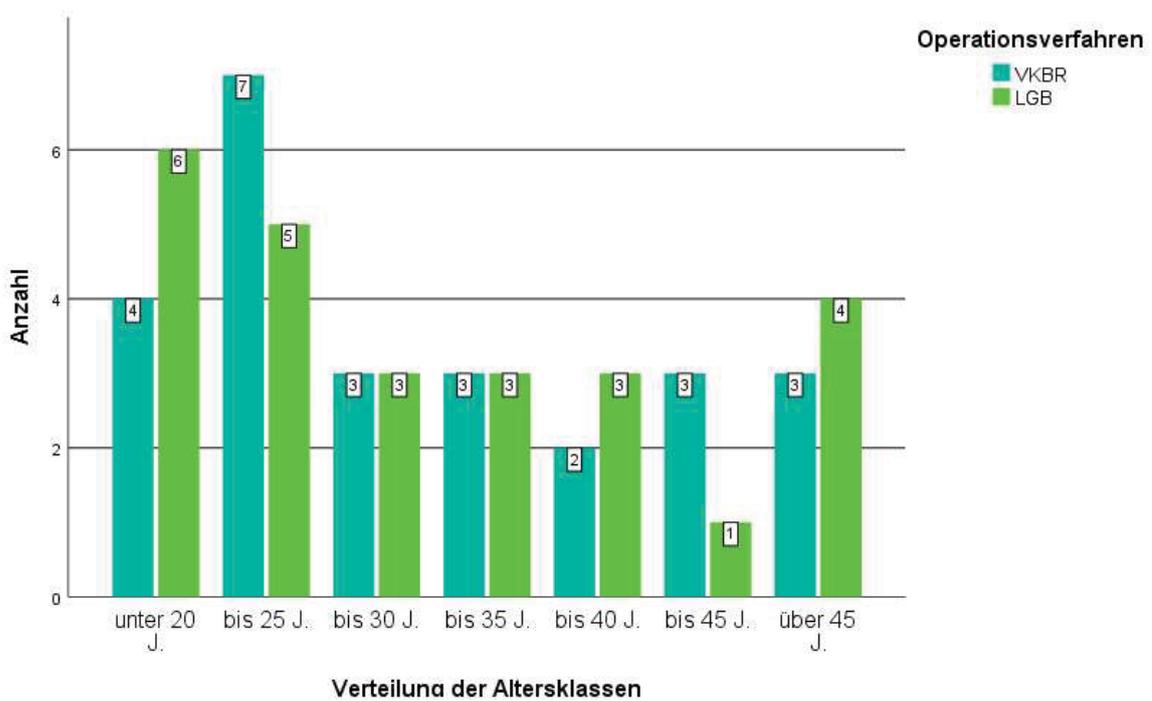


Abb. 7: Altersverteilung innerhalb der Gruppen.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden die folgenden Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienpopulation festgelegt:

2.2.1 Einschlusskriterien

- femorale Avulsions- oder Kompletttraktur des vorderen Kreuzbandes verifiziert durch ein präoperatives MRT und anschließend intraoperativ.
- arthroskopische Versorgung mittels Ligabrace Technik innerhalb 4 Wochen nach Verletzung
- ausgefüllte Fragebögen (IKDC, Lysholm und Tegener-Score) präoperativ, sowie 12 Monate postoperativ
- Verfügbarkeit einer postoperativen MRT-Untersuchung des operierten Knies 12 Monaten nach Operation

2.2.2 Ausschlusskriterien

- Patienten mit vorangegangenen Knieoperation
- Revisionsrekonstruktionen
- Rekonstruktionspflichtigen Begleitverletzungen (Meniskusriss, periphere Knieinstabilitäten)
- begleitender Knorpelschaden > °II nach Outerbridge

2.3 Scores

Die im Folgenden beschriebenen Scores wurden jeweils für den prätraumatischen Zeitpunkt (T0) und für den Zeitpunkt zwölf Monate nach der operativen Therapie (T2) erhoben. Eine Ausnahme bildet das Grading nach IKDC, welches für den posttraumatischen, präoperativen Zeitpunkt (T1) bestimmt wurde.

2.3.1 IKDC

Das "International Knee Documentation Comitee (IKDC)" wurde 1987 gegründet und bildet einen Zusammenschluss führender internationaler Kniespezialisten. Ziel dieses Zusammenschlusses war es, ein standardisiertes, einheitliches Dokumentationssystem für Knieverletzungen zu entwickeln. Eine erste Veröffentlichung erfolgte 1993 (Hefti et al., 1993). Nach Modifikation und Erweiterung wurde schließlich 2000 eine weitere Version veröffentlicht, welche in Untersuchungen als valides und reliables Instrument zur Messung von Symptomen, Funktion und sportlicher Aktivität bei kniespezifischen Verletzungen bestimmt wurde (Irrgang et al., 2001, Higgins et al., 2007). Nach der Auflage von 2000 gab es mehrere kleine Revisionen (Collins et al., 2011). Die aktuellste Auflage ist jeweils auf der Webseite der amerikanischen orthopädischen Gesellschaft für Sportmedizin (= American

Orthopaedic Society for Sports Medicine (AOSSM)) zu finden (AOSSM, 2020). Der IKDC 2000 besteht aus sechs verschiedenen Formblättern, die alle unabhängig voneinander verwendet werden können. Er umfasst folgende sechs Kategorien:

- Demographisches Formblatt
- Formblatt zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes
- Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
- Formblatt zur Anamnese des Knies
- Chirurgisches Dokumentationsblatt
- Formblatt zur Untersuchung des Knies

In dieser Arbeit wurde unter anderem das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies verwendet, um das PRO zu erfassen. Das Formblatt umfasst Fragen zu Symptomen, sportlicher Aktivität und alltäglicher Funktionsfähigkeit des betreffenden Knies. Der Wert null stellt den Minimalwert und somit die jeweils höchste Symptomstufe dar, während der Wert vier bzw. zehn den Maximalwert und die niedrigste Symptomstufe vertritt. Die Kategorie Symptome enthält dabei Fragen zu Schwellung, Schmerz, Steifheit, Blockierungen und *Giving-Way*-Symptomatik. Insgesamt beinhaltet der Fragebogen 18 bzw. 19 Fragen:

- 7 Fragen zu Symptomen
- 1 Frage zu sportlicher Aktivität
- 9 Fragen zur alltäglichen Aktivität
- 1 Frage zur aktuellen Kniefunktion
- 1 Frage zur Kniefunktion vor der Verletzung (wird für Score Ergebnis nicht berücksichtigt) (Collins et al., 2011)

Der höchste Scorewert, der insgesamt erreicht werden kann, beträgt 100. Bei Angabe dieses Wertes besteht keinerlei Symptomatik oder Beeinträchtigung der täglichen oder sportlichen Aktivität. Zur Berechnung des finalen Scorewertes wurden die angegebenen Punkte im Fragebogen miteinander addiert. Der IKDC Score wurde anschließend mittels folgender Formel errechnet: $(\text{Gesamtscore} / 87) \times 100$ (Collins et al., 2011). Anderson und Kollegen publizierten 2006 Referenzwerte von Patienten mit Knieproblemen in der Vorgeschichte differenziert nach Alters- und Geschlechtsmerkmalen (Anderson et al., 2006). Diese Referenzwerte sind in Tabelle 1 dargestellt und bieten eine grobe Orientierung über durchschnittliche IKDC Scorewerte nach stattgehabter Knieverletzung.

Altersgruppe	männlich	weiblich
18-24 Jahre	89±18	86±19
25-34 Jahre	89±16	86±19
35-50 Jahre	85±19	80±23
51-50 Jahre	77±23	71±26

Tabelle 1: Alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte. Hier zeigen sich die Referenzwerte des IKDC Scores nach Anderson und Kollegen für Patienten mit Knieproblemen in der Vorgeschichte (Anderson et al., 2006).

Zusätzlich wurde das Formblatt zur Untersuchung des Knies verwendet, um anhand der klinischen Daten für den posttraumatischen Zustand eine Einteilung in die IKDC Grade A-D vorzunehmen. Auch dieses Formblatt dient der Vereinheitlichung der Untersuchung und Terminologie und somit der Möglichkeit einer Quantifizierung der klinischen Untersuchung. Dabei werden Erguß, Bewegungsdefizit, klinische Tests, Kompartimentbefunde, Röntgenuntersuchungen und ein Funktionstest (Hüpfen auf einem Bein) dokumentiert und bewertet. Der Befund wird dann in die Gruppengrade „normal“ „fast normal“, „abnormal“ und „deutlich abnormal“ kategorisiert. Die Gradeinteilung richtet sich nach dem schlechtesten Grad innerhalb der Bewertungsgruppe. Für die Abschlussbewertung entscheidend sind entsprechend der eben genannten Stufen die Gruppengrade A-D für die Kategorien Erguß, passives Bewegungsdefizit und Ligamentuntersuchung. Auch hier bestimmt der schlechteste Gruppengrad die abschließende Gradeinteilung (Hefti et al., 1993). Die Befunde aller oben genannten Kategorien wurden dokumentiert. Zur Bestimmung des jeweiligen IKDC Grads sind ausschließlich die Quantifizierung des Ergußes, die Prüfung des Bewegungsdefizites und die Ligamentuntersuchungen entscheidend, da nur diese drei Kategorien die Bewertungsgrundlage für die abschließende Gradeinteilung bilden. Daher werden zur besseren Übersicht im Folgenden die Untersuchungen dieser drei Kategorien näher beschrieben (AOSSM, 2020).

Bei der Klassifizierung wurde Folgendes beachtet:

- **Erguß:** Dieser wurde durch Palpation des Knies beurteilt (< 25 ml ist ein leichter, 25-60 ml ist ein geringer und >60 ml ein ausgeprägter Erguß).
- **Passives Bewegungsdefizit:** Wurde mit dem Goniometer (Winkelmesser) gemessen, nach der Neutral-Null-Methode dokumentiert und mit der Gegenseite verglichen;
Streckdefizit A <3°, B= 3°-5°, C= 6-10°, D= >10°; Beugedefizit: A= 0°-5°, B= 6-15°, C= 16-25°, D >25°.

- **Ligamentuntersuchung:** die klinischen Tests wurden manuell und instrumentell mittels Aircast Rolimeter durchgeführt und die gemessenen Werte in die Kategorien A-D (A= 0-2mm, B= 3-5 mm, C = 6-10 mm, D= >10 mm) eingeteilt.
 - **Lachman-Test:** Diese von John W. Lachman entwickelte klinische Untersuchung zur Stabilität des VKB wurde erstmalig 1976 von Torg und Kollegen beschrieben (Torg et al., 1976). Der in Rückenlage liegende Patient stellt das Knie in circa 25° Beugung auf der Untersucherliege auf. Der Untersucher umfasst kniegelenksnah mit einer Hand die Tibia und mit der anderen das Femur und bewegt diese gegeneinander. Der Lachman-Test gilt als sehr sensitives diagnostisches Mittel für eine VKB Ruptur unter Berücksichtigung des Anschlagphänomens (Donaldson et al., 1985). Dieses Phänomen beschreibt das kontrollierte Abbremsverhalten der Tibiabewegung durch das VKB (Schmidt-Wiethoff and Dargel, 2007). Das Lachman-Zeichen gilt bei vermehrter ventraler Translation ohne festes Anschlagphänomen als positiv (Buckup et al., 2018). Zur Bestimmung des IKDC Grads wird die vermehrte anteriore Translation im Vergleich zur Gegenseite gemessen. Dabei gelten folgende Grenzwerte, die sich an der IKDC Auswertung orientieren: A= -1-2mm, B= 3-5 mm, C = 6-10 mm, D= >10 mm.
 - **Anteroposteriore Translation:** Diese wird bei jeweils 25° und 70° mithilfe des Schubladentests bestimmt. Das Knie wird um 25° und 70° flektiert und der aufgestellte Fuß des Patienten mit dem Oberschenkel oder Gesäß des Untersuchers fixiert. Dieser umfasst den Tibiakopf mit beiden Händen und übt einen ventralen Zug (vordere Schublade) oder dorsalen Druck (hintere Schublade) auf diesen aus. Auch hier wird die vermehrte Translation im Bezug zur gesunden Seite beurteilt (Buckup et al., 2018).
 - **Valgus- und Varusstress:** Zur Überprüfung der medialen und lateralen Instabilität wird auf das leicht flektierte Knie ein Abduktions- und Adduktionsstress ausgeübt (Zacher, 2006). Eine vermehrte Aufklappbarkeit im Vergleich zur Gegenseite kann auf eine der Verletzung der Kollateralbänder hinweisen (Buckup et al., 2018).
 - **Außenrotationstest:** Das Knie des auf dem Bauch liegenden Patienten wird auf 30° und 70° flektiert. Die Füße werden nach außen gedreht, um somit das Ausmaß der Außenrotation zu bestimmen. A= >5°, B= 6-10°, C= 11-19° und D>20°. Eine vermehrte Rotation der Tibia spräche hier für eine posterolaterale Instabilität mit möglicher Verletzung des HKB (Buckup et al., 2018).

- **Pivot-Shift Test:** Dieser wird in Rückenlage bei 10-20° Hüftabduktion durchgeführt. Der Untersucher greift die Ferse des gestreckten Beines mit der Tibia in Neutralnullstellung. Dann wird das Kniegelenk unter leichter Innenrotation und Valgusdruck flektiert (Jakob et al., 1987). Bei positivem Test kommt es zur Subluxation der Tibia nach ventral, was für eine Verletzung des VKB spräche (Buckup et al., 2018). Die größte Subluxation nach ventral im Vergleich zu Gegenseite wird dokumentiert.

2.3.2 Lysholm

Der Lysholm Score wurde erstmals 1982 publiziert (Lysholm and Gillquist, 1982) und 1985 dann weiter modifiziert (Tegner and Lysholm, 1985). Er dient zur Erfassung der alltäglichen Kniefunktion nach behandelter Kreuzbandverletzung (Wirth et al., 2011). Eine erste Version beinhaltete noch eine Umfangsmessung der Oberschenkelmuskulatur. Die aktuelle, modifizierte Version jedoch beschränkt sich auf das PRO in Form von 8 Fragen und stellt heutzutage ein etabliertes und häufig genutztes Messinstrument der subjektiven Parameter dar (Johnson and Smith, 2001, Tegner and Lysholm, 1985). Folgende Symptome werden quantifiziert:

- Hinken (0-5 Punkte)
- Belastung (0-5 Punkte)
- Blockierung (0-15 Punkte)
- Instabilität (0-25 Punkte)
- Schmerzen (0-25 Punkte)
- Schwellung (0-10 Punkte)
- Treppensteigen (0-10 Punkte)
- Hocken (0-5 Punkte)

Auch hier beträgt die zu erreichende Höchstpunktzahl 100 und stellt somit eine Symptombefreiheit des Patienten dar, während der Minimalwert von null Punkten die höchste Stufe der Beeinträchtigung des Patienten beschreibt. Demirdjian und Kollegen ermittelten 1998 in ihren Untersuchungen einen Scorewert von 97.16 (für das weibliche Geschlecht) bis 99.10 (für das männliche Geschlecht) beim durchschnittlichen, kniegesunden Patienten (Demirdjian et al., 1998). Weitere Veröffentlichungen von Briggs und Kollegen brachten einen durchschnittlichen Score von 94 bei kniegesunden Patienten hervor (Briggs et al., 2009). Wirth und Kollegen veröffentlichten dann 2011 eine deutsche Version des Lysholm

Scores, die im deutschen Sprachraum als valide und reliable beurteilt wurde und welche auch in diesen Untersuchungen verwendet wurde (Wirth et al., 2011).

Angelehnt an die Arbeit von Mitsou und Kollegen, wurden die Scorewerte in diesen Untersuchungen in einem weiteren Schritt anschließend den folgenden Kategorien zugeordnet: exzellent (90-100), gut (84-90), mäßig (65-83) und schlecht (<65) (Mitsou et al., 1990).

2.3.3 Tegner

Der Tegner Score wurde 1985 als Ergänzung zum modifizierten Lysholm Score veröffentlicht, um mögliche Veränderungen im Aktivitätslevel, die auch das Funktionslevel beeinträchtigen können, zu demaskieren (Tegner and Lysholm, 1985, Lysholm and Tegner, 2007). Da die englische Version Sportarten enthielt, die im deutschen Raum weniger populär waren, veröffentlichten Wirth und Kollegen 2013 eine validierte deutsche Version (Wirth et al., 2013). Diese Version kategorisiert die Aktivitätsskala des Patienten auf elf Stufen. Eine Wertung mit zehn Punkten zeigt an, dass ein Patient auf nationalem- oder internationalem Level Wettkampfsport betreibt, während die Minimalwertung von null indiziert, dass ein Patient aufgrund von Knieproblemen arbeitsunfähig oder berentet ist. Für Patienten ohne Knieverletzung wurde in der englischen Version ein Median von 6 und ein Mittelwert von 5,7 berichtet (Briggs et al., 2009). Zudem gaben Wirth und Kollegen die minimal klinisch relevante Veränderung mit einer Differenz von 1,4 Scorepunkten an (Wirth et al., 2013).

2.4 Instrumentelle Stabilitätsmessung mittels Rolimeter

Zur apparativen Bestimmung der anterioren Translation wurde ein Aircast Rolimeter verwendet (Abb. 8). Es ist allgemein gültig, dass sich das Rolimeter gleichermaßen zum KT-1000 zur Messung der vorderen Translation im instabilen Knie eignet (Ganko et al., 2000). Statistisch konnte kein Unterschied in der Genauigkeit der Messdaten zum KT-1000 Arthrometer festgestellt werden (Balasch et al., 1999). Somit eignet sich das Rolimeter zur Quantifizierung einer Instabilität des VKB und somit zur Identifizierung einer Gelenkinstabilität in Folge einer VKB Läsion (Hatcher et al., 2005).

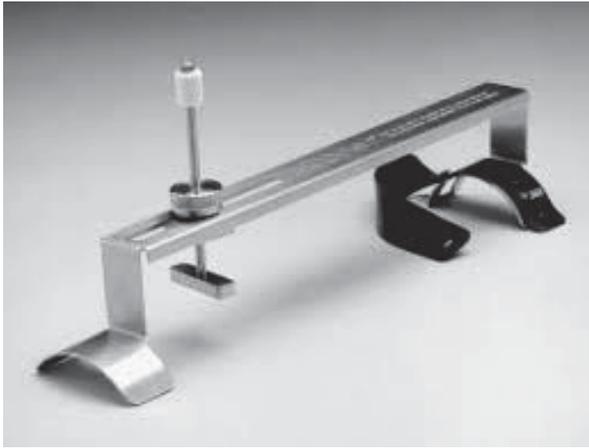


Abb. 8: Aircast Rolimeter. Die obere Seite bildet die Seite ohne schwarzes Latexband. Diese ist mittig auf der Patella zu positionieren. Das untere Ende wird auf der distalen Tibia fixiert. Der kalibrierte Stift dient zur Bestimmung der anterioren Translation (Aircast Europe GmbH, 2000).

Für den posttraumatischen Zustand und im Rahmen der Nachuntersuchung wurde ein vorderer Schubladentest durchgeführt und die anteriore Translation mittels Rolimeter quantifiziert. Die obere Seite des Rolimeters (ohne Latexband) wurde mittig auf der Patella positioniert. Das untere Ende wurde dann mithilfe des Latexbandes auf der distalen Tibia fixiert. Das um 80° flektierte Knie wurde mit einer Hand am Femur fixiert, während die andere Hand maximalen ventralen Zug auf die Tibia ausübte, um den vorderen Schubladentest durchzuführen. Das Ausmaß der vorderen Translation, wurde dann als relative Auslenkung zwischen Patella und Tuberositas tibia an einem kalibrierten Stift, der auf Höhe der Tuberositas tibia positioniert war, in 2mm Abständen abgelesen. Diese Messung wurde dreimal wiederholt, um dann einen Mittelwert aus den abgelesenen Werten zu bilden (Aircast Europe GmbH, 2000). Zur Ermittlung eines aussagekräftigen Wertes, wird die Messung auf der betroffenen Seite, sowie auf der Gegenseite durchgeführt, um dann die Differenz aus beiden Werten zu bilden. Ganko und Kollegen zeigen in ihren Untersuchungen, dass bei 16 von 18 Patienten bei einer Seitendifferenz von über 3 mm eine VKB Ruptur vorliegt (Ganko et al., 2000).

2.5 Radiologische Untersuchung

Die kernspintomographische Untersuchung des Kniegelenkes ist ein allgemein akzeptiertes diagnostisches Verfahren, um die Integrität des VKB zu beurteilen (Mandelbaum et al., 1986). Die radiologische Untersuchung des VKB erfolgte in der Praxis Nuramed in der Klinik am Ring. Die anschließende Beurteilung durch die radiologischen Kollegen der Praxis

Nuramed und Dr. med Vonhoegen wurde anhand der in T2 sequenzierten Sagittalschnitte durchgeführt. Eine Patientin aus der LGB Gruppe führte die MRT Untersuchung extern durch. Die Beurteilung des externen MRT erfolgte ebenfalls durch Herrn Dr. Vonhoegen. Es wurden die MRT radiologischen Kriterien eines vollständig wieder hergestellten Kreuzbandes herangezogen. Als geheiltes Kreuzband wurden durchgehende Fasern vom tibialen bis zum femoralen Ansatz gewertet. Auf dieser Grundlage erfolgte eine Differenzierung in intaktes und nicht-intaktes Ligament.

Eine VKB Plastik beginnt sich postoperativ durch histologisches Rearrangement in eine dem ursprünglichen Ligament entsprechende Struktur zu transformieren. Diese Transformation, auch als Ligamentisierung bezeichnet (Claes et al., 2011), beinhaltet verschiedene Phasen. Die letzte dieser Phasen wird von verschiedenen Autoren als *maturation (=Reifung)* bezeichnet und wird als Endpunkt des Ligamentisierungsprozesses definiert (Sanchez et al., 2010). Weiler und Kollegen stellten in ihren Untersuchungen an 30 Schafen, die eine VKBR erhielten, weitergehend einen Zusammenhang zwischen der Reifung des VKB und der Intensität im MRT heraus. Hier zeigte sich 52 bis 104 Wochen postoperativ ein hypointenses Signal in der MRT und histologisch ein mit dem nativen Ligament vergleichbares Resultat (Weiler et al., 2001).

In Anlehnung an die in der Literatur beschriebene Definierung der Intensität des VKB nach VKBR (Figueroa et al., 2010) und an die aktuellen Veröffentlichungen von Van der List und Kollegen, erfolgte die Beurteilung der Intensität des Signals in drei Untergruppen: hypointens, wenn die Intensität der des HKB entsprach, oder geringer als die des M. semimembranosus war, isointens, wenn mehr als 50% des VKB die gleiche Intensität wie das HKB hatte und gleichwertig zu der des M.semimembranosus war oder hyperintens, wenn weniger als 50% des VKB die gleiche Intensität wie das HKB hatte und eine höhere Signalintensität als der M.semimembranosus besaß (van der List et al., 2019b). Eine niedrige Signalintensität des Transplantates wertete man als vorangeschrittene Reifung des Transplantats, also als Angleichung an das ursprüngliche Ligament (Figueroa et al., 2010). Van der List und Kollegen lieferten 2019 die erste Studie zu einer kernspintomographischen Verlaufskontrolle nach erfolgter VKB erhaltender Operation, auf die in Abschnitt 4.5.3 noch näher eingegangen wird (van der List et al., 2019b).

2.6 Operationstechniken

Im Folgenden werden die Operationstechniken erläutert, die in der VKBR- und in der LGB-Gruppe angewandt und standardmäßig in der Klinik am Ring in Köln von Herrn Dr. med. Vonhoegen durchgeführt werden.

2.6.1 Hamstring-Technik

Die aktuell am häufigsten verwendeten Sehnentransplantate zur VKB Plastik stellen die Hamstringsehnen (STS und GS) dar. Laut Domnick und Kollegen wurden 2013 zu 90% die Hamstringsehnen und nur zu 6.3% die Patallarsehne als autologes Sehnentransplantat verwendet. In der Klinik am Ring in Köln werden zur VKBR standardmäßig beide Hamstringsehnen, also STS sowie auch GS, verwendet. Im Folgenden wird, das standardisierte, operative Vorgehen zur VKBR in Einzelbündeltechnik mit Endobutton und tibialer Schraubenfixation in der Klinik am Ring beschrieben.

Das zu operierende Knie des sich in Allgemeinanästhesie befindenden Patienten wird in eine Lagerungsschiene im 90° Winkel in hängender Stellung positioniert. Nach arthroskopischer Spiegelung des Gelenkes und Bestätigung der Operationsindikation, wird die Sehnenentnahme durchgeführt. Es wird eine circa zwei bis drei Zentimeter lange, schräg verlaufende Hautinzision im Bereich des Pes anserinus durchgeführt. Das Pes anserinus stellt die Insertionsstelle des M. sartorius, des M. semitendinosus und des M. gracilis dar und befindet sich circa ein Zentimeter medial und zwei bis drei Zentimeter distal der proximalen der Spitze der Tuberositas tibiae (Zhong et al., 2018). Nachdem das subkutane Fettgewebe gespreizt wurde, wird die Faszie des M. sartorius eröffnet und die STS und GS identifiziert. Anschließend werden die Sehnen mit einer Overhold-Klemme unterfahren und mit einem Faden angeschlungen. Im nächsten Schritt werden STS und GS mit einer Schere von umgebenen Verwachsungen und abgehenden Faszikeln gelöst, und damit für eine Borgung mittels Sehnenstripper vorbereitet. Nach erfolgreicher Mobilisation der Sehnen werden sie am distalen Ansatz gelöst und mithilfe des Sehnenstrippers geborgen und so vom Muskelbauch abgetrennt. Die Sartoriusfaszie wird zum Schluss mit Vicryl vernäht. Danach erfolgt die Armierung der Sehnen. Dazu werden die Sehnen von jeglichem Muskelgewebe befreit und überstehende Sehnenzüge mit einem Skalpell oder einer Schere entfernt, sodass eine muskelfreie, gleichmäßige Sehne vorliegt. Diese wird dann auf einem Bündelboard aufgespannt und von beiden Seiten an den Enden mittels Faden armiert. Die Armierung erfolgt in Form von mindestens drei bis vier Baseball-Stiches an beiden Sehnenenden. Sobald die Armierung abgeschlossen ist, wird eine Messung des Transplantatdurchmessers durchgeführt. Angestrebt wird eine Dicke zwischen sieben und

neun Millimeter (Maeda et al., 1996). Anschließend wird die Schlaufe des Button-Loop-Systems eingefädelt und zur Mitte der Sehnen geführt. An dieser Stelle werden die Sehnen dann eingeschlagen, mittels Faltung halbiert und zur besseren Stabilität miteinander verflochten. Als Ergebnis erhält man das fertige Vierfachtransplantat in Einzelbündeltechnik mit dem Button-Loop-System auf der einen und den armierten Enden auf der anderen Seite (Abb. 9).



Abb. 9: Armiertes Sehnentransplantat. Dargestellt ist das Sehnentransplantat, welches zur besseren Stabilität miteinander verflochten wurde. Das eine Ende bildet die Seite mit den armierten Fäden, am anderen Ende ist das Endobutton-System zu sehen, in das die Sehne eingefädelt wurde.

Die Fixierung des Transplantates im Gelenk erfolgt anhand einer Hybridtechnik. Femoral erfolgt die Fixierung mittels einer extrakortikalen Flipp-Button Verankerungstechnik. Dieses System besitzt ein längliches Metallplättchen durch welches eine Fadenschlaufe geht, durch die das Transplantat durchgelegt wird. Nach Anlegen eines gestuften Bohrkanals (circa 4,5-5 mm Durchmesser) wird gelenknah ein Sackloch angelegt, welches der Größe des Transplantatdurchmessers gleichkommt. Beim Einziehen des Transplantates wird das Metallplättchen über den Einzugsfaden in Längsrichtung durch den Bohrkanal eingezogen. Sobald es über die gelenkferne Kortikalis hinausgeführt würde, wird der Flipp-Faden angezogen und das Metallplättchen legt sich quer über den Bohrkanal, sodass es vor einem Zurückgleiten geschützt ist. Somit ist das Transplantat femoral im Bohrkanal fixiert. Tibial erfolgt ebenfalls die Bohrung eines Kanals, in den zur Fixierung des Transplantats eine resorbierbare Interferenzschraube eingebracht wird. Zum Schluss erfolgt eine Überprüfung des intraartikulären Befundes und, falls nötig, ein Debridement überstehender tibialer Bandreste.

2.6.2 Ligabrace-Technik

Die Ligabrace-Technik (= *ACL Ligament-Repair* mit *Ligament-Bracing*) wird in der Klinik am Ring in Köln von Dr. med. Jan Vonhoegen seit circa 2017 durchgeführt. Die Indikation zur LGB Therapie wird auf Basis der aktuellen Studienlage gestellt. Eine akute (< 4 Wochen) (Flint et al., 2014), proximale Ruptur des VKB mit ausreichender Qualität des Restgewebes stellt die Indikation für diese VKB erhaltende operative Technik dar. Dies lässt sich darin begründen, dass eine gute Gewebequalität besonders in den ersten Wochen nach der Verletzung vorliegt (van der List et al., 2019a). Es ist bekannt, dass es nach einiger Zeit zu Vernarbungen des rupturierten VKB mit dem HKB oder der interkondylären Notch kommen kann, und somit eine gute Gewebequalität nicht mehr gewährleistet ist (Crain et al., 2005). Die Grundlage für die Wahl der proximalen Läsionen stellt wie oben beschrieben die vermehrte Vaskularisierung und das erhöhte Selbstheilungspotential des proximalen Anteils des VKB dar (Toy et al., 1995, Nguyen et al., 2014).

Nach Vorselektion einer femoralen Avulsions- oder Kompletttraktur des vorderen Kreuzbandes durch eine präoperative MRT wird das Kniegelenk arthroskopisch exploriert, um die Operationsindikation intraoperativ zu verifizieren. In einer aktuellen Studie konnten Van der List und Kollegen zeigen, dass eine Vorselektion der Rupturlokalisierung und die Beurteilung der Gewebequalität mittels MRT zuverlässig möglich ist (van der List and DiFelice, 2018).

Zur Durchführung der Arthroskopie werden die Standardzugänge, der hohe anterior laterale und der tiefe anterior mediale Zugang, angelegt. Die femorale Insertionszone des VKB wird dargestellt und die Qualität des verbliebenen VKB Stumpfes beurteilt. Bei akzeptabler Gewebequalität und ausreichend proximalem Ausriss, kann die Operationsindikation intraoperativ bestätigt werden. Nach vorsichtiger Präparation des verbliebenen VKB Stumpfes, wird ein circa ein Zentimeter messender Schnitt medial der *Tuberositas Tibia* und proximal des *Pes anserinus* verübt. Dann wird ein Zielgerät, der *AcuFex Director*, mit Zielarm und der 2,6mm Bohrhülse in 55° Stellung, verwendet. Dieser wird durch das mediale Portal eingeführt und zentral im tibialen *footprint* auf dem Tibiaplateau plaziert. Um das Gewebe des VKB maximal zu schonen, empfiehlt es sich die Spitze des Markierungshakens von lateral anzulegen und die intakten Fasern des VKB zur Seite zu halten. Anschließend wird mit dem 2,4 mm durchmessende Zieldraht die tibiale Bohrung durchgeführt, die zentral auf den tibialen VKB *footprint* abzielt. Nach Entfernung des Zielgerätes und der Bohrhülse, wird der Zieldraht mit einem 4,5 mm Bohrer überbohrt. Nach Durchdringen der Kortikalis des Tibiaplateaus sollte die Bohrung gestoppt werden, um das Restgewebe des VKB nicht zu schädigen. Dann wird ein *Shuttlefaden* (*Accu-Pass-Faden*) durch die Tibia und den VKB Stumpf geführt und über das mediale Portal wieder nach

extraartikulär geleitet, wo der Faden vorerst mit der Schlaufe nach distal verbleibt. Unter Verwendung eines *Chondro Picks* wird im Sinne der *healing response* Technik eine Mikrofrakturierung am femoralen footprint des VKB durchgeführt, um die Wachstumsfaktoren aus dem Knochenmark zu mobilisieren und zur Selbstheilung anzuregen. Nun wird ein weiterer Zieldraht durch das mediale Portal zentral im femoralen *footprint* platziert und durch den Femur nach lateral proximal in 120° Flexion gebohrt. Auch hier wird der Zieldraht mit einem 4,5 mm durchmessenden Bohrer überbohrt. (Nach Entfernung des Zieldrahtes wird die Länge des femoralen Bohrkanals mithilfe eines Messgerätes bestimmt.) Anschließend wird eine Armierung des tibialen Kreuzbandstumpfes mit einem Ultrabraidfaden (*Repairfaden*) mithilfe einer *Firstpass*-Minifasszange durchgeführt. Unter Kniebeugung wird dann der Zieldraht erneut über das mediale Portal in den femoralen Bohrkanal eingeführt, um den Ultrabraid-Faden, sowie den *Shuttlefaden* durch den Femur nach lateral zu bringen. Über die Schlaufe des *Shuttlefadens* wird nun das Ligabrace-System, bestehend aus einem *Ultrabutton* mit zwei *Ultratapes* und einem *Endobutton* durch die Bohrkanäle hindurchgeführt, bis der *Ultrabutton* am lateralen, femoralen Cortex anliegt und festgezogen werden kann. Der *Ultrabraid-Repair*-Faden wird nun mit dem Flip-Faden des femoralen *Endobuttons* verknotet, um auch diesen femoral zu fixieren. Dann wird eine erste Bewegungsprobe durchgeführt. Zur tibialen Fixierung wird das Knie wieder in Streckstellung gebracht. Die Enden des *Ultratapes* werden nun in das Endobuttonsystem eingefädelt und auf der tibialen Kortikalis positioniert und unter Spannung manuell verknotet.

Das Ergebnis dieser Operation ist ein repariertes VKB, welches unter Schienung und Entlastung durch das Ligabrace-System die Möglichkeit zum Ausheilen hat (Abb. 10). Das Besondere an dieser neuartigen Technik ist, dass die Reparatur und die Schienung ohne Verwendung von intraossären Implantaten auskommt, und die Fixierung lediglich unter Verwendung von extrakortikal anliegenden *Flip-Button*-Systemen durchgeführt wird. Eine Zusammenfassung der Operationsschritte kann Abb. 11 entnommen werden.

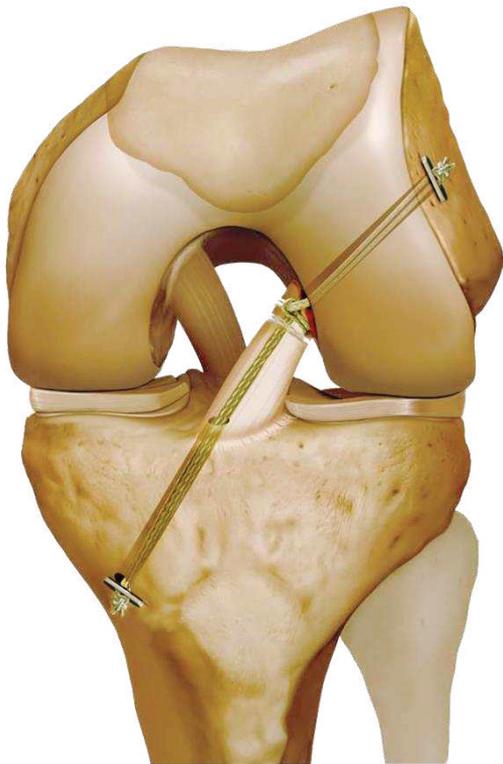


Abb. 10: Ligabrace-Technik. Operationsergebnis nach erfolgreicher Naht und innerer Schienung des VKB mittels Ligabrace-Technik nach Dr. med. Vonhoegen. Zu sehen ist das vordere Kreuzband, welches genäht und zusätzlich geschient wurde. Tibial und femoral sind jeweils die der Kortikalis aufliegenden Endbutton-Systeme zu erkennen.

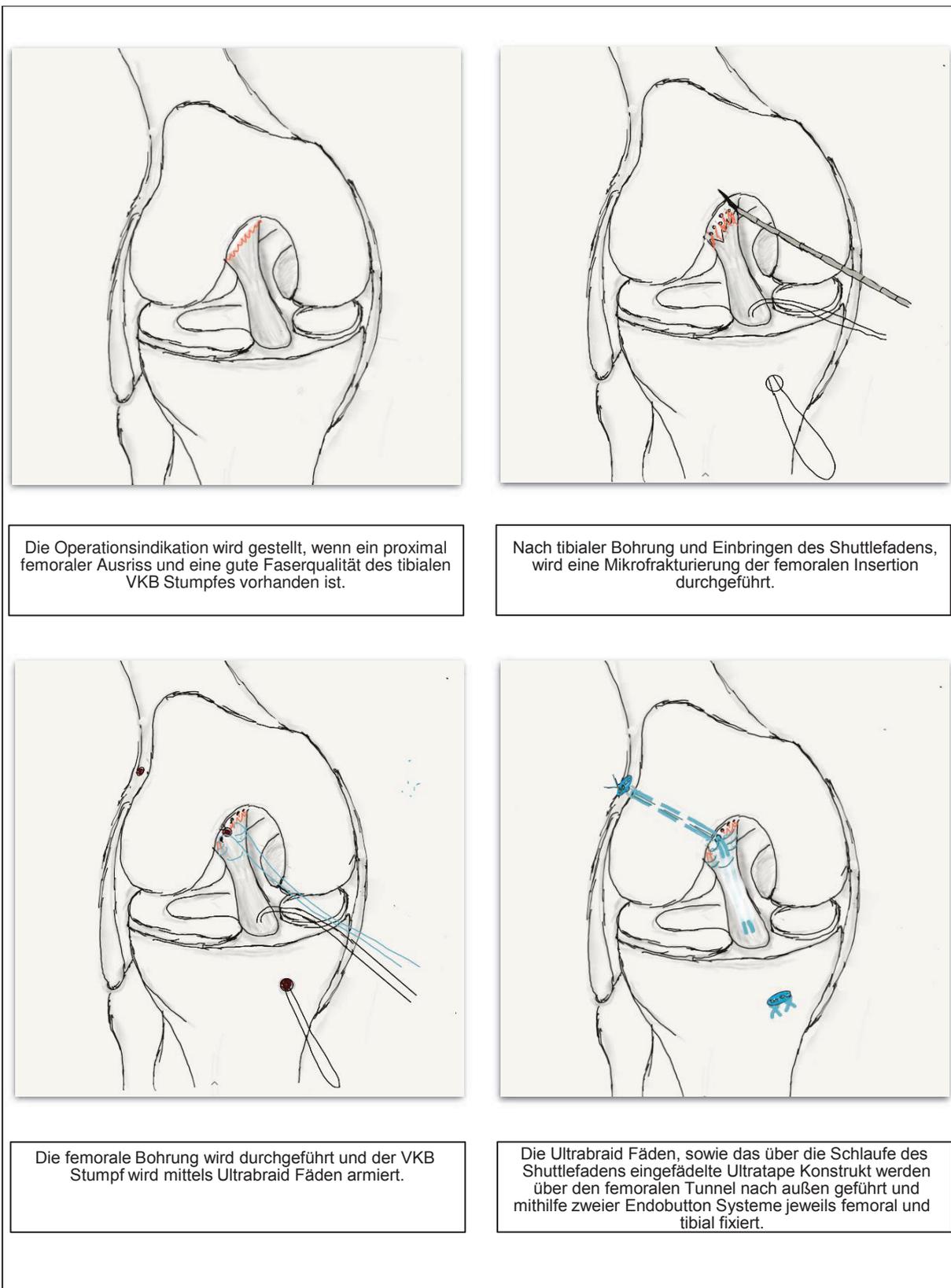


Abb. 11: Technische Operationsschritte der Ligabrace-Technik.

2.7 Postoperative Rehabilitation

Die postoperative Rehabilitation erfolgte, unabhängig von der Wahl des operativen Verfahrens, in beiden Gruppen identisch. Die Patienten erhielten nach der Operation eine Ruhigstellungsschiene in 0°-Streckstellung, die schon am Folgetag durch ein *Donjoy* Knieorthese (Kniebrace) ersetzt wurde. Weiterhin wurde am Folgetag der Operation das eingebrachte Drainagesystem entfernt. Dann konnte eine Teilbelastung von 20 kg an Gehstöcken für 14 Tage durchgeführt werden. Die Knieorthese war hier auf ein Bewegungsausmaß von 0°-0°-90 (Extension/Flexion) limitiert. Während dieser 14 Tage wurde eine Antikoagulation mit niedermolekularem Heparin einmal täglich durchgeführt. Diese konnte nach Erreichen der Vollbelastung abgesetzt werden. Es wurde zudem Lymphdrainage verschrieben, um durch eine Anregung des Lymphsystems die postoperative Schwellung zu reduzieren. Weiterhin wurden eine passive Patellamobilisierung und leichte isometrische Übungen der Muskulatur mithilfe des Physiotherapeuten durchgeführt.

Nach 14 Tagen war dann die axiale Vollbelastung erreicht. Ab der dritten Woche erfolgte weiterhin eine Mobilisierung unter physiotherapeutischer Anleitung ohne Tragen der Knieorthese. Eine volle Beugebelastung wurde nach sechs Wochen angestrebt. Ab der sechsten postoperativen Woche konnte mit sanften Kraft-, Koordinations- und Ausdauerübungen in Form von Fahrradfahren ohne Widerstand oder Schwimmen in Kraultechnik begonnen werden. Circa zwölf Wochen postoperativ konnte meist eine sportliche Aufbelastung in Form von Sportarten ohne Rotationskomponente, wie langsames Joggen auf ebenem Untergrund, begonnen werden. Bei gutem Verlauf konnte nach 24 Wochen eine volle Belastungsfähigkeit zurückerlangt werden und ein Wiedereinstieg in Sportarten mit Rotationskomponente wie Handball, Fußball oder Tennis realisiert werden.

2.8 Statistische Methoden

Zunächst erfolgte die Datensammlung- und Verarbeitung mit Microsoft Excel. Die statistische Auswertung erfolgte anschließend mithilfe des Statistikprogramms SPSS Version 26.0.

Zu Beginn wurden alle Variablen mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung untersucht. Keine der analysierten Variablen wies eine Normalverteilung auf. Aus diesem

Grund wurden die unabhängigen, verteilungsfreien Testvariablen unter Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests ausgewertet. Zum Vergleich der kategorischen Variablen (Radiologische Untersuchung) wurde der Chi²-Test oder der Test nach Fisher durchgeführt. Für alle Durchführungen wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 festgelegt. Zudem wurde mit den abhängigen Variablen (Scorewerte zum Zeitpunkt vor Verletzung und zwölf Monate nach Operation) eine ANOVA durchgeführt, die aufgrund nicht normalverteilter Ergebnisse nur deskriptive Analysen zuließ. Anschließend wurde eine Poweranalyse zur Ermittlung einer aussagekräftigen Stichprobe mittels G-Poweranalyse durchgeführt. Die deskriptiven Ergebnisse wurden mittels absoluter und relativer Häufigkeit, sowie Mittelwert und Standardabweichung dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Scores

Im untersuchten Patientenkollektiv wurden die in Abschnitt 2.3. beschriebenen Scores zur Bestimmung der prätraumatischen Kniefunktion (T0) der betroffenen Seite erhoben. Anhand dieser Ausgangswerte konnte dann bei der Nachuntersuchung nach zwölf Monaten (T2) ein Vergleich zum vorherigen Funktionslevel gestellt werden.

3.1.1 IKDC

Zur Erfassung des PRO wurde unter anderem das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies nach IKDC verwendet. Der Score wurde jeweils für den Zeitpunkt vor der Verletzung (T0) und zwölf Monate nach erfolgter Operation (T2) erhoben. Abb. 12 zeigt eine Veranschaulichung der Mittelwerte im prä- und postoperativen Vergleich der beiden Operationsverfahren. In der VKBR Gruppe betrug der Mittelwert der Scorewerte zum Zeitpunkt T0 99.36 ± 1.56 , zwölf Monate postoperativ dann 84.23 ± 12.38 . In der LGB Gruppe wurde ein mittlerer Scorewert von 99.26 ± 1.99 zum Zeitpunkt T0 und von 87.08 ± 11.25 postoperativ erreicht.

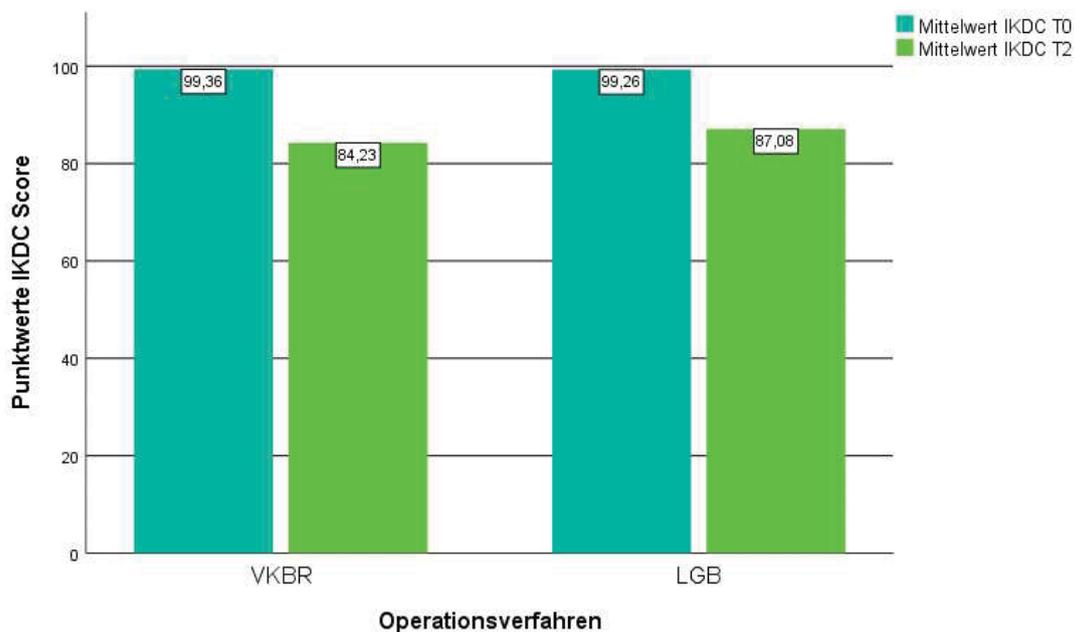


Abb. 12: Mittelwerte der erreichten Scorewerte. Vergleich des prätraumatischen Zustands (T0) der beiden Kollektive mit dem postoperativen Zustand (T2).

In beiden Gruppen wurde der Ausgangswert vom Zeitpunkt T0 zwölf Monate nach erfolgter Operation noch nicht wieder erreicht. Der zeitliche Verlauf der Scoreergebnisse zum Zeitpunkt T0 in Bezug zum Zeitpunkt T2 in den verschiedenen Gruppen ist in Abb. 13 dargestellt. Die Werte zum Zeitpunkt T0 boten mit 99.36 ± 1.56 (VKBR) und 99.26 ± 1.99 (LGB) und einer Differenz von 0.1 einen vergleichbaren Ausgangszustand. Zum Zeitpunkt T2 lagen die postoperativen Scorewerte in der LGB Gruppe im Durchschnitt um 2.85 Scorewertpunkte höher als in der Kontrollgruppe. Statistisch gesehen wiesen die Mittelwerte weder prä- noch postoperativ einen signifikanten Unterschied auf (T0: $p=.976$; T2: $p=.420$).

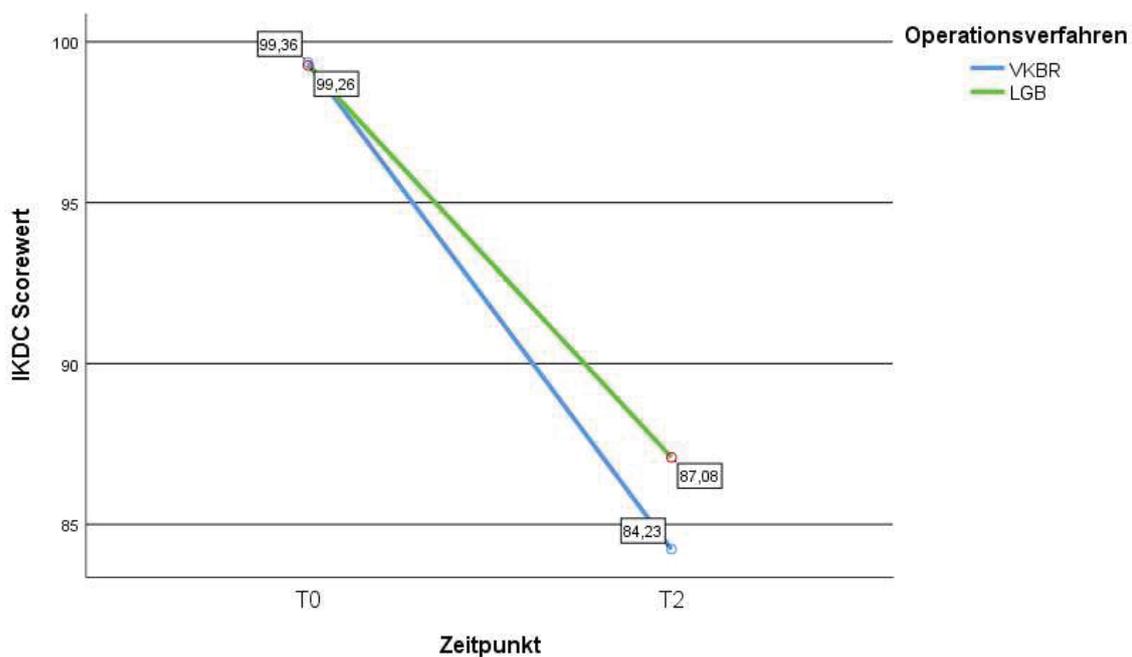


Abb. 13: Mittelwerte des IKDC Scores zu T0 und T2. Zeitlicher Verlauf der Mittelwerte beider Gruppen der IKDC Scorewerte vom Zeitpunkt T0 ausgehend bis zum Zeitpunkt T2.

Abb. 14 zeigt zudem die Streuung der postoperativen Scoreweltergebnisse des IKDC Fragebogens. In der LGB Gruppe wurde sowohl ein höheres Minimum (LGB: 59.77; VKBR: 48.28) sowie ein höheres Maximum (LGB: 100; VKBR: 98.85) als in der Kontrollgruppe erreicht. Anhand der Länge der Box ist zudem zu erkennen, dass die Streubreite der Scorewerte in der VKBR Kohorte größer ist als in der LGB Kohorte. Der Median beträgt 85.06 in der VKBR- und 89.66 in der LGB Gruppe.

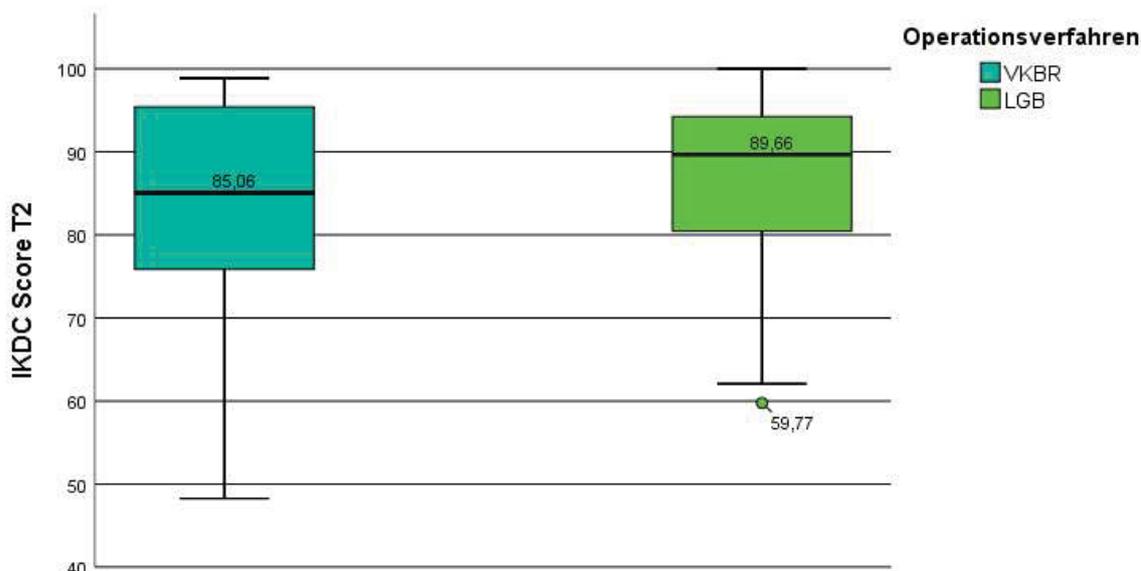


Abb. 14: Mittelwerte IKDC zum Zeitpunkt T2. Hier zeigt sich die Streubreite der Mittelwerte des IKDC Scores zum Zeitpunkt T2.

3.1.2 Lysholm Score

Neben dem IKDC Score wurde zur Erfassung des PRO der Lysholm Score zum Zeitpunkt vor der Verletzung (T0) und zwölf Monate nach erfolgter Operation (T2) durch die Patienten angegeben. In Abb. 15 sind die prätraumatischen gegen die postoperativen Mittelwerte beider Gruppen aufgetragen. Anhand des Lysholm Scores gaben alle Patienten beider Kohorten an, vor der Verletzung ein voll belastungsfähiges Knie mit einem Score von 100 Punkten gehabt zu haben. Abb. 16 zeigt zudem die Streubreite der postoperativen Scorewerte. Bei einem Minimum von 43 Punkten und einem Maximum von 99 Punkten lag der Mittelwert in der VKBR Gruppe zum Zeitpunkt T2 bei 87.80 ± 12.14 Punkten. In der LGB Gruppe betrug das Minimum 71 Punkte und das Maximum 100 Punkte bei einem durchschnittlichen Scorewert von 90.32 ± 7.90 Punkten. In der VKBR Gruppe gab es einen Ausreißer mit 43 Punkten. Die Mittelwerte beider Gruppen wiesen keinen statistisch signifikanten Unterschied auf (T0: $p=1.0$; T2: $p=.446$).

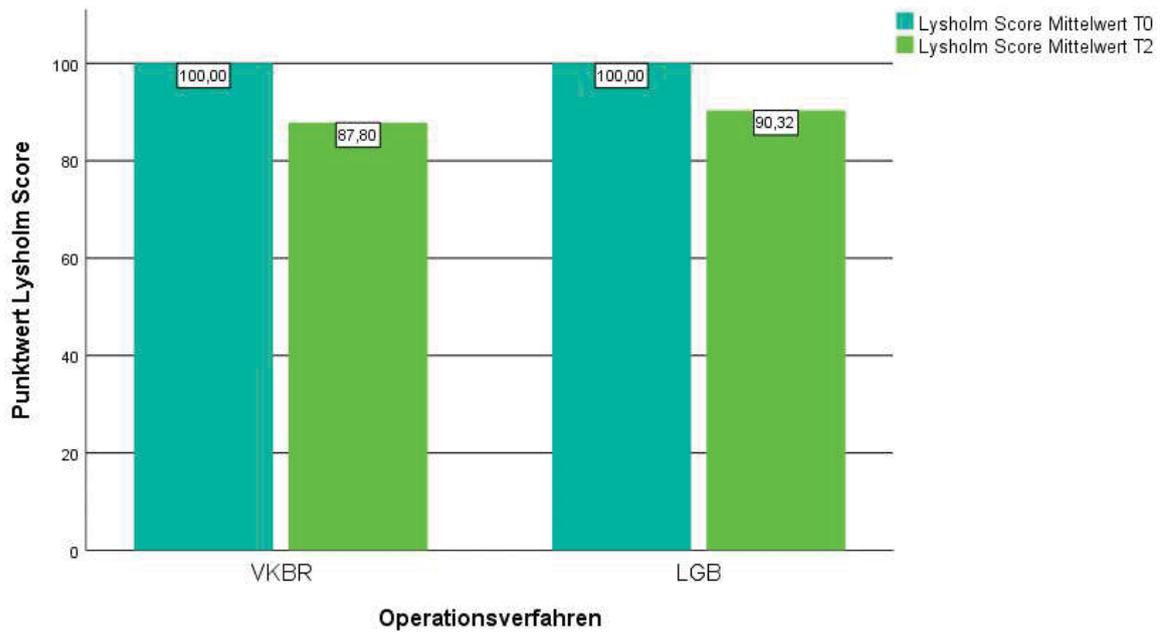


Abb. 15: Vergleich der Mittelwerte des Lysholm Scores zum Zeitpunkt T1 und T2.

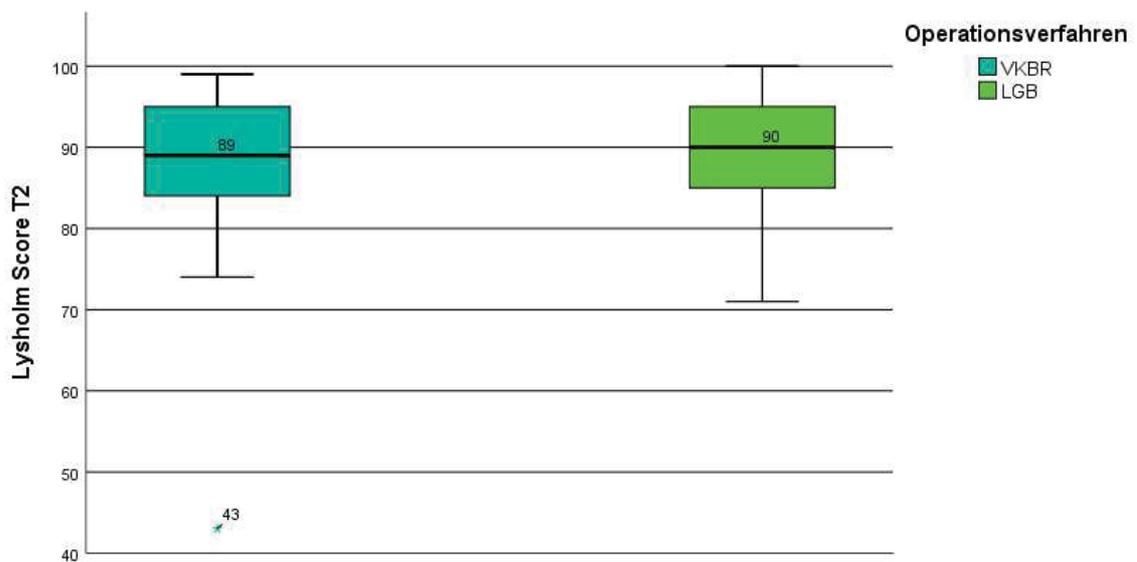


Abb. 16: Streubreite der Mittelwerte des Lysholm Scores zum Zeitpunkt T2.

In einem weiteren Schritt wurden die jeweiligen postoperativen Scorewerte für den Zeitpunkt T2 in die vier Untergruppen exzellent (90-100), gut (84-90), mäßig (65-83) und schlecht (<65) aufgeteilt. In der VKBR Gruppe erreichten 12 Patienten (48%) ein

exzellentes Ergebnis, 7 Patienten (28%) erreichten einen guten Wert, 5 (20%) ein mäßiges und ein Patient (4%) ein schlechtes Ergebnis. In der LGB Gruppe gaben 15 Patienten (60%) ein exzellentes Ergebnis an und jeweils 5 Patienten (20%) ein gutes oder mäßiges Ergebnis an. Keiner der Patienten in der LGB Gruppe konnte der Gruppe „schlechtes Ergebnis“ zugeteilt werden (Abb. 17). Auch hier ergab sich kein statistischer Unterschied in der Verteilung der Gruppen ($p=0.422$).

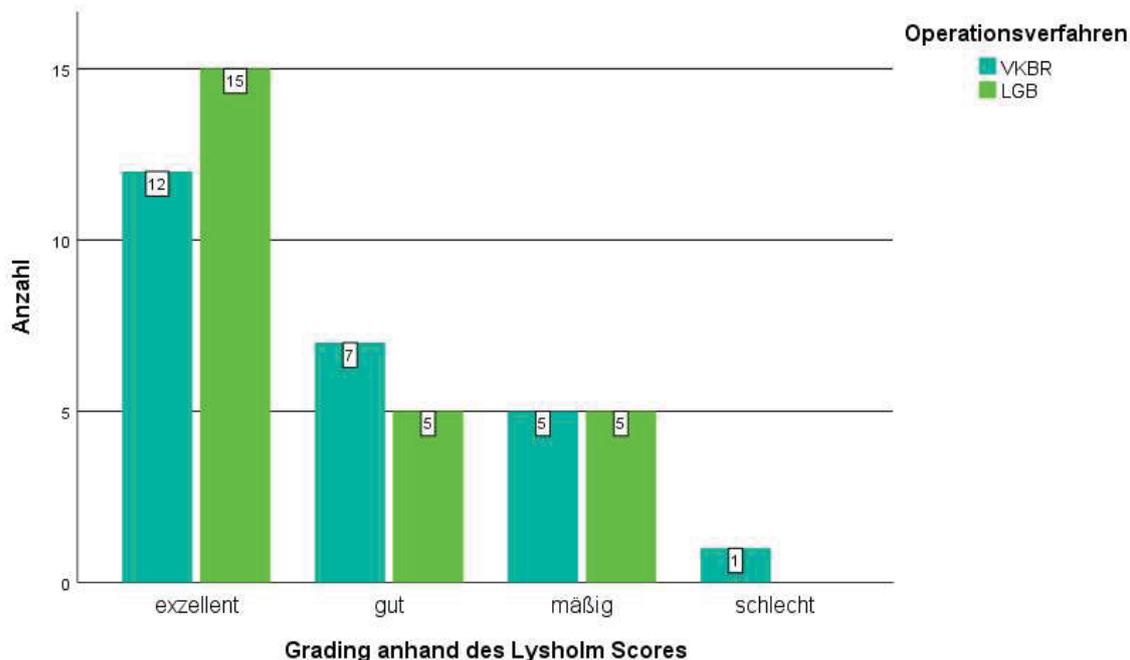


Abb. 17: Grading Lysholm Score. Hier werden die Ergebnisse des Lysholm Score zur besseren Übersicht in vier verschiedene Untergruppen eingeteilt: exzellent (90-100), gut (84-90), mäßig (65-83) und schlecht (<65).

In Abb. 18 ist der zeitliche Verlauf der prä- und postoperativen Ergebnisse des Lysholm Scores dargestellt. Bei identischem Ausgangsscore zum Zeitpunkt T0 von 100 Punktwerten, erreichte auch hier zum Zeitpunkt T2 keiner der Patienten der beiden Kohorten wieder den prätraumatischen Ausgangswert.

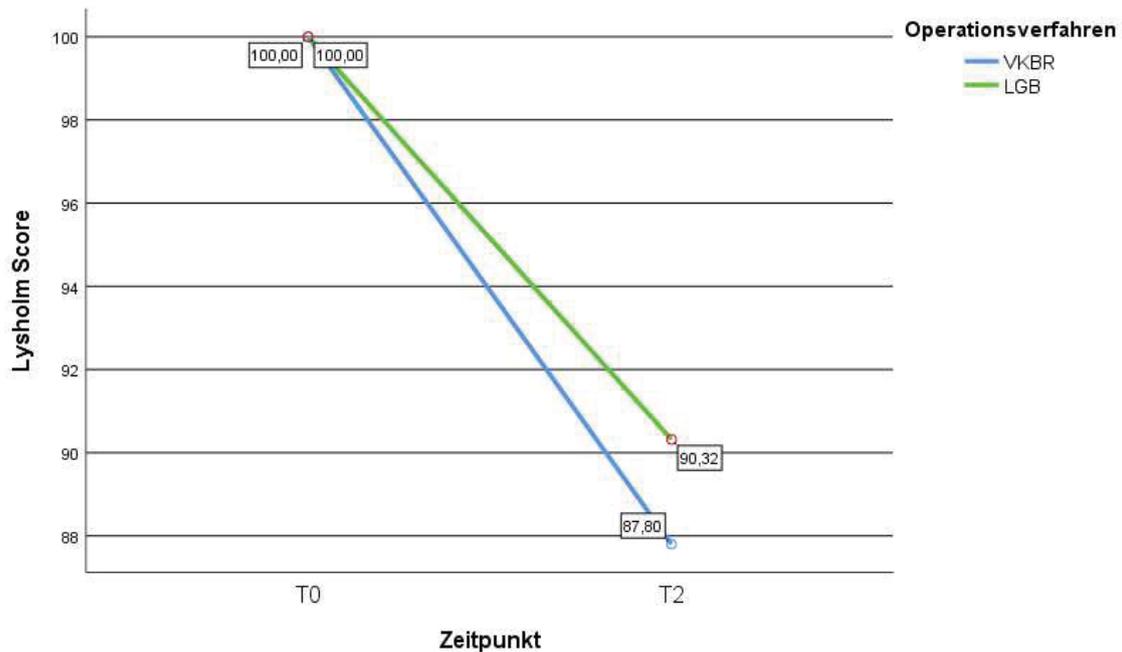


Abb. 18: Mittelwerte Lysholm Score zu T0 und T2. Hier zeigt sich der zeitliche Verlauf der Mittelwerte des Lysholm Scores zum Zeitpunkt T0 und T2.

3.1.3 Tegner Aktivitätsscore

Einen weiteren Bestandteil des PRO bildete die Erfragung des Aktivitätslevels nach Tegner. Die Patienten gaben jeweils das Aktivitätslevel vor der Verletzung und zwölf Monate nach erfolgter Operation an. Die Abb. 19 und Abb. 20 zeigen jeweils die Verteilung der prätraumatischen und postoperativen Aktivitätslevel in den beiden Gruppen. Das durchschnittliche Tegner Aktivitätslevel zum Zeitpunkt T0 betrug 6.60 ± 1.63 für die Kontrollgruppe und 6.52 ± 1.56 für die LGB-Gruppe. Das durchschnittliche postoperative Aktivitätslevel in der VKBR-Gruppe betrug 5.84 ± 1.68 und in der LGB Gruppe 6.24 ± 1.69 . Statistisch gesehen ergab sich weder für den Zeitpunkt T0, noch für den Zeitpunkt T2 ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kohorten (T0: $p=.810$; T2: $p=.532$).

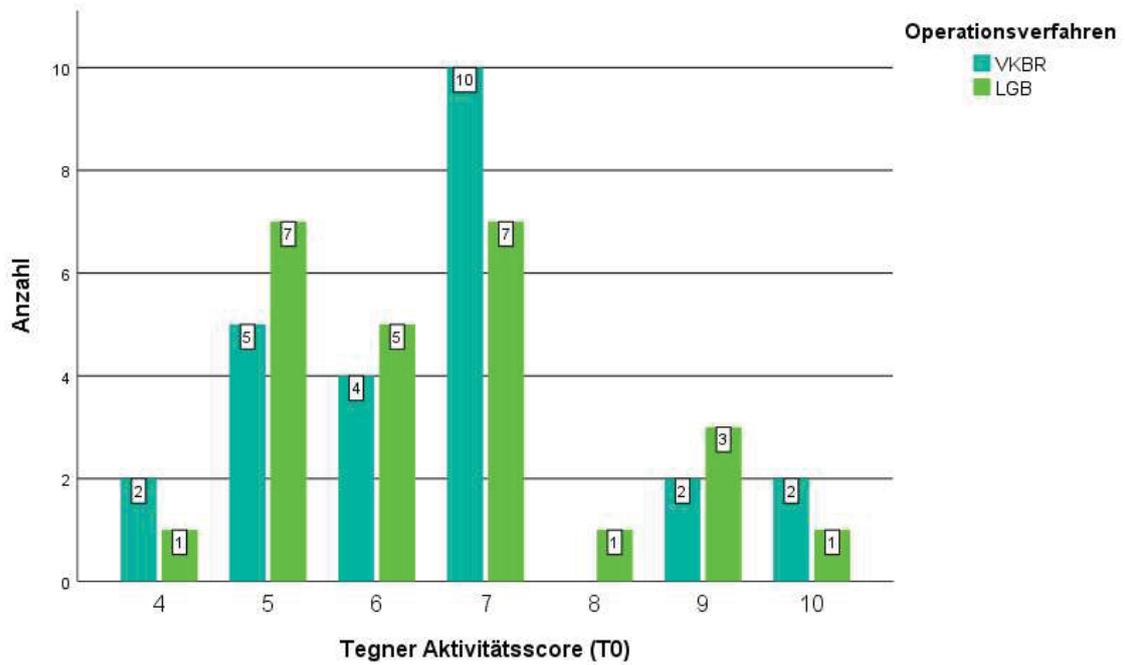


Abb. 19: Tegner Aktivitätsscore zu T0. Dargestellt ist die Verteilung der Patienten auf die jeweiligen Aktivitätslevel nach dem Tegner Aktivitätsscore.

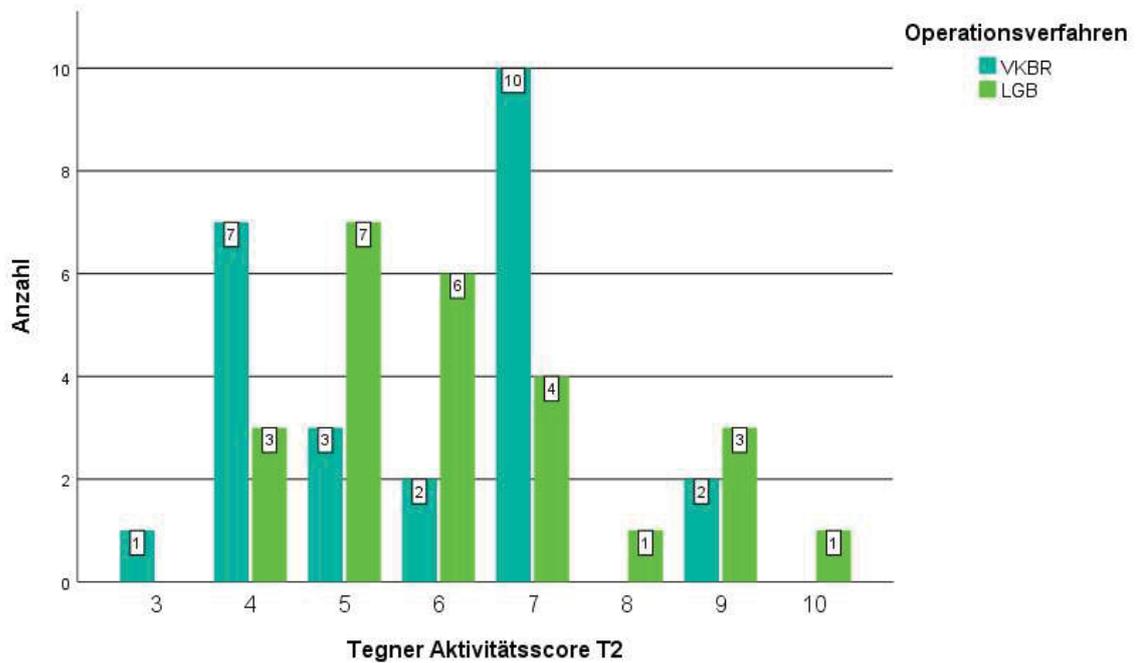


Abb. 20: Tegner Aktivitätsscore zu T2. Verteilung der postoperativen Aktivitätslevel in der VKBR- sowie der LGB Kohorte.

Die jeweiligen Mittelwerte der prä- vs. postoperativen Aktivitätslevel der beiden Kohorten sind zudem in Abb. 21 dargestellt.



Abb. 21: Mittelwerte Tegner Aktivitätsscore. Hier zeigen sich die jeweiligen Mittelwerte der Aktivitätslevel in den beiden Kohorten zu T0 und T2.

Für den Vergleich zu den postoperativen Ergebnissen spielt der Tegner Aktivitätsscore eine besondere Rolle, da so evaluiert werden konnte, ob postoperativ das ursprüngliche Aktivitätslevel wieder erreicht werden konnte. In Bezug auf den Zeitpunkt vor der Verletzung erreichten in der VKBR Gruppe 16 Patienten (64%) das alte Aktivitätslevel. Neun Patienten (36%) fanden nicht zum ursprünglichen Leistungslevel zurück. Im Vergleich gaben in der LGB Gruppe 19 Patienten (76%) an, das ursprüngliche Aktivitätslevel von vor der Verletzung erreicht zu haben. Sechs Patienten (24%) gaben ein geringeres Aktivitätslevel als zum Zeitpunkt T0 an (Abb. 22). Keiner der Patienten gab ein höheres Aktivitätslevel als vor der Verletzung an. Statistisch gesehen gab es dahingehend keinen signifikanten Unterschied zwischen der LGB- und der Kontrollgruppe ($p=.355$).

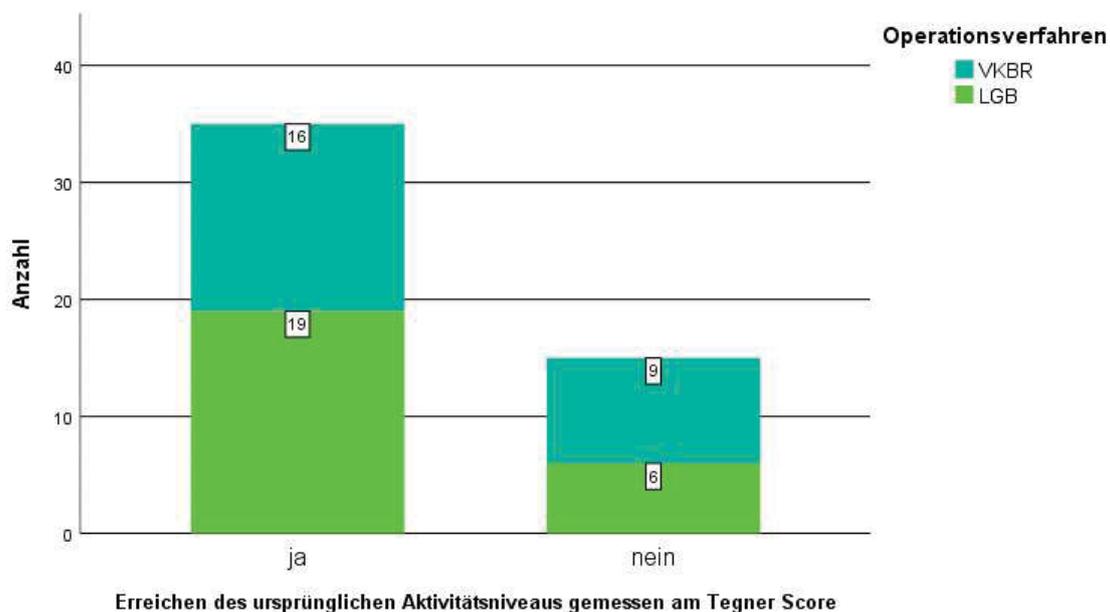


Abb. 22: Erreichen des ursprünglichen Aktivitätslevels.

3.2 Instrumentelle Stabilitätsmessung

Zur Bestimmung der Gelenkstabilität wurde die anteriore Translation mithilfe des Aircast Rolimeter gemessen. Für den posttraumatischen Zustand T1 ergab sich in der VKBR Gruppe eine mittlere Seitendifferenz von 6.12 ± 1.59 und in der LGB Kohorte eine mittlere Differenz von 5.60 ± 1.68 zur gesunden Seite. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt betrug der Seitenunterschied im Mittel in der VKBR Gruppe 0.64 ± 0.76 mm und in der LGB Kohorte 0.56 ± 0.71 mm (Abb. 23). Zu beiden Zeitpunkten ergab sich für die Seitendifferenz zur gesunden Seite kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (T1: $p=.437$; T2: $p=.722$). Keiner der Patienten wies eine Seitendifferenz von über zwei Millimeter auf.

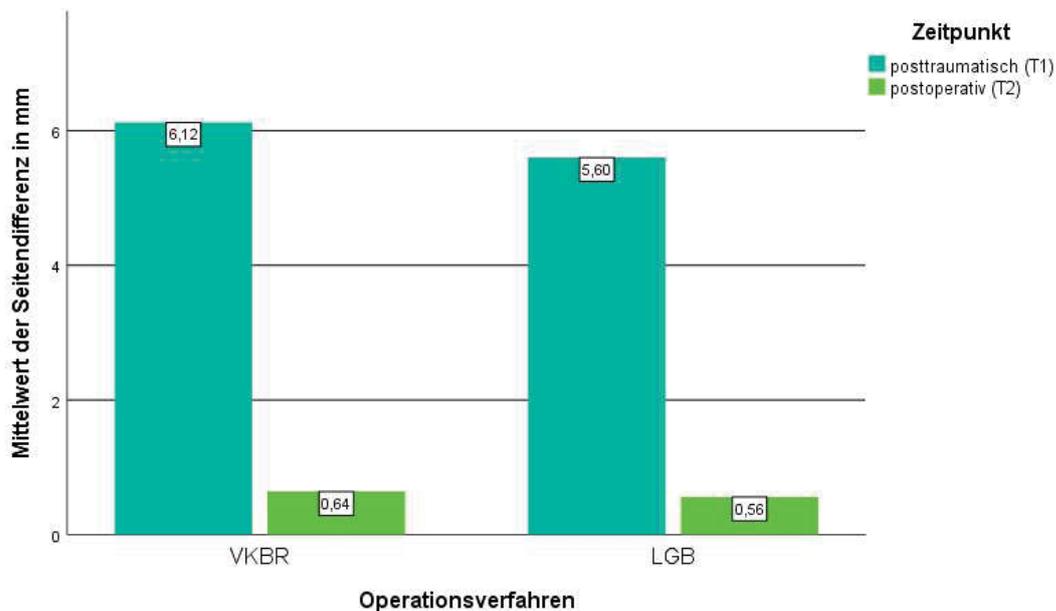


Abb. 23: Mittelwerte Rolimeter T1 und T2. Mittelwerte der Seitendifferenz zur gesunden Seite in der instrumentellen Stabilitätsmessung mittels Rolimeter zu den Zeitpunkten T1 und T2 in Millimeter (mm).

3.3 IKDC Grade

Der IKDC Grade wurde anhand der klinischen Untersuchung und Dokumentation erstellt. Hier wurde das IKDC Formblatt zur Untersuchung des Kniegelenks genutzt, um eine Einteilung in den IKDC Grad A-D vorzunehmen. Für den posttraumatischen Zeitpunkt T1 konnte keiner der Patienten dem IKDC Grad A oder B zugeordnet werden. In der VKBR Kohorte wurden 15 Patienten (60%) anhand der in Abschnitt 2.3.1 erläuterten klinischen Untersuchung zu IKDC Grad C und zehn Patienten (40%) zu Grad D zugeordnet. In der LGB Gruppe wiesen posttraumatisch 16 Patienten (64%) einen IKDC Grad C und 9 Patienten (36%) einen IKDC Grad D auf (Abb. 24). Die Gruppengrade C und D entsprechen den beiden untersten Gruppengraden und stehen für eine abnormale bis deutlich abnormale Kniefunktion. Zwischen den Gruppen ergab sich hinsichtlich der Einteilung in die IKDC Grade kein signifikanter Unterschied ($p=.771$).

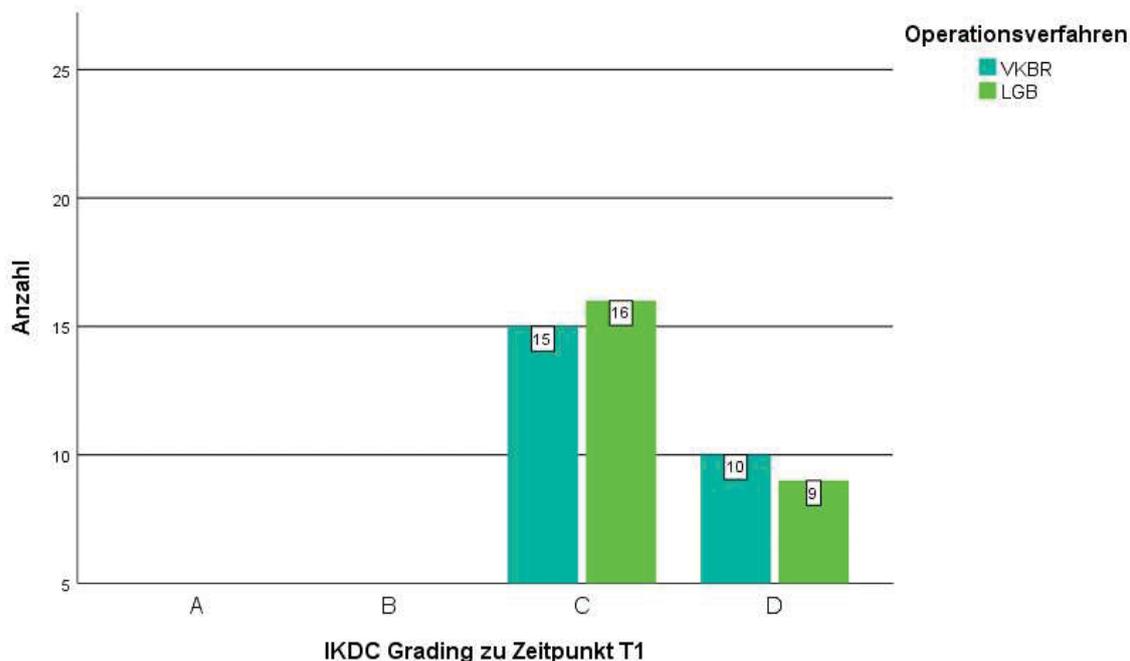


Abb. 24: IKDC Grade T1. Einteilung in die IKDC Grade A-D zum Zeitpunkt T1.

Zwölf Monate postoperativ erreichten in der VKBR Gruppe in der Zusammenschau der Befunde 21 (84%) Patienten den IKDC Grad A. Vier Patienten (16%) konnten Grad B zugeteilt werden. Keiner der Patienten aus der VKBR Gruppe wurde dem Gruppengrad C oder D zugeordnet. In der LGB Gruppe erreichten 24 Patienten (96%) Grad A und ein Patient (4%) wurde zu Grad B zugeteilt. Auch hier konnte anhand der klinischen Untersuchung keiner der Patienten dem Gruppengrad C oder D zugeteilt werden. Die Kniefunktion aller Patienten beider Gruppen wurde dementsprechend den beiden höchsten Gruppengraden A und B zugeteilt und entsprach nun entgegen dem ersten Untersuchungszeitpunkt einer normalen bis fast normalen Funktion. Zwischen den Gruppen ergab sich hinsichtlich der postoperativen Einteilung in die IKDC Grade kein signifikanter Unterschied ($p=.349$). Eine Übersicht über die postoperativen Ergebnisse des IKDC Gradings ist in Abb. 25 dargestellt.

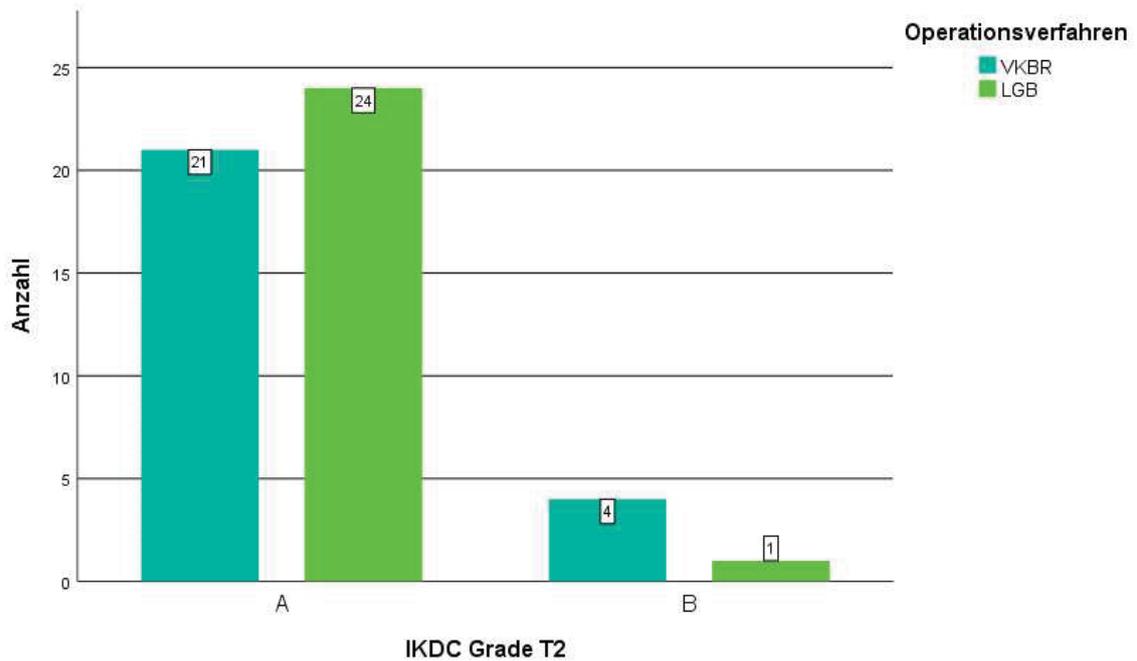


Abb. 25: IKDC Grade zu T2. Einteilung in die IKDC Grade A-D zum Zeitpunkt T2.

3.4 Radiologische Untersuchung

Zur Beurteilung der kernspintomographischen Darstellung des VKB wurden zwei Parameter herangezogen. Zum einen erfolgte eine Beurteilung der Durchgängigkeit des VKB (intakte und nicht-intakte). Weitergehend wurde die Intensität des VKB bestimmt und in die Werte hypointens, isointens und hyperintens unterteilt. Abb. 26 zeigt, dass bei 25 Patienten (100%) in der VKBR Gruppe ein intaktes VKB nachgewiesen werden konnte. In der LBG Gruppe konnte ebenfalls bei allen 25 Patienten (100%) ein intaktes Ligament dargestellt werden. Keiner der Patienten aus beiden Gruppen wies ein nicht-intaktes VKB auf.

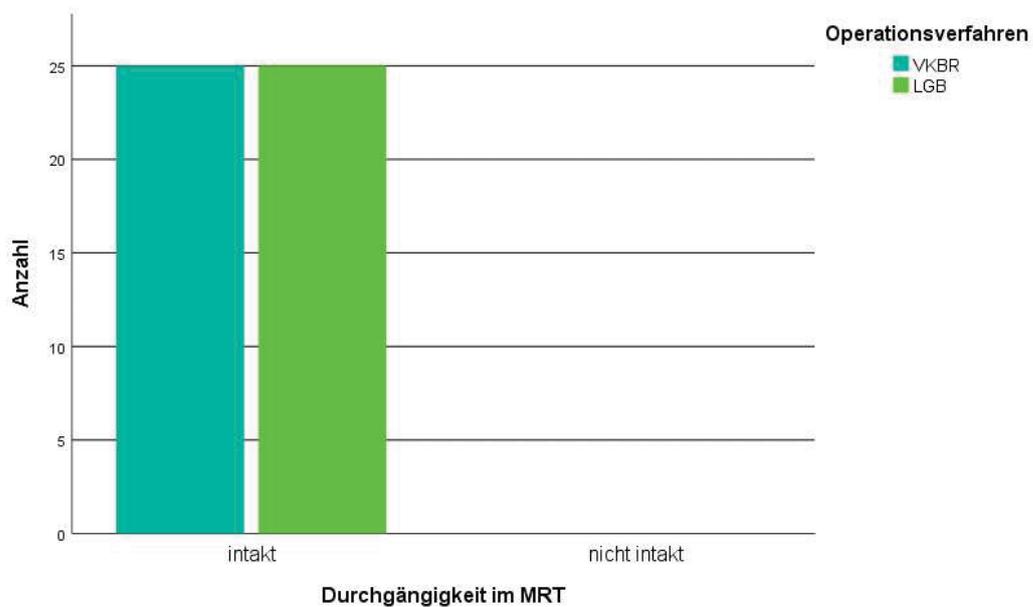


Abb. 26: Durchgängigkeit des VKB im MRT.

Eine Übersicht über die Intensität des Ligamentes ist in Abb. 27 dargestellt. In der VKBR Gruppe wiesen elf Patienten (44%) ein hypointenses VKB auf, das VKB von weiteren zehn Patienten (40%) stellte sich in dieser Gruppe isointens und bei vier Patienten (16%) hyperintens dar. In der LGB Gruppe stellte sich das VKB bei jeweils elf Patienten (44%) hypointens und isointens dar und bei drei Patienten (12%) hyperintens. Auch hier konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Operationsverfahren festgestellt werden ($p=1.00$ Fisher).

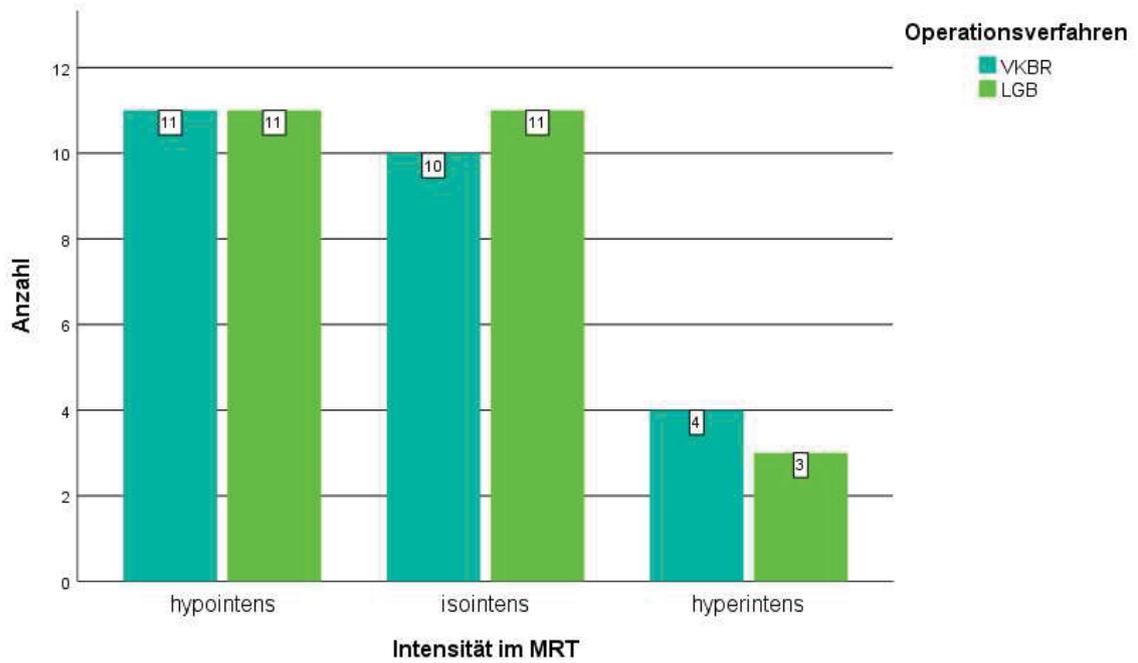


Abb. 27: Intensität des VKB in der MRT. Die Signalintensität in der MRT wurde in drei Untergruppen eingeteilt.

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Hinblick auf die stetige Entwicklung in der Therapie der VKB Ruptur soll in dieser Arbeit eine neuartige kreuzbänderhaltende Operationstechnik zur Versorgung femoraler Rupturen vorgestellt und mit der VKBR, dem aktuellen Goldstandard, sowie bereits publizierten Operationstechniken aus dem Bereich der VKB Reparatur verglichen werden.

In der Klinik am Ring in Köln wird das Ligabrace Verfahren nach Dr. med. Vonhoegen seit 2017 bei akuten, femoralen VKB Rupturen durchgeführt. Es wurden 25 Patienten, die eine Ligabrace Operation erhalten haben, zwölf Monate postoperativ nachuntersucht und mit einer Kontrollgruppe (VKBR) im Hinblick auf das subjektive und objektive klinische Outcome verglichen. Zur Erfassung der subjektiven Parameter wurden die standardisierten Kniescores IKDC, Lysholm und Tegner erhoben. Die Stabilität wurde mittels Aircast Rolimeter im Vergleich zur Gegenseite erfasst. Weiterhin erfolgte eine radiologische Kontrolle mittels MRT zur Beurteilung der Einheilung des VKB.

In unseren Untersuchungen erreichten die Patienten der VKBR Kohorte einen mittleren IKDC Score von 84.23, 21 Patienten konnten dem IKDC Grad A und vier Patienten dem IKDC Grad B zugeordnet werden. Alle Patienten wiesen demnach eine normale bis fast normale Kniefunktion auf. Die durchschnittlich angegebenen Lysholm und Tegner Scorewerte betragen 87.8 und 5.84. Weiterhin fanden 64% der Patienten zum prätraumatischen Leistungslevel zurück. In der postoperativen MRT Untersuchung fanden wir bei allen Patienten ein intaktes Kreuzband. Nebenbefundlich sahen wir bei zwei Patienten das sogenannte Zyklupssyndrom. In der Klassifizierung der Intensität der Plastik sahen wir in 84% ein hypo- oder isointenses und in 16% der Fälle ein hyperintenses Ligament im Vergleich zum HKB und der Hamstringmuskulatur. Alle Patienten wiesen objektiv in der Stabilitätsmessung mit einer durchschnittlichen Seitendifferenz von weniger als zwei Millimetern ein stabiles Kniegelenk auf.

In der LGB Gruppe wurden ähnliche Ergebnisse erzielt. Hier erreichten die Patienten einen durchschnittlichen IKDC Score von 87.08, 24 Patienten konnten dem IKDC Grad A, ein Patient dem Grad B zugeordnet werden. Anhand des IKDC Gratings konnte demnach gezeigt werden, dass auch hier alle Patienten eine normale bis fast normale Kniefunktion aufwiesen. Zudem erreichten die Patienten der LGB Kohorte einen mittleren Lysholm Score

von 90.32 und über 76% der Patienten fanden ein Jahr postoperativ bereits zum ursprünglichen Aktivitätslevel zurück. Weiterhin wiesen alle Patienten in der radiologischen Kontrolle zwölf Monate postoperativ ein intaktes VKB auf. In der MRT Untersuchung sahen wir außerdem, dass sich 88% der Ligamente hypointens oder isointens und 12% hyperintens im Vergleich zum HKB und der Hamstringmuskulatur darstellten. In der Stabilitätsmessung zeigten alle 25 Patienten eine Seitendifferenz von weniger als zwei Millimeter und besaßen somit ein objektiv stabiles Kniegelenk.

Die zu Beginn aufgestellte Nullhypothese konnte anhand der Ergebnisse nicht verworfen werden, und muss demnach angenommen werden. Somit weisen die untersuchten Operationsmethoden hinsichtlich subjektiver und objektiver Kriterien in Form von PRO, Stabilitätsmessung und radiologischer Heilung keine Unterschiede auf. Die LGB-Technik nach Dr. med. Vonhoegen stellt in unseren Untersuchungen bei akuter, proximaler VKB Ruptur und korrekter Indikationsstellung ein gleichwertiges Operationsverfahren zum aktuellen Goldstandard dar.

4.2 Vergleichbarkeit der Patientenkollektive

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs lag in den zu vergleichenden Gruppen bei 30.96 Jahren (VKB) und 29.52 Jahren (LGB) und liegt somit in der Altersspanne, die den Häufigkeitsgipfel der Inzidenz für eine VKB Ruptur bildet. Diese variiert in der Literatur zwischen 15 und 39 Jahren (Teske et al., 2010, Granan et al., 2008). In der Aufteilung der Geschlechter ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Rein deskriptiv waren mit 30 Frauen (60%) und 20 Männern (40%) mehr Frauen in den Gruppen vertreten. Somit spiegelt die Studienpopulation die in der Literatur beschriebene höhere Inzidenz einer VKB Ruptur bei sportlichen Frauen wider (Teske et al., 2010). Die prätraumatischen Tegner Aktivitätsscores von durchschnittlich 6.37 ± 1.75 bei den Frauen und 6.85 ± 1.27 bei den Männern zeigen, dass das untersuchte Kollektiv insgesamt ein hohes freizeitsportliches Aktivitätsniveau aufwies. Bezogen auf die von Briggs und Kollegen untersuchte Studienpopulation mit einem durchschnittlichen Alter von 41 Jahren mit normaler, nicht vorbelasteter Kniefunktion mit einem durchschnittlichen Aktivitätslevel von Männern ($=6.0$) und Frauen ($=5.4$) liegt die Studienpopulation somit knapp über diesem Durchschnitt. Der Tegner Score korrelierte in Briggs Untersuchungen allerdings negativ mit dem Alter. Der durchschnittliche Tegner Aktivitätsscore der jüngsten Gruppe der Untersuchungen von Briggs und Kollegen, die eine Altersspanne von 18-30 Jahren aufwies und somit das durchschnittliche Alter der hier untersuchten Kohorte repräsentiert, betrug

6.5 (Briggs et al., 2009). Das durchschnittliche Aktivitätslevel der hier untersuchten Studienpopulation scheint dem allgemeinen Durchschnitt in anderen Untersuchungen zu entsprechen. Im Hinblick auf die Basisdaten wie Alter, Geschlecht, Aktivitätsniveau und Nachuntersuchungszeitpunkt konnte eine Homogenität der Kohorten bewiesen werden, da sich in der statistischen Auswertung keine signifikanten Unterschiede ergaben (Tabelle 2).

	VKBR	LGB	Signifikanz
Alter	30.96	29.52	p=.662
Geschlecht			p=.564
Männlich	11	9	
Weiblich	14	16	
Nachuntersuchungszeitraum (Monate)	11.96	12.32	p=.753
Tegner Aktivitätsscore	6.60	6.52	p=.810

Tabelle 2: Patientenkollektiv. Überblick über die Patientenkollektive bezüglich Alter, Geschlecht, Nachuntersuchungszeitraum und durchschnittliche Aktivität gemessen am Tegner Score.

4.3 Diskussion der Methoden

Die klinische Untersuchung nimmt im Bereich der orthopädischen Diagnostik einen großen Stellenwert ein. Es ist allgemein bekannt, dass die durchgeführten Untersuchungen teilweise sehr subjektiv und untersucherabhängig sein können. Dies liegt insbesondere an den unterschiedlichen Ausbildungen und Erfahrungen die mit den Jahren durchlaufen wurden (Branch et al., 2010). Die Ergänzung der klinischen Untersuchung durch instrumentelle Messungen schafft grundsätzlich mehr Objektivität als die manuelle Prüfung, jedoch bewahrt auch diese nicht vor untersucherspezifischen Unterschieden. So zeigt beispielweise eine Untersuchung der instrumentellen Stabilitätsmessung bei VKB Rupturen einen Einfluss der dominanten Hand des Untersuchers auf die erzielten Messergebnisse (Sernert et al., 2007). Die Untersuchungen des vorliegenden Patientenkollektivs wurden ausschließlich durch Dr. med. Vonhoegen durchgeführt.

Nach aktueller S1-Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlich Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) ist bei Verdacht auf eine VKB Ruptur eine Bildgebung in Form der MRT vorgesehen. Somit bildet die MRT unumstritten einen wichtigen Baustein in der Diagnostik von VKB Verletzungen (DGU, 2018). Zudem zeigen aktuelle Studien, dass auch die postoperative MRT für die Beurteilung der Einheilung des Ligamentes an Bedeutung gewinnt (Grassi et al., 2016). Doch auch die Beurteilung der MRT Bilder unterliegt einer gewissen Subjektivität des Betrachters. Um mögliche Beeinflussungen zu verhindern, wurden die MRT Bilder ohne Kenntnis der jeweiligen Operationsmethode beurteilt.

Da in den letzten Jahren die subjektive Beurteilung der Patienten immer relevanter zur Evaluation der klinischen Ergebnisse geworden ist, wurden die validierten kniespezifischen Scores IKDC, Lysholm und Tegner verwendet (Irrgang et al., 1998). Feagin und Blake stellten 1983 bereits fest, dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Behandlungsmethoden ohne ein einheitliches Dokumentationssystem nicht möglich ist (Feagin and Blake, 1983). Durch den Zusammenschluss bedeutender internationaler Kniespezialisten gelang es 1993 ein Komitee zu gründen, welches eine einheitliches Dokumentationssystem etablierte, um eine Quantifizierung und eine Vergleichbarkeit der klinischen Ergebnisse zu ermöglichen (Hefti et al., 1993). Die Erhebung des IKDC-, des Lysholm und des Tegner Scores bot auch in Untersuchungen von Gobbi und Kollegen ein zuverlässiges Mittel zu Bewertung der Ergebnisse nach VKBR mittels verschiedener Sehnentransplantate. Ihre Ergebnisse zeigten, dass höhere Werte in den Scores positiv mit der *Return-to-sports*-Rate korrelierten und somit eine zuverlässige Aussage über das Aktivitätslevel der Patienten ermöglichte (Gobbi and Francisco, 2006). Anderson und Kollegen fanden in einer Querschnittsstudie durchschnittliche Werte des IKDC Scores für die jeweiligen Altersgruppen mit unterschiedlicher Krankheitsgeschichte am Knie heraus. Sie unterteilten das befragte Kollektiv in Personen mit und ohne Verletzungshistorie am Knie. Für die Patienten mit Verletzungshistorie veröffentlichten sie für die Altersgruppe 25-34 Jahre für Männer einen mittleren Wert von 88.9 und für Frauen einen mittleren Wert von 86.0. Die Patienten ohne Verletzungshistorie gaben mit 94.6 und 92.5 höhere Scorewerte an (Anderson et al., 2006). Im VKB und LGB Patientenkollektiv lag der durchschnittliche Wert für den IKDC zum prätraumatischen Zeitpunkt bei 99.31 und somit über den von Anderson angegebenen Durchschnittswerten in einer Population ohne Knieverletzung. Identische prätraumatische Ausgangswerte im IKDC-, sowie auch im Lysholm Score von durchschnittlich 100 Punkten gaben auch Eggli und Kollegen in ihren Untersuchungen der Ligamys-Technik an (Eggli et al., 2015). Da es sich bei der Erhebung dieser Scores um rein subjektiv empfundene Parameter handelt, wurden die Patienten gebeten die Scores eigenständig und konzentriert auszufüllen. Lediglich fehlende Angaben wurden im Nachhinein telefonisch erfragt und ergänzt. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit verschiedener Populationen, die Validität und Reliabilität wurden die Scores als dahingehend qualifiziert bewertet (Higgins et al., 2007, Wirth et al., 2011, Wirth et al., 2013).

4.4 Vorstellung aktueller Verfahren

Wie bereits beschrieben stellt die Technik der Naht des VKB seit Beginn des 19. Jahrhunderts ein kontroverses Diskussionsthema dar und konnte sich bis heute nicht als Standardbehandlung in der VKB Therapie etablieren (Taylor et al., 2009). Den Goldstandard der operativen Therapie einer VKB Läsion stellt aktuell weiterhin die VKB Rekonstruktion dar (Irarrázaval et al., 2016). Nichtsdestotrotz haben einige Studien auch Nachteile dieser operativen Methode, insbesondere auch in Hinsicht auf eine reduzierte Lebensqualität (Filbay et al., 2015), aufgezeigt. So gab es Veröffentlichungen über Revisionsraten von 3-7% (Rahr-Wagner et al., 2014, Gabler et al., 2016), Folgeverletzungen der Gegenseite in 3 bis circa 5% (Andernord et al., 2015, Maletis et al., 2015) und Unzufriedenheit auf Seiten der Patienten in 10-28% (Kocher et al., 2002, Ardern et al., 2016) der Fälle aufgrund von Schmerzen, Muskelatrophie (Lindstrom et al., 2013), Entnahmemorbidität (Li et al., 2012) oder Bewegungseinschränkungen (Biau et al., 2006). Hier lässt sich besonders die Zufriedenheit der Patienten hervorheben, da dieses maßgeblich mit dem subjektiven Befinden der Patienten nach VKBR in Bezug auf Symptome und Funktion des Knies korrelierte (Kocher et al., 2002). In den letzten Jahren zeigten Studien immer wieder, dass Patienten nach erfolgter VKBR nicht wieder zum ursprünglichen Aktivitätslevel zurückfanden. So berichteten Adern und Kollegen, dass weniger als 50% der Athleten nach VKBR zurück in den Wettkampfsport fanden (Ardern et al., 2011), besonders niedrig war die Rückkehr der Patienten in die *Pivoting*-Sportarten wie beispielsweise Fußball (Warner et al., 2011). Dabei scheint neben dem Verlust der Propriozeption (Fremerey et al., 2000) besonders die Entnahmemorbidität eine große Rolle zu spielen. Während bei Verwendung von *Hamstring*-Sehnen eher eine muskuläre Schwäche oder mediale Instabilität im Vordergrund standen (Schiller and Hoffmann, 2005, Petersen et al., 2014), klagten Patienten mit Patellarsehnentransplantat oft über Schmerzen bei knieenden Tätigkeiten (Leitgeb et al., 2014). Einen weiteren wichtigen Faktor stellt zudem die Entstehung von Osteoarthrose nach VKBR dar (Xie et al., 2015, Øiestad et al., 2009).

Über die Jahre gab es viele Veränderungen und Entwicklungen in der Technik der VKBR. Trotz Variation der Transplantate und Veränderung der Fixationstechniken haben sich die Ergebnisse bezüglich PRO und Rückkehr in den Sport bisher nicht wesentlich verändert. In Langzeitanalysen werden über Misserfolgsraten von bis zu über 11 % nach erfolgter Rekonstruktionsoperation berichtet (Crawford et al., 2013). Aufgrund der nicht zufriedenstellenden Ergebnisse fand in den letzten Jahren eine stetige Weiterentwicklung in der Therapie von VKB Rupturen statt. Da besonders die Entnahmemorbidität und der

Verlust der VKB eigenen Propriozeption im Vordergrund steht, erfuhren die Entwicklungen der VKB erhaltenden Techniken in den letzten Jahren einen erneuten Aufschwung. Grundlegend für die aktuellen Entwicklungen waren die Untersuchungen von Nguyen und Kollegen, die hervorbrachten, dass der proximale Anteil des VKB über eine erhöhte Gefäßneubildung, vermehrt Myofibroblasten und Kollagen Typ III verfügt. Damit zeigten sie, dass der proximale Anteil ein Selbstheilungspotential besitzt, welches mit dem des medialen Seitenbandes vergleichbar ist und somit nach proximaler Teil- oder Totalruptur spontan einheilen könnte, wenn der Kontakt des Ligamentes zum Knochen wieder hergestellt wird (Nguyen et al., 2014). Bereits früher konnte gezeigt werden, dass der VKB Stumpf bei unbehandelter VKB Ruptur in bis zu 72% mit dem PCL verwächst (Lo et al., 1999). Dies verbesserte zwar nicht die Stabilität im Kniegelenk, jedoch implizierte es ebenfalls, dass in der intraartikulären Umgebung biologische Prozesse stattfinden.

Wie bereits in Abschnitt 1.6 beschrieben, werden die Ergebnisse nach VKB erhaltender Therapie grundlegend durch den Lokalisationsort der Ruptur beeinflusst und sollte aus diesem Grund ausschließlich bei weit proximaler Ruptur erfolgen. Van der List und Kollegen zeigten in einer großen Kohortenstudie, dass 44% der Patienten eine proximale VKB Ruptur mit guter Restgewebequalität aufwiesen (van der List et al., 2019a). Mit diesen Zahlen untermauern sie die Relevanz der VKB erhaltenen Techniken. Aktuelle Studienergebnisse implizieren, dass eine VKB Reparatur bei sorgfältiger Patientenselektion sowohl klinisch (Achtlich et al., 2016), als auch biomechanisch gleichwertige Ergebnisse erzielen kann. Chahla und Kollegen konnten in einer kinematischen Analyse zeigen, dass die physiologische anteriore Translation der Tibia in 30° und 90° Flexion durch eine VKB Reparatur wieder hergestellt werden kann (Chahla et al., 2020). Zudem erlauben Fortschritte in der Technologie in Form von präoperativer Diagnostik mittels MRT eine gute Vorselektion der Patienten in Bezug auf die Rupturlokalisierung (Barry et al., 1996, van der List and DiFelice, 2018). Die Erkenntnisse über das Selbstheilungspotential und die Fortschritte in der Diagnostik haben ebenfalls dazu geführt, dass das Interesse an der Technik der VKB Reparatur in den letzten Jahren wieder erneut entflammt ist.

2006 beschrieben Steadman und Kollegen erstmals die *Healing Reponse*-Technik (HR), welche ganz ohne Verwendung eines Transplantates auskommt und sich allein an der natürlichen Einheilung des proximalen VKB nach Stammzellenstimulation bedient (Steadman et al., 2012). Hier werden im Bereich der femoralen Insertion des VKB sogenannte Mikrofrakturierungen (punktförmiges Eröffnen der Kortikalis) gesetzt, die den Austritt von Stammzellen und Wachstumsfaktoren bewirken und somit das VKB zur Selbstheilung anregen (Beickert, 2005). Postoperativ wurde das Kniegelenk sechs Wochen

durch eine Kniegelenksorthese in Streckstellung immobilisiert. Der Großteil der Patienten erreichte sehr zufriedenstellende Ergebnisse mit normaler Kniefunktion und Rückkehr zum ursprünglichen Aktivitätslevel (Steadman et al., 2006).

Untersuchungen bezüglich offenen Nahttechniken von Strand und Kollegen führten zu der Schlussfolgerung, dass die offenen primären Nahtverfahren nicht weiterempfohlen werden sollten, da nur in weniger als der Hälfte der untersuchten Fälle ein gutes Ergebnis erzielt werden konnte (Strand et al., 2005). Die schlechten Ergebnisse bisheriger Nahtverfahren lassen sich besonders darin begründen, dass die Indikation nicht sehr eng definiert war. Di Felice und Kollegen veröffentlichten dann 2015 die erste Studie über eine arthroskopische Nahttechnik des VKB mittels Fadenankertechnik (DiFelice et al., 2015). Sie berichteten über 11 Patienten mit akuter, proximaler Rupturlokalisation, die mittels arthroskopischer Fadenankerfixierung therapiert wurden und gute Ergebnisse im Verlauf aufwiesen. Um einen aussagekräftigen Vergleich der Ergebnisse dieser Studie anzustellen, wurden drei bereits veröffentlichte Studien aus dem Feld der VKB erhaltenen Techniken ausgewählt. Diese sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

4.4.1 Fadenankertechnik nach Achtnich und Kollegen

Achtnich und Kollegen modifizierten die von DiFelice beschriebene Ankerrefixation im femoralen Insertionsgebietes des VKB und kombinierten diese mit einer anschließenden Mikrofrakturierung. Das Endergebnis einer solchen Operation ist in Abb. 28 schematisch dargestellt. Die Indikation stellt eine akute (maximal sechs Wochen nach Verletzung), proximale VKB Ruptur dar, die präoperativ mittels MRT vorselektiert wird. Nach arthroskopischer Exploration und Bestätigung der Indikation wird nach schonendem Debridement des femoralen Ansatzes des VKB die Armierung des femoral avulsierten, jedoch sonst intakten Ligaments durchgeführt. Anschließend wird dieses nach zentral platzierter femoraler Ankerbohrung mittels Fadenanker in der femoralen Insertionszone fixiert. Zum Schluss erfolgt die Mikrofrakturierung der Insertionszone. 28 Monate postoperativ wurden 20 Patienten, die mittels Ankerrefixation therapiert wurden (Durchschnittsalter 30 ± 8.9 Jahre) mit einer Kontrollgruppe (33.6 ± 3.7 Jahre) (VKB Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik) verglichen. Die Nachuntersuchung beinhaltete die klinische Untersuchung, die IKDC Scoreerhebung, eine Stabilitätsmessung und die radiologische Kontrolle mittels MRT.

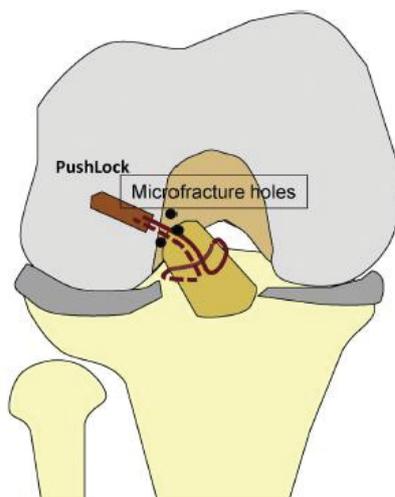


Abb. 28: Ankerrefixationstechnik nach Achtnich und Kollegen. Operationsergebnis nach Ankerrefixationstechnik nach Achtnich und Kollegen (Achtnich et al., 2016).

4.4.2 Ligamys-Verfahren

Das Ligamys-Verfahren setzt im Gegensatz zu anderen VBK erhaltenden Methoden auf eine dynamische intraligamentäre Stabilisierung (DIS) des Gelenkes. Die Entwicklung dieses Verfahrens basiert auf den Veröffentlichungen von Lubowitz und Kollegen, die zeigen konnten, dass sich die Länge des Transplantates je nach Kniestellung verändert (Lubowitz, 2014). Auf dieser Grundlage entwickelten Dr. Stefan Eggly und Dr. Sandro Kohl in Kooperation mit der Firma Mathys ein Federsystem, welches dank möglicher Längenänderung eine kontinuierliche Spannung im Kniegelenk gewährleistet. Dieses System stabilisiert das Kniegelenk übergangsweise, sodass das VKB ohne belastende Einflüsse durch Scherkräfte stabil vernarben kann. Wie auch bei der Ankerrefixationstechnik wird die Indikation zum Ligamys-Verfahren bei akuter (bis drei Wochen nach Verletzung), proximaler VKB Ruptur gestellt. Nach Anschlingung des tibialen Stumpfes wird tibial ein Federmechanismus eingebracht, um der Anisometrie des VKB gerecht zu werden. Schließlich wird das VKB an den Haltefäden gespannt und ein Ligamys-Faden femoral mit einem Endobutton-System und tibial mithilfe des Federblockes fixiert (Abb. 29). An der femoralen Insertionszone wird die Mikrofrakturierung durchgeführt. Neben der Naht des VKB erfolgt also eine vorübergehende dynamische Stabilisierung mittels Implantat, um die Einheilung des VKB zu gewährleisten (Matthys AG Bettlach, 2017). Mittlerweile sind einige Studien publiziert worden, die die Ergebnisse der Patienten, die mittels Ligamys-Technik versorgt wurden, beschreiben (Eggli et al., 2015, Henle et al., 2015). Im Fokus stehen in

dieser Arbeit die Berichte von Eggli und Kollegen über die Nachuntersuchung von zehn Patienten im Hinblick auf die klinische Stabilität, PRO und die radiologische Heilung.

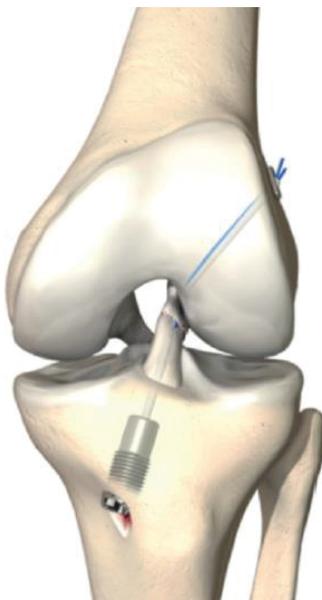


Abb. 29: Ligamys Technik. Operationsergebnis nach Ligamys-Technik nach Mathys und Kollegen (Kohl, 2013).

4.4.3 Internal Bracing

Mackay und Kollegen veröffentlichten eine Technik, die eine primär Nahttechnik mit einer inneren Schienung (*Internal Brace*) kombiniert, die zum Schutz des reparierten Ligaments dienen soll. Auch hier wurde die Indikation nur bei proximalen Rupturen, maximal drei Monate nach Trauma gestellt. Nach Anschlingen des VKB mittels Faden und Mikrofrakturierung der femoralen Insertionszone wird ein Tape eingebracht. Dieses Tape soll als Überbrückungsschutz für die frische VKB Naht dienen, um eine Einheilung der Naht zu fördern. Die femorale Fixierung erfolgt mit einem *ACL Tight Rope*, einem Kipp-Knopf-System, welches nach Durchführung durch den Bohrkanal auf der femoralen Kortikalis aufliegt und so das Zurückfallen des Transplantates verhindert. Tibial wird das Tape mit einem kleinen Anker fixiert (Abb. 30). Das *Internal Bracing*, von anderen Autoren auch *Suture Augmentation* genannt (Jonkergouw et al., 2019), fungiert demnach als innere Schienung zwischen Tibia und Femur, um die frische Naht des VKB in der frühen postoperativen Mobilisation zu entlasten und somit die sichere Einheilung zu ermöglichen (Mackay et al., 2015).



Abb. 30: Internal Bracing. Operationsergebnis nach Internal Bracing nach Gordon Mackay (The Mackay Clinic, 2017 ©mackayclinic.co.uk).

4.5 Diskussion der Ergebnisse

Die aktuelle Studie berichtet über ein Kollektiv von 25 Patienten, die eine VKB erhaltene Operation mittels LGB Technik erhalten haben und anschließend mit den Ergebnissen einer VKBR Kontrollgruppe verglichen wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass die LGB Technik und die VKBR Technik bei streng ausgewähltem Patientenkollektiv im klinischen Outcome, sowie in der radiologischen Auswertung mindestens gleichwertige Therapieoptionen darstellen. Einen grundlegenden Unterschied zu Berichten über VKB Reparaturtechniken in der Vergangenheit stellt hier besonders die strenge Indikationsstellung dar. In früheren Berichten zeigten sich schlechte Langzeitergebnisse (Feagin JR and Curl, 1976). Dies lässt sich besonders darin begründen, dass alle Patienten, unabhängig von der Lokalisation der Ruptur, gleichbehandelt wurden. Angelehnt an die wichtigen Erkenntnisse von Sherman und Kollegen, dass der Erfolg der VKB erhaltenden Therapie maßgeblich mit der Rupturlokalisierung in Zusammenhang steht, stellten wir die Indikation zur LGB Therapie lediglich bei vorselektierten und intraoperativ bestätigten proximal avulsierten VKB Rupturen. Wie auch bereits Achtnich und Kollegen es in ihren Untersuchungen beschrieben (Achtnich et al., 2016), stellt ein Vorteil des LGB Verfahrens die Kombination mehrerer bereits bekannter Therapieverfahren dar. Auf der einen Seite steht die in Abschnitt 4.4 beschriebene *Healing Response-Technik*, die sich das Verfahren der natürlichen Einheilung durch Stammzellproliferation zu eigen macht (Steadman et al., 2006). Des Weiteren wird die Technik der VKB Refixation angewandt, die sich auch in der Ankerrefixations- sowie in der *Ligamys*-Technik wiederfindet. Entgegen dieser beiden

Techniken, wird hier zusätzlich das Verfahren des *Internal Bracings* angewandt, um einen zusätzlichen Schutz der frischen Naht und Stabilität durch ein eingelegtes Tape herzustellen. Ein potenzieller Vorteil der LGB Technik könnte demnach eine Kombination mehrerer bereits beschriebener Operationstechniken sein, die alle samt das Ziel verfolgen den nativen anatomischen Ursprungszustand des VKB möglichst wiederherzustellen.

4.5.1 Patient Reported Outcome

In unseren Untersuchungen wurden zum Vergleich der Ergebnisse die in der Literatur gängigsten Scores zur subjektiven Beurteilung ausgewählt, um einen Rückschluss auf das subjektive Empfinden der Patienten schließen zu können und so die jeweiligen Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Die für unsere Untersuchungen besonders relevanten Ergebnisse stellen die postoperativen Werte der erhobenen kniespezifischen Scores dar. Zwölf Monate nach erfolgter Operation gab das Patientenkollektiv der VKBR Gruppe einen durchschnittlichen IKDC Score von 84.23, einen Lysholm Score von 87.8 und einen Tegner Score von 5.84 an. In der LGB Gruppe ermittelten wir einen IKDC Score von 87.08, einen Lysholm Score von 90.32 und einen Tegner Score von 6.24. Bezogen auf die von Anderson und Kollegen veröffentlichten Referenzwerte des IKDC Scores kann hier beobachtet werden, dass die mittleren IKDC Werte der VKBR Gruppe unter dem ermittelten Durchschnitt, die der LGB Kohorte mit 87.09 noch innerhalb der Durchschnittswerte von 86 bei Frauen und 88.9 bei Männern liegen. Hier muss berücksichtigt werden, dass die Knieverletzungshistorie in Andersons Veröffentlichung nicht weiter definiert ist, und somit auch andere Knieverletzungen inkludieren konnte. Zudem handelte es sich um geschlechterspezifische Werte. Berücksichtigt man dies im Vergleich unserer Mittelwerte, fällt auf, dass der Mittelwert im IKDC Score in der LGB Gruppe trotz höherem Frauenanteil höher als in der VKBR Gruppe ist. Dies spricht für eine leicht bessere Tendenz des subjektiven Befindens in der LGB Kohorte. Es lässt sich induktiv kein signifikanter Unterschied zwischen der VKBR und der LGB Gruppe feststellen, jedoch zeigt sich rein deskriptiv insgesamt ein leichter Vorteil in der LGB Gruppe. Dieses Patientenkollektiv gab bei fast identischen Ausgangswerten einen um 2.85 Scorepunkte höheren postoperativen IKDC Wert an und erreichten durchschnittlich 2.62 Punkte mehr im Lysholm Score als die Patienten der VKBR Gruppe. Insgesamt scheinen die Patienten dieser Kohorte ihre Kniefunktion zwölf Monate postoperativ bei gleicher Ausgangssituation ein wenig besser zu bewerten als die Patienten der VKBR Gruppe.

Die erzielten Mittelwerte gleichen sich auch mit denen der Scoreerhebungen aus anderen Veröffentlichungen. Gobbi und Kollegen berichteten 24 Monate postoperativ nach erfolgter

VKBR mittels *Hamstring*- oder Patellasehne von einem durchschnittlichen IKDC Score von 85 Punkten (Gobbi and Francisco, 2006). Hier ist zu berücksichtigen, dass es sich um einen postoperativen Zeitraum von 24 Monaten handelte. In anderen Publikationen ermittelte man einen mittleren Wert von 79.5 Punkten fünf Jahre nach erfolgter Rekonstruktionsoperation (Lee et al., 2008). Nach VKBR steht besonders die Entnahmemorbidity im Vordergrund. In einer Metaanalyse zeigte sich, dass durchschnittlich zwei Jahre postoperativ lediglich 33-41% der Patienten nach *Hamstring*- oder Patellarsehnenplastik eine normale Kniefunktion im IKDC Score erreichten (Biau et al., 2007). 13-22% der Patienten klagten über Knieschmerzen, welche hauptsächlich mit einer Entnahmemorbidity assoziiert waren. Insgesamt beklagten die Patienten, die ein *Hamstring*-Transplantat erhalten haben, weniger Knieschmerzen und Extensionsdefizite als Patienten mit Patellarsehnentransplantat (Biau et al., 2006). Bei der Verwendung von Patellarsehnentransplantaten stand besonders das Defizit bei knieenden Tätigkeiten im Vordergrund (Pinczewski et al., 2007). Weitere Untersuchungen zeigten, dass ein Kraftverlust und ein Verlust des Bewegungsausmaßes bei der Verwendung jeglicher Transplantate mit Schmerzen im vorderen Knie korrelierten (Kartus et al., 2001). Die Bewegungseinschränkung und schlechtere klinischen Ergebnisse wurden oft infolge des sogenannten Zykloppsyndroms beobachtet (Balcarek et al., 2008). Hier bildet sich postoperativ überschüssiges Gewebe vor der VKB Plastik, welches zu einem Streckdefizit führen kann und nur durch erneute Operation therapiert werden kann (Jackson and Schaefer, 1990). Bei zwei der Patienten aus der VKBR Kohorte konnte dieses nebenbefundlich MRT-radiologisch bestätigt werden. Dies könnte eine Erklärung für das leicht bessere Outcome der Scorewerte der Patienten der LGB Gruppe sein. In dieser Gruppe konnte keinerlei Anhalt für das Vorkommen eines Zykloppsyndroms festgestellt werden. Dieser Aspekt müsste in Zukunft genauer beleuchtet werden und konnte in unseren Untersuchungen nur nebenbefundlich beobachtet werden.

Die Tatsache, dass sich die Symptome im rekonstruierten Knie verringerten, wenn das Transplantat der kontralateralen Seite entnommen wurde, unterstreicht die Folgen der Sehnenentnahme und der damit verbundenen Entnahmemorbidity (Mastrokalos et al., 2005). Ein Vorteil der VKB Reparaturtechniken stellt dementsprechend das fehlende Auftreten der beschriebenen Entnahme assoziierten Beschwerden dar. Bei näherer Betrachtung der in den Scores erhobenen einzelnen Kategorien fällt jedoch auf, dass auch Patienten aus der LGB Kohorte Probleme beim Knien und Hocken beklagten. Dies verdeutlicht, dass die Defizite in diesen Bereichen nicht ausschließlich durch Entnahmemorbidity zu erklären sind. Dies wurde bereits in der Vergangenheit bestätigt, da

sich die Knieschmerzen bei Verwendung eines Transplantates der kontrolateralen Seite zwar verringerten, jedoch nicht komplett verschwanden (Mastrokalos et al., 2005).

In der Vergangenheit veröffentlichte Ergebnisse anderer VKB Reparaturtechniken zeigten hinsichtlich der PRO ebenfalls vielversprechende Ergebnisse. So berichteten Eggli und Kollegen über einen durchschnittlichen IKDC Score von 97.8, einen Lysholm Score von 99.8 und einen mittleren Tegner Score von 6 zwölf Monate nach VKB erhaltender Operation in Ligamys-Technik. Auch sie bestimmten die prätraumatischen Scores und gaben einen durchschnittlichen Lysholm und IKDC Score von 100 an. Wie auch in unseren Untersuchungen zeigte sich hier, dass die Patienten die prätraumatischen Scorewerte nach 12 Monaten noch nicht wieder erreicht hatten. Hinsichtlich Durchschnittsalter (25.4 Jahre) und ursprünglichem Aktivitätslevel lässt sich unser Studienkollektiv gut mit dem von Eggli und Kollegen vergleichen (Eggli et al., 2015). Weitere Untersuchungen von Schliemann und Kollegen über die Ligamys-Technik berichten über einen mittleren IKDC Score von 85.7 und einen Lysholm Score von 89.8 zwölf Monate nach erfolgter Operation (Schliemann et al., 2018). Diese Scoreergebnisse liegen mit den von uns ermittelten Scorewerten sehr nah beieinander. Zudem bewiesen sie, dass Patienten der Ligamys Kohorte signifikant schneller an den Arbeitsplatz und zum vorher ausgeführten Sport zurückfanden (Schliemann et al., 2016). Auch dies deckt sich mit unseren Ergebnissen, da 76% der Patienten der LGB Gruppe, 10% mehr als in der VKBR Kohorte, bereits ein Jahr nach LGB Operation zum alten Aktivitätslevel zurückfanden. Statistisch signifikant war der Unterschied zwischen den untersuchten Gruppen hingegen der Untersuchungen von Schliemann allerdings nicht. Ein Vorteil seitens der LGB Kohorte ist lediglich rein deskriptiv vorhanden. Hoogeslag und Kollegen verglichen 2019 das PRO von 48 Patienten mittels IKDC Score, die in Ligamys-Technik oder mit VKBR therapiert wurden. Auch sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Reparaturverfahren der Rekonstruktion hinsichtlich des PRO nicht unterlegen, sondern gleichwertig ist (Hoogeslag et al., 2019). Jonkergouw und Kollegen publizierten einen Vergleich zwischen einer Gruppe mit primärer Naht mittels Fadenankertechnik und einer Gruppe mit zusätzlichem *Internal Bracing*. Hier zeigten sich in der Gesamtkohorte mit einem durchschnittlicher IKDC Score von 90, einem mittleren Lysholm Score von 94.2 und einem Tegner Score von 6.2 insgesamt sehr vielversprechende Ergebnisse im subjektiven, sowie klinischem Outcome nach VKB Reparatur in arthroskopischer Technik. Die Tatsache, dass die Scoreerhebung 3.2 Jahre postoperativ stattfand ist eine mögliche Erklärung für die durchschnittlich höheren Scorewerte in den Untersuchungen von Jonkergouw, da die Patienten im Heilungsverlauf somit weiter fortgeschritten waren (Jonkergouw et al., 2019).

In anderen Publikationen führte man die erste Scoreerhebung präoperativ und somit nach erfolgter Verletzung durch. Man verglich die postoperativen Werte demnach nicht mit der prätraumatischen Funktionsfähigkeit, sondern mit dem posttraumatischen Zustand. Dies erklärt die niedrigen Scorewerte bei Ersterhebung und die extreme Verbesserung der Werte im Zeitverlauf, wie sie beispielsweise von Meister und Kollegen beschrieben werden (Lysholm Score präoperativ= 28, postoperativ= 94) (Meister et al., 2018). In unseren Untersuchungen hingegen wurden die postoperativen Werte mit dem prätraumatischen Zustand verglichen, so wie es auch in anderen Veröffentlichungen zu finden ist (Eggl et al., 2015, Henle et al., 2015). In anderen Untersuchungen wurde der Score hingegen nur zum postoperativen Zeitpunkt bestimmt und lässt demnach keinen Vergleich zum prä- oder posttraumatischen Zustand zu (Schliemann et al., 2016, DiFelice and van der List, 2018). Die von uns durchgeführte posttraumatische Scorerhebung erklärt die in Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2 abgebildeten Grafiken (Abb. 13 und Abb. 18) erkennbare negative Entwicklung der Scoreergebnisse im Zeitverlauf.

Insgesamt lassen sich in unseren Untersuchungen anhand der Ergebnisse des PRO, welches mittels IKDC-, Lysholm-, und Tegner Scores erfasst wurde, keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Kollektiven feststellen und sind somit als gleichwertig anzusehen. Zudem zeigen die in unseren Untersuchungen erzielten Scoreergebnisse eine Übereinstimmung mit den in der Literatur beschriebenen Werten ähnlicher Untersuchungen.

4.5.2 Klinische Untersuchung und Stabilitätsmessung

Zur Bewertung des klinischen Outcomes wurde eine Stabilitätsmessung mittels Aircast Rolimeter und die Einteilung in IKDC Grade vorgenommen. Im Mittel wiesen die Patienten der VKBR Kohorte in der anterior tibialen Translation eine Seitendifferenz von 0.64 mm und die Patienten der LGB Kohorte von 0.56 mm auf. Die Bestimmung der anterior tibialen Translation wurde auch in anderen Studien mittels Aircast Rolimeter durchgeführt (Eggl et al., 2015, Henle et al., 2015). In anderen Publikationen hingegen wurde das KT-1000 Arthrometer verwendet, um die Stabilität des Kniegelenkes zu objektivieren (Achnich et al., 2016, DiFelice et al., 2015). Vorherige Untersuchungen belegten, dass sich beide Geräte zuverlässig zur Bestimmung der Gelenkinstabilität eignen (Hatcher et al., 2005).

In den Untersuchungen von Eggl und Kollegen ergab die Messung der anterioren Translation nach Ligamys Operation zwölf Monate postoperativ eine durchschnittliche Seitendifferenz von 1.2 mm. Anhand der Kombination einer dynamischen internen Stabilisierung mit einer Verbesserung der Heilungsvoraussetzungen postulierten sie eine

hohe biomechanische Stabilität des Kniegelenkes und eine hohe Patientenzufriedenheit (Eggl et al., 2015). Die dynamische Längenänderung durch das einliegende Federsystem soll eine Einwirkung von Zug- und Schärkräften auf die Kreuzbandstümpfe vermindern und somit die Einheilung fördern (Schliemann et al., 2016). Die hohe Gelenkstabilität durch das Federblocksyste wurde anschließend in Kadaverstudien anhand der Bestimmung der anteroposterioren Translation bestätigt (Haberli et al., 2016). Achtnich und Kollegen bestimmten in ihren Untersuchungen zum Ankerrefixationsverfahren eine mittlere Seitendifferenz von 1.95 mm 28 Monate nach Operation (Achtnich et al., 2016).

Im Vergleich dazu zeigten die Patienten in unseren Untersuchungen eine geringere mittlere Seitendifferenz auf. Ein grundlegender Unterschied der LGB Technik zu der von Achtnich beschriebenen Ankerrefixationstechnik stellt die zusätzliche Durchführung eines *Internal Bracings* dar. Dieses stellt eine alternative Methode zur inneren Schienung dar, welche im Unterschied zur *Ligamys*-Technik einer zusätzlichen Stabilisierung ohne dynamische Komponente dient. Bereits Murray und Kollegen beschrieben in ihren Untersuchungen die zusätzliche biomechanische Stärkung des reparierten VKB bei Hinzunahme einer inneren Schienung (Murray et al., 2010). In einer Kadaverstudie zeigten sich 16 Wochen nach VKB Naht kombiniert mit einer Augmentation überlegene biomechanische Ergebnisse bezüglich der anterioposterioren Laxität und Zugfestigkeit (Seitz et al., 2013). Einen weiteren Vorteil der inneren Schienung stellt der initiale Schutz der frischen VKB Naht dar, der ein sicheres Einheilen in der ersten Phase ermöglichen soll (Murray et al., 2010). Hier konnten histologische Untersuchungen von Seitz und Kollegen zeigen, dass die histologische Einheilung in der augmentierten Gruppe bereits zehn Wochen früher erfolgte als in einer Gruppe ohne zusätzliche Augmentation (Seitz et al., 2008).

Des Weiteren wurde eine Einteilung in den IKDC Grad A-D vorgenommen. Posttraumatisch konnten aus der VKBR Gruppe 15 Patienten der Kategorie C und 10 Patienten der Kategorie D zugeordnet werden. In der LGB Kohorte waren es 16 Patienten, die in Grad C und 9 Patienten, die in Grad D gruppiert wurden. Zwölf Monate postoperativ konnten 21 Patienten der VKBR Gruppe und 24 Patienten der LGB Gruppe dem IKDC Gruppengrad A zugeordnet werden. Vier Patienten der VKBR Gruppe und ein Patient der LGB Gruppe erhielten Gruppengrad B. In der klinischen Untersuchung wiesen demnach alle Patienten im Gegensatz zum präoperativen Zustand eine normal bis fast normale Kniefunktion auf. Kürzlich veröffentlichte Studien über VKB erhaltende Operationen zeigten ähnliche Ergebnisse. DiFelice und Kollegen behandelten elf Patienten mittels arthroskopischer Fadenankerrefixation und konnten zwei Jahre nach Operation neun Patienten dem Gruppengrad A, und jeweils einen Patienten den Graden B und C zuordnen. Sie kamen zu

dem Schluss, dass ein sorgfältig ausgewähltes Patientenkollektiv von der minimalinvasiven Refixationstechnik profitieren kann (DiFelice et al., 2015). Achtnich und Kollegen modifizierten diese Technik, indem sie das Nahtmaterial minimierten, um Schäden am VKB Stumpf zu verhindern. Sie bestimmten ebenfalls den prä- und postoperativen IKDC Grad. 13 Patienten erzielten sehr gute Ergebnisse im IKDC Score (Gruppe A), 4 Patienten gute Ergebnisse (Gruppe B) und 3 Patienten mäßige Ergebnisse (Gruppe C). Auch sie kamen zu dem Ergebnis, dass es zwischen der VKB Reparatur und der Kontrollgruppe (VKBR) hinsichtlich der klinischen Parameter keine signifikanten Unterschiede gab. Dementsprechend zogen auch sie daraus die Bilanz, dass die Refixation bei sorgfältig ausgewählter Indikationsstellung eine gleichwertige Operationsmethode zum aktuellen Goldstandard darstellen kann. Als Vorteile der entwickelten Technik führten sie die Reduktion der Morbidität nach Sehnenentnahme, das reduzierte Fremdmaterial, eine schonende Refixation ohne Beeinträchtigung der Fugen und eine einfachere Revision bei Rezidiv auf (Achtnich et al., 2016).

Einen weiteren Unterschied zu anderen Nahtverfahren stellt die Fixationstechnik beim LGB Verfahren da. Dieses Verfahren kommt ganz ohne intraossäre Implantate aus und somit kann auf das Anlegen großer Bohrkanäle verzichtet werden. Durch das Verzichten auf große Bohrkanäle und intraossäre Implantate kann hier möglichst nah an den nativen anatomischen Verhältnissen festgehalten werden, was sich auch im Falle einer Revisionsoperation als großer Vorteil erweist. Obwohl Untersuchungen der DIS mittels Federmonoblock vergleichbare kinematische Verhältnisse eines gesunden VKB erschaffen können (Schliemann et al., 2017), muss die hohe Reoperationsquote mit Entfernung der einliegenden Implantate hier berücksichtigt werden (Meister et al., 2018).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ligabrace Verfahren bezüglich der klinischen erhobenen Parameter besonders in Hinblick auf die Stabilität eine gleichwertige Alternative zu der VKBR Gruppe und zu anderen bisher bekannten Refixationstechniken darstellt.

4.5.3 Radiologische Einheilung

Im Schnitt zwölf Monate postoperativ wurde eine radiologische Verlaufskontrolle in Form einer MRT Untersuchung durchgeführt. Alle 25 Patienten der LGB-, sowie der VKBR Gruppe wiesen ein intaktes VKB in der durchgeführten Bildgebung auf. Insgesamt ergab sich daraus eine Re-Rupturrate von 0% im ersten postoperativen Jahr innerhalb der gesamten Studienpopulation.

In aktuellen Untersuchungen bezüglich der VKBR sind unterschiedliche Angaben zu Re-Rupturraten innerhalb verschiedener Zeiträume zu finden. So berichteten Crawford und Kollegen in einer Metaanalyse der 10-Jahres Rupturraten über eine durchschnittliche Re-Rupturrate von über 6% nach VKBR. Weitere 10% bezeichneten sie als „*clinical failure*“, bei schlechtem klinischem Outcome beispielsweise gemessen am IKDC Grad C und D. Einer von neun Patienten erlitt innerhalb von zehn Jahren demnach eine erneute Ruptur des VKB oder erreichte ein unbefriedigendes klinisches Ergebnis (Crawford et al., 2013). Besonders hohe Re-Rupturraten scheint es allerdings in den ersten Jahren nach erfolgter VKBR zu geben. 2-Jahres Untersuchungen berichten über ein Transplantatversagen in 10,7% der Fälle nach VKBR (Barrett et al., 2010). Besonders junge Männer (<18 Jahre) scheinen von erneuten Rupturen betroffen zu sein. Hier werden über Rupturraten von über 28% berichtet, wovon 50% bereits im ersten Jahr nach erfolgter Operation auftraten (Webster and Feller, 2016).

Die hohen Ruptur und Misserfolgsrate aus früheren Studien zu VKB erhaltenden Techniken, wie beispielsweise aus der häufig zitierten Untersuchung von Feagin und Curl (Feagin JR and Curl, 1976), lässt sich durch die breite Indikationsstellung und die fehlende Berücksichtigung der Rupturlokalisierung begründen (Sherman et al., 1991). Neuere Studien über die VKB erhaltenden Techniken, die eine strenge Indikationsstellung berücksichtigen, berichten über ähnliche Re-Rupturraten wie Untersuchungen zur VKBR. Die in Abschnitt 4.4 beschriebene *HR*-Technik berichtet über Therapieversager von bis zu 15%, die nach *HR*-Behandlung anschließend eine VKBR benötigten (Jorjani et al., 2013). Einen relevanten Kritikpunkt stellt hier die Bildung einer insuffizienten Narbe mit einer erhöhten Rupturgefahr dar, da neben den guten klinischen Ergebnissen keine histologischen Beweise für die suffiziente Einheilung des VKB existieren. Andere Untersuchungen zu diesem Verfahren geben sogar Misserfolgsraten von 23% bis 36% an (Steadman et al., 2012, Wasmaier et al., 2013). Achtnich und Kollegen berichten in ihrer Publikation der Fadenankertechnik über eine Re-Rupturrate von 15 % in der Reparaturgruppe. Hier ergab sich bezüglich Re-Rupturrate ein Vorteil auf Seiten der VKBR Gruppe, in der keine Re-Rupturen berichtet wurden (Achtnich et al., 2016). In den Untersuchungen von Eggli und Kollegen bezüglich der *Ligamys*-Technik erlitt einer der zehn Patienten fünf Monate postoperativ eine Re-Ruptur. Daraus ergab sich eine Re-Rupturrate von 10% (Eggli et al., 2015). MacKay und Kollegen berichteten in ihren Veröffentlichungen zum *Internal Bracing* über eine Re-Rupturrate von 1.5%. Hier erlitt lediglich ein Patient eine erneute Ruptur bei der Rückkehr zum Sport 18 Monate nach erfolgter Operation (MacKay et al., 2015). Einen Grund für die niedrige Therapieversagerquote im ersten postoperativen Jahr könnte hier der zusätzliche Schutz durch die innere Schienung mittels *Internal Bracings* sein. Wie anhand der bereits

beschriebenen Untersuchungen von Seitz und Kollegen bietet dieser zusätzliche Schutz zu Beginn gute Voraussetzungen für die frische Naht des VKB zu heilen und könnte somit die Erklärung für die niedrige Re-Rupturrate in der ersten Phase nach der Operation darstellen (Seitz et al., 2008). Auch wenn sich in anderen aktuellen Untersuchungen keine statistisch oder klinisch relevanten Vorteile des zusätzlichen *Internal Bracings* ergaben, wird der potenzielle Vorteil dennoch diskutiert und muss nach der Meinung von Jonkergouw und Kollegen weiter untersucht werden (Jonkergouw et al., 2019). Die von uns festgestellte Versagerquote von 0% könnte ebenfalls ein Hinweis auf einen Vorteil des zusätzlichen *Internal Bracings* sein.

Bezüglich der Revisionsoperationen kamen Achtnich und Kollegen zu dem Schluss, dass hier ein klarer Vorteil auf der Seite der VKB erhaltenen Techniken liegt (Achtnich et al., 2017). Auch DiFelice und Kollegen sahen den Vorteil, dass eine Re-Operation bei Ruptur einer VKB Naht einer primären VKBR entsprechen würde, da bei erfolgter Reparatur keine „*Brücken abgebrannt wurden*“ (DiFelice et al., 2015). Untersuchungen zum klinischen Outcome von Patienten sekundärer VKBR unterstreichen diesen Vorteil. Hier sieht man signifikant schlechtere Ergebnisse im IKDC Score nach VKB Revisionsoperation nach bereits erfolgter VKBR als nach Primärsatz (Wright et al., 2011). Neben dem schlechteren klinischen Outcome gestaltet sich wie bereits angedeutet, auch die Durchführung der Revisionsoperation deutlich aufwändiger und zeitintensiver. Zur Operationsplanung der Revisionsoperation nach VKB Plastik kann zur Beurteilung der Bohrkanäle eine präoperative CT-Untersuchung erforderlich sein. Gegebenfalls kann vor erneuter Rekonstruktion eine Auffüllung der Bohrkanäle mittels Knochensubstanz (Spongiosa) notwendig werden. Erst nach Durchführung der Spongiosaplastik kann dann nach einer circa dreimonatigen Wartezeit in einer zweiten Operation das VKB, meist unter Verwendung der kontralateralen Sehne, rekonstruiert werden, wie in einem aktuellen Medizinreport aus dem Ärzteblatt erläutert wird (Rauch et al., 2019). Erhält man hingegen in der ersten Operation die nativen anatomischen Verhältnisse des VKB, so kann bei erneuter Ruptur die Sehne der ipsilateralen Seite entnommen werden. Eine zusätzliche Schwächung der kontralateralen Seite und eine aufwändige Auffüllung der Bohrkanäle kann somit vermieden werden.

Ein weiterer bereits in Abschnitt 4.5.2 genannter Vorteil der LGB Technik, ist die Fixierung des Tapes und der Naht ohne intraossäre Implantate. In der Vergangenheit durchgeführte Untersuchungen zeigten, dass intraossäres Fremdmaterial in Form einer Schraube oder eines Ankers zu einer Erweiterung des Bohrkanales führen kann (Aga et al., 2017, Wilson et al., 2004). Buelow und Kollegen fanden heraus, dass die Fixierung mittels Schraube

unmittelbar postoperativ zu einer Aufweitung des Bohrkanals von rund 75% führen kann. Dies korrelierte zwar nicht mit dem klinischen Outcome der Patienten (Buelow et al., 2002), jedoch macht es eine Auffüllung des Bohrkanals unabdingbar, bevor eine erneute Rekonstruktionsoperation durchgeführt werden könnte. Die Art der Fixierung mit zwei Endobuttonsystemen, die der Kortikalis von außen aufliegen, könnte ein Vorteil gegenüber anderer VKB erhaltenen Operationsverfahren sein, da hier von vorneherein das Anlegen kleinerer Bohrkanäle ausreicht. Trotz stabiler klinischer Ergebnisse auf Seiten der Ligamys Technik berichtet man über Reoperationsquoten von 24% bis zu 43% zur Entfernung des einliegenden Federsystems (Meister et al., 2018). Weitere Studien zeigen hohe Komplikationsraten in den ersten zwölf Monaten bezüglich Re-Ruptur, nicht gutes Einheilen des reparierten Ligamentes oder erforderlichen Re-Arthroskopien (Osti et al., 2019). Da die LGB Technik ganz ohne intraossäre Implantate auskommt, können hier für die Patienten keine Belastungen in Form von Reoperationen zur Entfernung von Fremdmaterial anfallen.

Neben der Beurteilung der Durchgängigkeit des VKB wurde zudem eine Klassifizierung der Intensität in der MRT vorgenommen. In der Vergangenheit bestätigten Untersuchungen, dass die MRT eine nicht invasive Möglichkeit bietet die Einheilung von Ligamenten zu quantifizieren (Weiler et al., 2001), jedoch konnte anhand der Signalintensität bisher keine Vorhersage über Korrelationen zum klinischen Outcome oder möglichen Insuffizienzen getroffen werden (Howell et al., 1991). Neue Untersuchungen im Feld der VKBR benutzen eine Klassifizierung der Intensität des MRT Signals zur Bestimmung des Reifegrads des Transplantats. Figueroa und Kollegen analysierten Semitendinosustransplantate in der MRT sechs Monate nach VKBR und konkludierten, dass ein hypointenses Signal eine fortgeschrittene Ligamentisierung der Plastik indiziert. In ihren Untersuchungen zeigte sich in 52% der Fälle ein isointenses und in 42% ein hyperintenses Signal in der MRT (Figueroa et al., 2010). Ein hyperintenses Signal in der MRT impliziert hingegen eine späte Einheilung des Transplantats mit daraus resultierender möglicher postoperativer Instabilität (Uchio et al., 2003). Van der List und Kollegen waren die ersten, die 2019 eine Klassifizierung der Intensität nach VKB erhaltender Operation durchführten. In ihrer aktuellen MRT Studie berichten sie über die in Abb. 31 dargestellten Signalintensitäten des VKB. Hier zeigten sich im ersten Jahr der Großteil der Ligamente hyperintens bezogen auf das HKB. Nach ein bis zwei Jahren postoperativ zeigte sich der größte Teil isointens und mehr als zwei Jahre nach Operation hypointens. Man konkludierte daraus, dass der Remodulationsprozess bis zu zwei Jahre anhalten und somit nach zwei Jahren einen ausgereiften Zustand (*maturation*) erreichen könnte (van der List et al., 2019b).

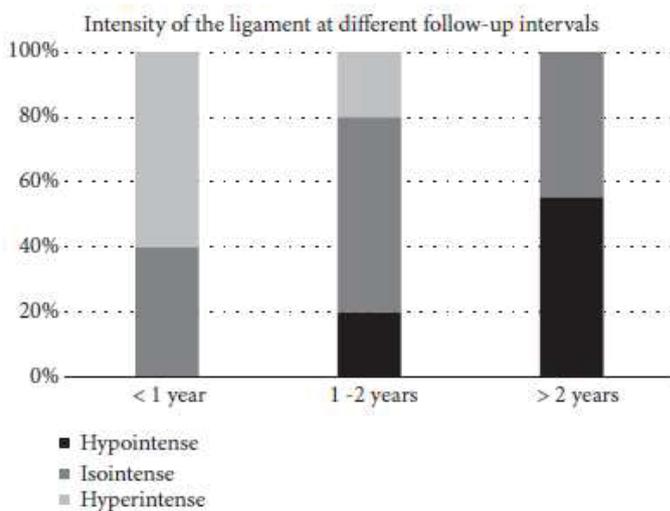


Abb. 31: Signalintensität in der MRT. Bestimmung der Signalintensität in der MRT nach unterschiedlichen postoperativen Zeitintervallen (van der List et al., 2019b).

In unseren Untersuchungen stellte sich das VKB in über 80% der Fälle nach durchschnittlich einem Jahr postoperativ iso- oder hypointens dar. Dies deutet an, dass ein Jahr nach erfolgter Naht des VKB eine fortgeschrittene Einheilung bzw. Reifung zu verifizieren war. 21 Ligamente aus der Kontrollgruppe und 22 Ligamente aus der LGB Gruppe zeigten in der MRT ein iso- oder hypointenses Signal. Drei Ligamente aus der VKBR Gruppe und zwei aus der LGB Kohorte stellten sich hyperintens im Vergleich zum HKB dar. Anhand unserer Untersuchungen lässt sich bezüglich des Reifegrades kein Vorteil auf Seiten der VKB Nahttechnik feststellen, da sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ergibt. In beiden Gruppen scheint die Reifung des VKB bereits ein Jahr nach Operation zum Großteil sehr fortgeschritten zu sein. Auch können wir keine Aussage darüber treffen, ob die Signalintensität im MRT und damit der Reifegrad mit der klinischen Stabilität in Zusammenhang steht. Anhand der insgesamt guten Ergebnisse ist dies zwar anzunehmen, muss jedoch in weiteren Untersuchungen bestätigt werden.

4.5.4 Rehabilitation

Einen wichtigen Aspekt für die Patienten stellt nach VKB Operation vor allem die Länge der Rehabilitation und das Zurückerlangen des präoperativen Aktivitätslevels dar. Neben dem persönlichen Interesse wieder zurück zum vorherigen Leistungslevel zu finden, darf auch hier ein wirtschaftliches Interesse nicht ganz unberücksichtigt gelassen werden. Auch Mackay und Kollegen beschrieben in ihren Untersuchungen die wirtschaftlichen Aspekte. So könnte die frühe Mobilisation der Patienten auch eine frühere Rückkehr an den

Arbeitsplatz begünstigen (MacKay et al., 2015). Das Prinzip der *early mobilisation* hatte sich bereits im Rehabilitationsprozess nach VKBR durchgesetzt (Shelbourne and Nitz, 1990) und wurde von Genelin und Kollegen auch im Feld der VKB erhaltenden Operationen empfohlen (Genelin et al., 1993). Wie allgemein bekannt, hängt der Operationserfolg nicht nur mit dem Zurückerlangen der mechanischen Stabilität, sondern vor allem auch mit der funktionellen Stabilität durch Erhalt der propriozeptiven Komponente des nativen Ligamentes zusammen (Von Lübken et al., 2008). So stellt der Verlust der kinematischen Eigenschaften des VKB nach VKBR durch ein Sehnentransplantat einen Nachteil dieser Technik dar. Jerosch und Kollegen beschrieben in ihren Untersuchungen jedoch bereits, dass die herabgesetzte sensomotorische Funktion durch ein propriozeptives Trainingsprogramm teilweise zurückerlangt werden kann (Jerosch et al., 1998). Nichtsdestotrotz wird vermutet, dass ein großer Vorteil der VKB erhaltenden Techniken der Erhalt der Propriozeption sein könnte (Gao et al., 2016, Georgoulis et al., 2001). Erhält man die nativen anatomischen Verhältnisse des VKB, so würde ein striktes propriozeptives Trainingsprogramm nicht mehr erforderlich sein. Aktuelle Studien zeigen, dass die Reparatur im Vergleich zur Rekonstruktion mit einem größeren Bewegungsmaß in der ersten postoperativen Woche und einer geringeren Komplikationsrate assoziiert ist (van der List and DiFelice, 2017b). Nicht unberücksichtigt zu lassen ist die Gefahr, dass eine frühe Stabilität gegeben falls zu einer verfrühten Strapazierung des operierten Kniegelenks führen könnte. Trotz früher subjektiver Stabilität sollten die empfohlenen zeitlichen Vorgaben bezüglich postoperativer Rehabilitation eingehalten werden. Da der Schwerpunkt unserer Untersuchungen nicht auf der detaillierten Durchführung der Rehabilitation lag, sind die Ergebnisse diesbezüglich nicht beurteilbar. Nichtsdestotrotz können einige Faktoren hinsichtlich der Rehabilitation beleuchtet und mit anderen Untersuchungen in den Vergleich gesetzt werden. In unseren Untersuchungen gaben 76% der Patienten der LGB Kohorte an, das präoperative Aktivitätslevel gemessen am Tegner Score ein Jahr nach Operation wieder erreicht zu haben. Daraus ergibt sich ein leichter, wenn auch nicht signifikanter Vorteil gegenüber der VKBR Gruppe, in der nur 64% eine Rückkehr zum ursprünglichen Aktivitätslevel realisieren konnten.

Zwischen 1992 und 1998 behandelten Steadman und Kollegen 13 Patienten mit proximaler VKB Ruptur mit der bereits beschriebenen *HR*-Technik. Um die postoperative Einheilung des Ligamentes zu fördern, erhielten die Patienten eine auf volle Extension eingestellte Knieschiene für sechs Wochen. Zusätzlich erfolgte das durch Unterarmgehstützen assistierte Gehen mit einem Gewichtsaufbau über ebenfalls sechs Wochen. Sie berichteten über eine Misserfolgsrate von 23%. Die übrigen zehn Patienten erlangten im Mittel 69 Monate nach erfolgter Behandlung eine gute Kniefunktion mit einem durchschnittlichen

Zufriedenheitslevel von 9.9 (bei 10 maximalen Punkten) und einem durchschnittlichen Lysholm Score von 96 Punkten (Steadman et al., 2006). Die Einheilung des VKB wird hier durch eine sechswöchige Extensionsstellung in einer Knieschiene gefördert, was einen Nachteil dieser Operationstechnik darstellt. Jorjani und Kollegen gehen sogar noch weiter und halten eine komplette Aufhebung der Flexion in den ersten sechs Wochen für unabdingbar. Neben der Tatsache, dass somit Unterarmgehstützen für sechs Wochen benötigt werden, muss zudem auch die prophylaktische Antikoagulation für sechs Wochen durchgeführt werden. Nach Abnahme der Schiene zeigten die Patienten eine deutliche Atrophie der Muskulatur sowie eine deutliche Einschränkung des aktiven und passiven Bewegungsausmaß (Jorjani et al., 2013). Dies bedeutet eine enorme Einschränkung durch Immobilität für die Patienten in den ersten postoperativen Wochen und muss vor Durchführung der *HR*-Technik ausführlich besprochen werden. Das klinische Outcome nach erfolgter *HR*-Technik liefert zwar zufriedenstellende Ergebnisse in Bezug auf Kniefunktion, Schmerzen, Schwellung und Instabilität, jedoch kann die Einschränkung der Patienten unmittelbar nach erfolgter Operation und die vergleichsweise hohe Misserfolgsrate als Schwachstelle angesehen werden. Auch das Rehabilitationsprogramm anderer VKB erhaltender Techniken sieht vor, dass eine zwei- bis vierwöchige Extensionsstellung mit insgesamt sechswöchiger Immobilisation auf Krücken durchgeführt wird (Achnich et al., 2016, Jonkergouw et al., 2019). Andere beschreiben eine volle Extensionsstellung für drei Tage mit anschließender Teilbelastung auf Unterarmgehstützen für drei Wochen (Eggli et al., 2015). In den Untersuchungen von Schliemann und Kollegen wird das Kniegelenk in den ersten fünf postoperativen Tagen in einer Streckeschiene immobilisiert, um eine ausreichende Verklebung des Stumpfes über einen „Blutklot“ zu erzielen. Anschließend erfolgt die schmerzadaptierte Vollbelastung. Durch die vorübergehende DIS ist in diesem Fall eine frühere Vollbelastung möglich.

Auch bei der LGB Technik ermöglichte das Prinzip der inneren Schienung unserem Patientenkollektiv eine frühzeitige Mobilisation unmittelbar nach erfolgter Operation. Die postoperative Mobilisation wurde in beiden Patientenkohorten identisch durchgeführt und beinhaltete eine Teilbelastung von 20 kg für zwei Wochen an Unterarmgehstützen mit anschließender Vollbelastung. Die frühe Stabilität durch die innere Schienung und der damit verbundene Schutz des frisch genähten VKB beschrieben bereits Mackay und Kollegen. Da ihre Untersuchungen allerdings lediglich auf den Ergebnissen der klinischen Scores beruhten, wiesen sie hinsichtlich der Beurteilung des reparierten Ligamentes deutliche Limitierungen auf. Hier konnte nicht differenziert werden, ob die frühe Stabilität der Patienten auf die innere Schienung oder auf eine suffiziente Einheilung des genähten VKB zurückzuführen war (MacKay et al., 2015). In unseren Untersuchungen konnte neben der

klinischen Stabilität auch die Einheilung des reparierten Ligamentes mittels MRT Untersuchung beurteilt werden.

Um genauere Aussagen bezüglich der postoperativen Rehabilitation innerhalb der ersten Wochen nach LGB Technik treffen zu können, müssten weiteren Untersuchungen durchgeführt werden, die den unmittelbar postoperativen Verlauf der Patienten genauer beleuchten. Eine Differenzierung zwischen den beiden Operationsverfahren bezüglich früher Stabilität kann anhand unserer Untersuchungen nicht erfolgen. Diesbezüglich sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Langfristig sollten zudem weitere MRT Verlaufskontrollen durchgeführt werden, um den potenziellen Schutz der VKB erhaltenden Operationen vor Osteoarthritis weiter bewerten und beurteilen zu können (Murray and Fleming, 2013).

4.6 Limitationen

Das vorgestellte Operationsverfahren eignet sich ausschließlich für ausgewählte Patienten und ist somit deutlich durch die strenge Indikationsstellung limitiert. Eine weitere Limitierung besteht in der Größe der untersuchten Studienpopulation. Mit einer Studiengröße von 50 Patienten konnte kein signifikantes Ergebnis erzielt werden. Mithilfe einer G-Power Analyse wurde für eine Effektstärke von 0.80 eine notwendige Studiengröße von 582 Probanden für die klinischen Parameter und eine notwendige Anzahl von 2062 Patienten für die radiologische Auswertung ermittelt, um ein signifikantes Ergebnis zu erzielen.

Weiterhin ist der gewählte Nachuntersuchungszeitraum von zwölf Monaten lediglich bezüglich des Kurzzeit-*Outcomes* aussagekräftig. Für ein aussagekräftiges Kurzzeit-*Outcome* wird teilweise sogar ein Zeitraum von zwei Jahren empfohlen (Hefti et al., 1993). Um den weiteren Verlauf, sowie mögliche Folgeschäden weiter beurteilen zu können oder eine Aussage bezüglich der Langzeitergebnisse machen zu können, sind weitere Untersuchungen in diesem Feld notwendig. Diese sind essenziell, um die guten Ergebnisse im Kurzzeit-*Outcome* zu bestätigen.

4.7 Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen, die bereits in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse, dass die VKB erhaltende Operation bei strenger Indikationsstellung eine gleichwertige Therapieoption zum aktuellen Goldstandard darstellen kann. Auf Grundlage unserer Untersuchungen glauben wir, dass die Ligabrace Technik bei streng selektiertem Patientengut sogar eine vorteilhafte Therapieoption sein kann. Maßgeblich ist, dass die VKBR durch die VKB erhaltenden Techniken nicht vollständig ersetzt werden kann, da die Eignung der Patienten für dieses Operationsverfahren klar begrenzt ist. Das Ligabrace Verfahren stellt unabhängig von Alter und Aktivitätslevel allein bei akuten, proximalen Rupturen (innerhalb von 4 Wochen) eine gleichwertige Operationsmethode zum aktuellen Goldstandard dar. Mögliche Vorteile sind der Erhalt der Propriozeption des nativen Ligamentes, die zusätzliche Stabilität durch innere Schienung und die fehlende Entnahmemorbidity. Zudem stellt der Erhalt der nativen anatomischen Verhältnisse bei VKB erhaltender Operation eine bessere Ausgangssituation für eine VKBR bei eventueller Revisionsoperation dar. Spekulationen über frühere Stabilität und Schutz vor sekundären Folgen wie Osteoarthritis müssen in weiteren Untersuchungen beleuchtet werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Therapieoptionen im Feld der Rupturen des vorderen Kreuzbandes. Bereits Eriksson rief 1997 dazu auf, weiterhin im Feld der Therapieoptionen der Rupturen des vorderen Kreuzbandes zu forschen, um optimierte Ergebnisse für die Patienten zu erzielen. Oder wie Schliemann es 2016 formulierte, dass jegliche neue Therapiemethoden „*das operative Portfolio des in der Kreuzbandchirurgie tätigen Arztes erweitern*“ (Schliemann et al., 2016).

5 Literaturverzeichnis

- ACHTNICH, A., HERBST, E., FORKEL, P., METZLAFF, S., SPRENGER, F., IMHOFF, A. B. & PETERSEN, W. 2016. Acute Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: Outcomes After Arthroscopic Suture Anchor Repair Versus Anatomic Single-Bundle Reconstruction. *Arthroscopy*, 32, 2562-2569.
- ACHTNICH, A., ROSSLERBROICH, S., BEITZEL, K., IMHOFF, A. & PETERSEN, W. 2017. Arthroskopische Refixation einer akuten proximalen vorderen Kreuzbandruptur mittels knotenlosem Fadenanker. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, 29, 173-179.
- AGA, C., WILSON, K. J., JOHANSEN, S., DORNAN, G., LA PRADE, R. F. & ENGBRETTSEN, L. 2017. Tunnel widening in single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 25, 1316-1327.
- AGA, G. F. A. U. G. 2018. *VKB Ruptur - Therapie* [Online]. Available: http://www.aga-online.ch/fileadmin/user_upload/Komitee_Inhalte/Knie/AGA-Untersuchungsheft_VKB-Ruptur_1_.pdf [Accessed 20/05/ 2021].
- AJUIED, A., WONG, F., SMITH, C., NORRIS, M., EARNSHAW, P., BACK, D. & DAVIES, A. 2014. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med*, 42, 2242-52.
- AMIS, A. A. & DAWKINS, G. P. 1991. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br*, 73, 260-7.
- ANDERNORD, D., DESAI, N., BJORNSSON, H., GILLEN, S., KARLSSON, J. & SAMUELSSON, K. 2015. Predictors of contralateral anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 9061 patients with 5-year follow-up. *Am J Sports Med*, 43, 295-302.
- ANDERSON, A. F., IRRGANG, J. J., KOCHER, M. S., MANN, B. J., HARRAST, J. J. & INTERNATIONAL KNEE DOCUMENTATION, C. 2006. The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: normative data. *Am J Sports Med*, 34, 128-35.
- AOSSM. 2020. *American Orthopaedic Society for Sports Medicine* [Online]. Available: https://www.sportsmed.org/aossmimis/Members/Research/IKDC_Forms/Members/Research/IKDC_Forms.aspx?hkey=3a1b782c-2b5f-47cf-b7cc-8ea27729df98 [Accessed 24/06/ 2020].
- ARDERN, C. L., ÖSTERBERG, A., SONESSON, S., GAUFFIN, H., WEBSTER, K. E. & KVIST, J. 2016. Satisfaction with knee function after primary anterior cruciate ligament reconstruction is associated with self-efficacy, quality of life, and returning to the preinjury physical activity. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 32, 1631-1638. e3.
- ARDERN, C. L., WEBSTER, K. E., TAYLOR, N. F. & FELLER, J. A. 2011. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med*, 45, 596-606.
- ARENDT, E. & DICK, R. 1995. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer: NCAA data and review of literature. *The American journal of sports medicine*, 23, 694-701.
- ARNOLD, J. A., COKER, T. P., HEATON, L. M., PARK, J. P. & HARRIS, W. D. 1979. Natural history of anterior cruciate tears. *Am J Sports Med*, 7, 305-13.
- AUMÜLLER, G., AUST, G. & DOLL, A. 2010. *Duale Reihe Anatomie*. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- BALASCH, H., SCHILLER, M., FRIEBEL, H. & HOFFMANN, F. 1999. Evaluation of anterior knee joint instability with the Rolimeter. A test in comparison with manual assessment and measuring with the KT-1000 arthrometer. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 7, 204-8.

- BALCAREK, P., SAWALLICH, T., WALDE, T., FERLEMANN, K., WACHOWSKI, M., STÜRMER, K. & FROSCH, K.-H. 2008. Einfluss des Zyklus-Syndroms nach vorderer Kreuzbandplastik auf das klinische Ergebnis. *Sportverletzung· Sportschaden*, 22, 220-224.
- BARRETT, D. S. 1991. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Surg Br*, 73, 833-7.
- BARRETT, G. R., LUBER, K., REPLOGLE, W. H. & MANLEY, J. L. 2010. Allograft anterior cruciate ligament reconstruction in the young, active patient: Tegner activity level and failure rate. *Arthroscopy*, 26, 1593-601.
- BARRY, K. P., MESGARZADEH, M., TRIOLO, J., MOYER, R., TEHRANZADEH, J. & BONAKDARPOUR, A. 1996. Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal Radiol*, 25, 365-70.
- BEARD, D. J., KYBERD, P. J., O'CONNOR, J. J., FERGUSSON, C. M. & DODD, C. A. 1994. Reflex hamstring contraction latency in anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Res*, 12, 219-28.
- BEICKERT, R. 2005. Mikrofrakturierung bei fokalem Knorpelschaden. *Arthroskopie*, 18, 186-192.
- BENJAMINSE, A., GOKELER, A. & VAN DER SCHANS, C. P. 2006. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 36, 267-88.
- BENNINGHOFF, A. 2008. *Anatomie: Zellen-und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett-und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn-und Genitalsystem*, Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- BETTLACH, M. A. 2017. *Ligamys Operationstechnik* [Online]. Available: http://www.aga-online.ch/fileadmin/user_upload/Komitee_Inhalte/Knie/AGA-Untersuchungsheft_VKB-Ruptur_1_.pdf [Accessed 09/06/ 2020].
- BIAU, D. J., TOURNOUX, C., KATSAHIAN, S., SCHRANZ, P. & NIZARD, R. 2007. ACL reconstruction: a meta-analysis of functional scores. *Clin Orthop Relat Res*, 458, 180-7.
- BIAU, D. J., TOURNOUX, C., KATSAHIAN, S., SCHRANZ, P. J. & NIZARD, R. S. 2006. Bone-patellar tendon-bone autografts versus hamstring autografts for reconstruction of anterior cruciate ligament: meta-analysis. *BMJ*, 332, 995-1001.
- BRAMBILLA, L., PULICI, L., CARIMATI, G., QUAGLIA, A., PROSPERO, E., BAIT, C., MORENGHI, E., PORTINARO, N., DENTI, M. & VOLPI, P. 2015. Prevalence of Associated Lesions in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Correlation With Surgical Timing and With Patient Age, Sex, and Body Mass Index. *Am J Sports Med*, 43, 2966-73.
- BRANCH, T. P., MAYR, H. O., BROWNE, J. E., CAMPBELL, J. C., STOEHR, A. & JACOBS, C. A. 2010. Instrumented examination of anterior cruciate ligament injuries: minimizing flaws of the manual clinical examination. *Arthroscopy*, 26, 997-1004.
- BRAY, R. C. & DANDY, D. J. 1989. Meniscal lesions and chronic anterior cruciate ligament deficiency. Meniscal tears occurring before and after reconstruction. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 71, 128-130.
- BRIGGS, K. K., STEADMAN, J. R., HAY, C. J. & HINES, S. L. 2009. Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med*, 37, 898-901.
- BRODHUN, T. 2011. Operative versus konservative Therapie der vorderen Kreuzbandruptur im Wachstumsalter—eine Metaanalyse.
- BUCKUP, J., HEINZ, S. M. & HOFFMANN, R. 2018. Klinische Untersuchung des Kniegelenks. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 13, 503-517.
- BUELOW, J. U., SIEBOLD, R. & ELLERMANN, A. 2002. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 10, 80-5.
- BUTLER, D. L., NOYES, F. R. & GROOD, E. S. 1980. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*, 62, 259-70.
- CASTELEYN, P. P. & HANDELBERG, F. 1996. Non-operative management of anterior cruciate ligament injuries in the general population. *J Bone Joint Surg Br*, 78, 446-51.

- CHAHLA, J., NELSON, T., DALLO, I., YALAMANCHILI, D., EBERLEIN, S., LIMPISVASTI, O., MANDELBAUM, B. & METZGER, M. F. 2020. Anterior cruciate ligament repair versus reconstruction: A kinematic analysis. *Knee*, 27, 334-340.
- CHO, K. O. 1975. Reconstruction of the anterior cruciate ligament by semitendinosus tenodesis. *J Bone Joint Surg Am*, 57, 608-12.
- CICCOTTI, M. G., LOMBARDO, S. J., NONWEILER, B. & PINK, M. 1994. Non-operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle-aged patients. Results after long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am*, 76, 1315-21.
- CLAES, S., HERMIE, L., VERDONK, R., BELLEMANS, J. & VERDONK, P. 2013. Is osteoarthritis an inevitable consequence of anterior cruciate ligament reconstruction? A meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21, 1967-1976.
- CLAES, S., VERDONK, P., FORSYTH, R. & BELLEMANS, J. 2011. The "ligamentization" process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *The American journal of sports medicine*, 39, 2476-2483.
- CLINIC, M. 2017. Available: <https://www.mackayclinic.co.uk/internal-brace-in-depth-the-knee/#acl-ligament> [Accessed 10/06/ 2020].
- COLLINS, N. J., MISRA, D., FELSON, D. T., CROSSLEY, K. M. & ROOS, E. M. 2011. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 63 Suppl 11, S208-28.
- CRAIN, E. H., FITHIAN, D. C., PAXTON, E. W. & LUETZOW, W. F. 2005. Variation in anterior cruciate ligament scar pattern: does the scar pattern affect anterior laxity in anterior cruciate ligament-deficient knees? *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 21, 19-24.
- CRAWFORD, R., WALLEY, G., BRIDGMAN, S. & MAFFULLI, N. 2007. Magnetic resonance imaging versus arthroscopy in the diagnosis of knee pathology, concentrating on meniscal lesions and ACL tears: a systematic review. *Br Med Bull*, 84, 5-23.
- CRAWFORD, S. N., WATERMAN, B. R. & LUBOWITZ, J. H. 2013. Long-term failure of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 29, 1566-71.
- DANIEL, D. M., STONE, M. L., DOBSON, B. E., FITHIAN, D. C., ROSSMAN, D. J. & KAUFMAN, K. R. 1994. Fate of the ACL-injured patient. A prospective outcome study. *Am J Sports Med*, 22, 632-44.
- DEMIRDJIAN, A. M., PETRIE, S. G., GUANCHE, C. A. & THOMAS, K. A. 1998. The outcomes of two knee scoring questionnaires in a normal population. *Am J Sports Med*, 26, 46-51.
- DEMORAT, G., WEINHOLD, P., BLACKBURN, T., CHUDIK, S. & GARRETT, W. 2004. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 32, 477-483.
- DGU 2018. Aktuelle Leitlinie Unfallchirurgie. *Leitlinien Unfallchirurgie © DGU Leitlinien Kommission Berlin 2018AWMF-Nr. 012-005ICD S-83.53 (akut), M-23.51 (chronisch)*.
- DIFELICE, G. S. & VAN DER LIST, J. P. 2018. Clinical outcomes of arthroscopic primary repair of proximal anterior cruciate ligament tears are maintained at mid-term follow-up. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 34, 1085-1093.
- DIFELICE, G. S., VILLEGAS, C. & TAYLOR, S. 2015. Anterior Cruciate Ligament Preservation: Early Results of a Novel Arthroscopic Technique for Suture Anchor Primary Anterior Cruciate Ligament Repair. *Arthroscopy*, 31, 2162-71.

- DOMNICK, C., GARCIA, P., RASCHKE, M. J., 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, 989-995.
- DONALDSON, W. F., 3RD, WARREN, R. F. & WICKIEWICZ, T. 1985. A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations. Initial versus examination under anesthesia. *Am J Sports Med*, 13, 5-10.
- DUNN, W. R., LYMAN, S., LINCOLN, A. E., AMOROSO, P. J., WICKIEWICZ, T. & MARX, R. G. 2004. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on the risk of knee reinjury. *Am J Sports Med*, 32, 1906-14.
- EBERHARDT, C., JAGER, A., SCHWETLICK, G. & RAUSCHMANN, M. A. 2002. [History of surgery of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade*, 31, 702-9.
- EDWARDS, A. 1926. Rupture and repair of the anterior cruciate ligament. *Br J Surg*, 13, 432-438.
- EGGLI, S., KOHLHOF, H., ZUMSTEIN, M., HENLE, P., HARTEL, M., EVANGELOPOULOS, D. S., BONEL, H. & KOHL, S. 2015. Dynamic intraligamentary stabilization: novel technique for preserving the ruptured ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23, 1215-21.
- ENGBRETSSEN, L., BENUM, P., FASTING, O., MOLSTER, A. & STRAND, T. 1990. A prospective, randomized study of three surgical techniques for treatment of acute ruptures of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 18, 585-90.
- FEAGIN, J. 1972. The isolated tear of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 54, 1340.
- FEAGIN, J. A., JR. & BLAKE, W. P. 1983. Postoperative evaluation and result recording in the anterior cruciate ligament reconstructed knee. *Clin Orthop Relat Res*, 172, 143-7.
- FEAGIN JR, J. A. & CURL, W. W. 1976. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *The American journal of sports medicine*, 4, 95-100.
- FELSON, D. T., NIU, J., MCCLENNAN, C., SACK, B., ALIABADI, P., HUNTER, D. J., GUERMAZI, A. & ENGLUND, M. 2007. Knee buckling: prevalence, risk factors, and associated limitations in function. *Ann Intern Med*, 147, 534-40.
- FIGUEROA, D., MELEAN, P., CALVO, R., VAISMAN, A., ZILLERUELO, N., FIGUEROA, F. & VILLALON, I. 2010. Magnetic resonance imaging evaluation of the integration and maturation of semitendinosus-gracilis graft in anterior cruciate ligament reconstruction using autologous platelet concentrate. *Arthroscopy*, 26, 1318-25.
- FILBAY, S. R., CULVENOR, A. G., ACKERMAN, I. N., RUSSELL, T. G. & CROSSLEY, K. M. 2015. Quality of life in anterior cruciate ligament-deficient individuals: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*, 49, 1033-41.
- FINK, C., HERBORT, M., ABERMANN, E. & HOSER, C. 2014. Minimally invasive harvest of a quadriceps tendon graft with or without a bone block. *Arthroscopy techniques*, 3, e509-e513.
- FITHIAN, D. C., PAXTON, E. W., STONE, M. L., LUETZOW, W. F., CSINTALAN, R. P., PHELAN, D. & DANIEL, D. M. 2005. Prospective trial of a treatment algorithm for the management of the anterior cruciate ligament-injured knee. *Am J Sports Med*, 33, 335-46.
- FLINT, J. H., WADE, A. M., GIULIANI, J. & RUE, J. P. 2014. Defining the terms acute and chronic in orthopaedic sports injuries: a systematic review. *Am J Sports Med*, 42, 235-41.
- FOK, A. W. & YAU, W. P. 2013. Delay in ACL reconstruction is associated with more severe and painful meniscal and chondral injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21, 928-33.
- FREMEREY, R. W., LOBENHOFFER, P., ZEICHEN, J., SKUTEK, M., BOSCH, U. & TSCHERNE, H. 2000. Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br*, 82, 801-6.
- FRIEDMAN, M. J. 1988. Arthroscopic semitendinosus (gracilis) reconstruction for anterior cruciate ligament deficiency. *Techniques in orthopaedics*, 2, 74-80.
- FUSS, F. K. 1989. Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. *Am J Anat*, 184, 165-76.

- GABLER, C. M., JACOBS, C. A., HOWARD, J. S., MATTACOLA, C. G. & JOHNSON, D. L. 2016. Comparison of graft failure rate between autografts placed via an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction technique: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *The American journal of sports medicine*, 44, 1069-1079.
- GANKO, A., ENGBRETSSEN, L. & OZER, H. 2000. The rolimeter: a new arthrometer compared with the KT-1000. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 8, 36-9.
- GAO, F., ZHOU, J., HE, C., DING, J., LOU, Z., XIE, Q., LI, H., LI, F. & LI, G. 2016. A Morphologic and Quantitative Study of Mechanoreceptors in the Remnant Stump of the Human Anterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy*, 32, 273-80.
- GENELIN, F., TROST, A., PRIMAVESI, C. & KNOLL, P. 1993. Late results following proximal reinsertion of isolated ruptured ACL ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1, 17-9.
- GEORGOULIS, A. D., PAPPA, L., MOEBIUS, U., MALAMOU-MITSI, V., PAPPA, S., PAPAGEORGIOU, C. O., AGNANTIS, N. J. & SOUCACOS, P. N. 2001. The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9, 364-368.
- GIANOTTI, S. M., MARSHALL, S. W., HUME, P. A. & BUNT, L. 2009. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport*, 12, 622-7.
- GMBH, A. E. 2000. Manual Rolimeter Kniester. *Neubeuern*.
- GOBBI, A. & FRANCISCO, R. 2006. Factors affecting return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon and hamstring graft: a prospective clinical investigation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14, 1021-8.
- GRANAN, L. P., BAHR, R., STEINDAL, K., FURNES, O. & ENGBRETSSEN, L. 2008. Development of a national cruciate ligament surgery registry: the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med*, 36, 308-15.
- GRASSI, A., BAILEY, J. R., SIGNORELLI, C., CARBONE, G., TCHONANG WAKAM, A., LUCIDI, G. A. & ZAFFAGNINI, S. 2016. Magnetic resonance imaging after anterior cruciate ligament reconstruction: A practical guide. *World J Orthop*, 7, 638-649.
- GRIFFIN, L. Y., AGEL, J., ALBOHM, M. J., ARENDT, E. A., DICK, R. W., GARRETT, W. E., GARRICK, J. G., HEWETT, T. E., HUSTON, L., IRELAND, M. L., JOHNSON, R. J., KIBLER, W. B., LEPHART, S., LEWIS, J. L., LINDENFELD, T. N., MANDELBAUM, B. R., MARCHAK, P., TEITZ, C. C. & WOJTYS, E. M. 2000. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*, 8, 141-50.
- GRIFFITH, T. B., ALLEN, B. J., LEVY, B. A., STUART, M. J. & DAHM, D. L. 2013. Outcomes of repeat revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 41, 1296-301.
- GRØNTVEDT, T. & ENGBRETSSEN, L. 1995. Comparison between two techniques for surgical repair of the acutely torn anterior cruciate ligament: A prospective, randomized follow-up study of 48 patients. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 5, 358-363.
- GRØNTVEDT, T., ENGBRETSSEN, L. & BREDLAND, T. 1996. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament using bone-patellar tendon-bone grafts with and without augmentation. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 78, 817-822.
- GWINN, D. E., WILCKENS, J. H., MCDEVITT, E. R., ROSS, G. & KAO, T.-C. 2000. The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *The American journal of sports medicine*, 28, 98-102.
- HABERLI, J., HENLE, P., ACKLIN, Y. P., ZDERIC, I. & GUEORGUIEV, B. 2016. Knee joint kinematics with dynamic augmentation of primary anterior cruciate ligament repair - a biomechanical study. *J Exp Orthop*, 3, 29.
- HALATA, Z. & HAUS, J. 1989. The ultrastructure of sensory nerve endings in human anterior cruciate ligament. *Anat Embryol (Berl)*, 179, 415-21.

- HARNER, C. D., BAEK, G. H., VOGGIN, T. M., CARLIN, G. J., KASHIWAGUCHI, S. & WOO, S. L. 1999. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*, 15, 741-9.
- HATCHER, J., HATCHER, A., ARBUTHNOT, J. & MCNICHOLAS, M. 2005. An investigation to examine the inter-tester and intra-tester reliability of the Rolimeter® knee tester, and its sensitivity in identifying knee joint laxity. *Journal of orthopaedic research*, 23, 1399-1403.
- HAUS, J., HALATA, Z. & REFIOR, H. 1992. Propriozeption im vorderen Kreuzband des menschlichen Kniegelenkes-morphologische Grundlagen. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 130, 484-494.
- HEFTI, F., MULLER, W., JAKOB, R. P. & STAUBLI, H. U. 1993. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1, 226-34.
- HENLE, P., RODER, C., PERLER, G., HEITKEMPER, S. & EGGLI, S. 2015. Dynamic Intraligamentary Stabilization (DIS) for treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures: case series experience of the first three years. *BMC Musculoskelet Disord*, 16, 27.
- HERBORT, M., MICHEL, P., RASCHKE, M. J., VOGEL, N., SCHULZE, M., ZOLL, A., FINK, C., PETERSEN, W. & DOMNICK, C. 2017. Should the Ipsilateral Hamstrings Be Used for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Case of Medial Collateral Ligament Insufficiency? Biomechanical Investigation Regarding Dynamic Stabilization of the Medial Compartment by the Hamstring Muscles. *Am J Sports Med*, 45, 819-825.
- HEWETT, T. E., MYER, G. D., FORD, K. R., HEIDT, R. S., JR., COLOSIMO, A. J., MCLEAN, S. G., VAN DEN BOGERT, A. J., PATERNO, M. V. & SUCCOP, P. 2005. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med*, 33, 492-501.
- HIGGINS, L. D., TAYLOR, M. K., PARK, D., GHODADRA, N., MARCHANT, M., PIETROBON, R., COOK, C. & INTERNATIONAL KNEE DOCUMENTATION, C. 2007. Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine*, 74, 594-9.
- HIGGINS, R. W. & STEADMAN, J. R. 1987. Anterior cruciate ligament repairs in world class skiers. *Am J Sports Med*, 15, 439-47.
- HOGERVORST, T. & BRAND, R. A. 1998. Current concepts review-mechanoreceptors in joint function. *JBJS*, 80, 1365-1378.
- HOOGESLAG, R. A. G., BROUWER, R. W., BOER, B. C., DE VRIES, A. J. & HUIS IN 'T VELD, R. 2019. Acute Anterior Cruciate Ligament Rupture: Repair or Reconstruction? Two-Year Results of a Randomized Controlled Clinical Trial. *Am J Sports Med*, 47, 567-577.
- HOWELL, S. M., CLARK, J. A. & BLASIER, R. D. 1991. Serial magnetic resonance imaging of hamstring anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation. A preliminary study. *Am J Sports Med*, 19, 42-7.
- IRARRÁZVAL, S., KUROSAKA, M., COHEN, M. & FU, F. H. 2016. Anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of ISAKOS: Joint Disorders & Orthopaedic Sports Medicine*, 1, 38-52.
- IRRGANG, J. J., ANDERSON, A. F., BOLAND, A. L., HARNER, C. D., KUROSAKA, M., NEYRET, P., RICHMOND, J. C. & SHELBORNE, K. D. 2001. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med*, 29, 600-13.
- IRRGANG, J. J., HO, H., HARNER, C. D. & FU, F. H. 1998. Use of the International Knee Documentation Committee guidelines to assess outcome following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 6, 107-114.
- JACKSON, D. W. & SCHAEFER, R. K. 1990. Cyclops syndrome: loss of extension following intra-articular anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 6, 171-8.
- JAKOB, R. P., STAUBLI, H. U. & DELAND, J. T. 1987. Grading the pivot shift. Objective tests with implications for treatment. *J Bone Joint Surg Br*, 69, 294-9.

- JEROSCH, J. & HEISEL, J. 2013. *Knieendoprothetik: Indikationen· Operationstechnik Nachbehandlung· Begutachtung*, Springer-Verlag.
- JEROSCH, J., PFAFF, G., THORWESTEN, L. & SCHOPPE, R. 1998. Auswirkungen eines propriozeptiven Trainingsprogramms auf die sensomotorischen Fähigkeiten der unteren Extremität bei Patienten mit einer vorderen Kreuzbandinstabilität. *Sportverletzung· Sportschaden*, 12, 121-130.
- JOHNSON, D. S. & SMITH, R. B. 2001. Outcome measurement in the ACL deficient knee—what's the score? *The Knee*, 8, 51-57.
- JONKERGOUW, A., VAN DER LIST, J. P. & DIFELICE, G. S. 2019. Arthroscopic primary repair of proximal anterior cruciate ligament tears: outcomes of the first 56 consecutive patients and the role of additional internal bracing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 27, 21-28.
- JORJANI, J., ALTMANN, D., AUEN, R., KOOPMANN, C., LYUTENSKI, B. & WIRTZ, D. 2013. Mittel-bis langfristige Ergebnisse nach vorderer Kreuzbandruptur und Versorgung in Healing-Response-Technik. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 151, 570-579.
- KAPRELI, E., ATHANASOPOULOS, S., GLIATIS, J., PAPATHANASIOU, M., PEETERS, R., STRIMPAKOS, N., VAN HECKE, P., GOULIAMOS, A. & SUNAERT, S. 2009. Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med*, 37, 2419-26.
- KARTUS, J., MOVIN, T. & KARLSSON, J. 2001. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 17, 971-980.
- KAY, J., MEMON, M., SHAH, A., YEN, Y.-M., SAMUELSSON, K., PETERSON, D., SIMUNOVIC, N., FLAGEOLE, H. & AYENI, O. R. 2018. Earlier anterior cruciate ligament reconstruction is associated with a decreased risk of medial meniscal and articular cartilage damage in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26, 3738-3753.
- KEENE, G. 2000. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft. *Am J Sports Med*, 28, 438.
- KOCHER, M. S., STEADMAN, J. R., BRIGGS, K., ZURAKOWSKI, D., STERETT, W. I. & HAWKINS, R. J. 2002. Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*, 84, 1560-72.
- KOGA, H., NAKAMAE, A., SHIMA, Y., IWASA, J., MYKLEBUST, G., ENGBRETSSEN, L., BAHR, R. & KROSSHAUG, T. 2010. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med*, 38, 2218-25.
- KOHL, S. 2013. Vordere Kreuzband-OP-Technik:«State of the Art» und Zukunft. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61, 25-30.
- KRAEUTLER, M. J., BRAVMAN, J. T. & MCCARTY, E. C. 2013. Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med*, 41, 2439-48.
- KRUDWIG, W. 2000. Situation der Arthroskopie in Deutschland. *Arthroskopie*, 13, 191-193.
- KUJALA, U. M., TAIMELA, S., ANTTI-POIKA, I., ORAVA, S., TUOMINEN, R. & MYLLYNEN, P. 1995. Acute injuries in soccer, ice hockey, volleyball, basketball, judo, and karate: analysis of national registry data. *BMJ*, 311, 1465-8.
- LEE, D. Y., KARIM, S. A. & CHANG, H. C. 2008. Return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction - a review of patients with minimum 5-year follow-up. *Ann Acad Med Singap*, 37, 273-8.
- LEITGEB, J., KOTTSTORFER, J., SCHUSTER, R., KOVAR, F. M., PLATZER, P. & ALDRIAN, S. 2014. Primary anterior cruciate ligament reconstruction in athletes: a 5-year follow up

- comparing patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Wien Klin Wochenschr*, 126, 397-402.
- LI, S., CHEN, Y., LIN, Z., CUI, W., ZHAO, J. & SU, W. 2012. A systematic review of randomized controlled clinical trials comparing hamstring autografts versus bone-patellar tendon-bone autografts for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Arch Orthop Trauma Surg*, 132, 1287-97.
- LINDSTROM, M., STRANDBERG, S., WREDMARK, T., FELLANDER-TSAI, L. & HENRIKSSON, M. 2013. Functional and muscle morphometric effects of ACL reconstruction. A prospective CT study with 1 year follow-up. *Scand J Med Sci Sports*, 23, 431-42.
- LO, I. K., DE MAAT, G. H., VALK, J. W. & FRANK, C. B. 1999. The gross morphology of torn human anterior cruciate ligaments in unstable knees. *Arthroscopy*, 15, 301-6.
- LOBENHOFFER, P. 1999. [Knee ligament injuries. Anatomy, biomechanics, diagnosis, indications]. *Chirurg*, 70, 219-30.
- LUBOWITZ, J. H. 2014. Anatomic ACL reconstruction produces greater graft length change during knee range-of-motion than transtibial technique. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22, 1190-1195.
- LUND, B., NIELSEN, T., FAUNØ, P., CHRISTIANSEN, S. E. & LIND, M. 2014. Is quadriceps tendon a better graft choice than patellar tendon? A prospective randomized study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 30, 593-598.
- LYSHOLM, J. & GILLQUIST, J. 1982. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine*, 10, 150-154.
- LYSHOLM, J. & TEGNER, Y. 2007. Knee injury rating scales. *Acta Orthop*, 78, 445-53.
- MACKAY, G., ANTHONY, I., JENKINS, P. & BLYTH, M. 2015. Anterior cruciate ligament repair revisited. *Preliminary results of primary repair with internal brace ligament augmentation: a case series. Orthop Muscul Syst*, 4, 1-5.
- MAEDA, A., SHINO, K., HORIBE, S., NAKATA, K. & BUCCAFUSCA, G. 1996. Anterior cruciate ligament reconstruction with multistranded autogenous semitendinosus tendon. *Am J Sports Med*, 24, 504-9.
- MALETIS, G. B., CAMERON, S. L., TENGAN, J. J. & BURCHETTE, R. J. 2007. A prospective randomized study of anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of patellar tendon and quadruple-strand semitendinosus/gracilis tendons fixed with bioabsorbable interference screws. *Am J Sports Med*, 35, 384-94.
- MALETIS, G. B., INACIO, M. C. & FUNAHASHI, T. T. 2015. Risk factors associated with revision and contralateral anterior cruciate ligament reconstructions in the Kaiser Permanente ACLR registry. *Am J Sports Med*, 43, 641-7.
- MALL, N. A., CHALMERS, P. N., MORIC, M., TANAKA, M. J., COLE, B. J., BACH, B. R., JR. & PALETTA, G. A., JR. 2014. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am J Sports Med*, 42, 2363-70.
- MANDELBAUM, B. R., FINERMAN, G. A., REICHER, M. A., HARTZMAN, S., BASSETT, L. W., GOLD, R. H., RAUSCHNING, W. & DOREY, F. 1986. Magnetic resonance imaging as a tool for evaluation of traumatic knee injuries: anatomical and pathoanatomical correlations. *The American journal of sports medicine*, 14, 361-370.
- MARSHALL, J. L., WARREN, R. F., WICKIEWICZ, T. L. & REIDER, B. 1979. The anterior cruciate ligament: a technique of repair and reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*, 97-106.
- MASTROKALOS, D. S., SPRINGER, J., SIEBOLD, R. & PAESSLER, H. H. 2005. Donor site morbidity and return to the preinjury activity level after anterior cruciate ligament reconstruction using ipsilateral and contralateral patellar tendon autograft: a retrospective, nonrandomized study. *The American journal of sports medicine*, 33, 85-93.
- MAYR, H. O., WEIG, T. G. & PLITZ, W. 2004. Arthrofibrosis following ACL reconstruction--reasons and outcome. *Arch Orthop Trauma Surg*, 124, 518-22.

- MEISTER, M., KOCH, J., AMSLER, F., ARNOLD, M. P. & HIRSCHMANN, M. T. 2018. ACL suturing using dynamic intraligamentary stabilisation showing good clinical outcome but a high reoperation rate: a retrospective independent study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26, 655-659.
- MEUFFELS, D. E., FAVEJEE, M. M., VISSERS, M. M., HEIJBOER, M. P., REIJMAN, M. & VERHAAR, J. A. 2009. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *Br J Sports Med*, 43, 347-51.
- MICHELI LJ, M. J., DI CANZIO J, ZURAKOWSKI D. 1999 Jul. Anterior cruciate ligament reconstructive surgery in adolescent soccer and basketball players. *Clin J Sports Med* ;9(3):138–41.
- MITSOU, A., VALLIANATOS, P., PISKOPAKIS, N. & MAHERAS, S. 1990. Anterior cruciate ligament reconstruction by over-the-top repair combined with popliteus tendon plasty. *J Bone Joint Surg Br*, 72, 398-404.
- MÜLLER, W. 1982. *Kinematik, Das Knie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- MURRAY, M. M. & FLEMING, B. C. 2013. Use of a bioactive scaffold to stimulate anterior cruciate ligament healing also minimizes posttraumatic osteoarthritis after surgery. *The American journal of sports medicine*, 41, 1762-1770.
- MURRAY, M. M., MAGARIAN, E., ZURAKOWSKI, D. & FLEMING, B. C. 2010. Bone-to-bone fixation enhances functional healing of the porcine anterior cruciate ligament using a collagen-platelet composite. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 26, S49-S57.
- MYKLEBUST, G., MAEHLUM, S., ENGBRETSSEN, L., STRAND, T. & SOLHEIM, E. 1997. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. *Scand J Med Sci Sports*, 7, 289-92.
- MYKLEBUST, G., MAEHLUM, S., HOLM, I. & BAHR, R. 1998. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports*, 8, 149-53.
- NEBELUNG, W. & WUSCHECH, H. 2005. Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes. *Arthroscopy*, 21, 696-702.
- NG, W. H. A., GRIFFITH, J. F., HUNG, E. H. Y., PAUNIPAGAR, B., LAW, B. K. Y. & YUNG, P. S. H. 2011. Imaging of the anterior cruciate ligament. *World journal of orthopedics*, 2, 75.
- NGUYEN, D. T., RAMWADHDOEBE, T. H., VAN DER HART, C. P., BLANKEVOORT, L., TAK, P. P. & VAN DIJK, C. N. 2014. Intrinsic healing response of the human anterior cruciate ligament: an histological study of reattached ACL remnants. *J Orthop Res*, 32, 296-301.
- NIELSEN, A. B. & YDE, J. 1991. Epidemiology of acute knee injuries: a prospective hospital investigation. *J Trauma*, 31, 1644-8.
- NORWOOD, L. A. & CROSS, M. J. 1979. Anterior cruciate ligament: functional anatomy of its bundles in rotatory instabilities. *Am J Sports Med*, 7, 23-6.
- NOYES, F. R., MOOAR, P. A., MATTHEWS, D. S. & BUTLER, D. L. 1983. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: the long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am*, 65, 154-62.
- O'DONOGHUE, D. H. 1991. Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee. 1950. *Clin Orthop Relat Res*, 271, 3-8.
- ODENSTEN, M. & GILLQUIST, J. 1985. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*, 67, 257-62.
- ØIESTAD, B. E., ENGBRETSSEN, L., STORHEIM, K. & RISBERG, M. A. 2009. Winner of the 2008 systematic review competition: knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 37, 1434-1443.
- OSTI, M., EL ATTAL, R., DOSKAR, W., HOCK, P. & SMEKAL, V. 2019. High complication rate following dynamic intraligamentary stabilization for primary repair of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 27, 29-36.

- PALMER, I. 1938. On the injuries to the ligaments of the knee joint. A clinical study. *Acta Chir Scand Supple*, 53.
- PETERSEN, W., FORKEL, P., ACHTNICH, A., METZLAFF, S. & ZANTOP, T. 2012. Verletzungen des vorderen Kreuzbandes: Von der Prävention zur Therapie. *Orthopädische und Unfallchirurgische Zeitschrift*, 1, 232-243.
- PETERSEN, W., FORKEL, P., ACHTNICH, A., METZLAFF, S. & ZANTOP, T. 2013. [Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament in single bundle technique]. *Oper Orthop Traumatol*, 25, 185-204.
- PETERSEN, W. & IMHOFF, A. B. 2014. [Reconstruction of the anterior cruciate ligament]. *Oper Orthop Traumatol*, 26, 5-6.
- PETERSEN, W., TAHERI, P., FORKEL, P. & ZANTOP, T. 2014. Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits. *Arch Orthop Trauma Surg*, 134, 1417-28.
- PETERSEN, W. & TILLMANN, B. 2002. [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade*, 31, 710-8.
- PETERSEN, W. & ZANTOP, T. 2007. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 35-47.
- PETERSEN, W. & ZANTOP, T. 2009. *Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie; mit 29 Tabellen*, Deutscher Ärzteverlag.
- PINCZEWSKI, L. A., LYMAN, J., SALMON, L. J., RUSSELL, V. J., ROE, J. & LINKLATER, J. 2007. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med*, 35, 564-74.
- POOLMAN, R. W., FARROKHVAR, F. & BHANDARI, M. 2007. Cumulative meta-analysis and clinically relevant sensitivity analysis show evidence for hamstring tendon autograft superiority compared to bone patellar-tendon bone autograft in ACL reconstruction. *Moving towards Evidence-Based Orthopaedic Surgery*, 255.
- RAHR-WAGNER, L., THILLEMANN, T. M., PEDERSEN, A. B. & LIND, M. 2014. Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population-based cohort study: results from the danish registry of knee ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 42, 278-84.
- RAUCH, D. M. G., SCHOEPP, D. M. C., HERBERT, P. D. M. M. & KRUTSCH, P.-D. D. M. W. 2019. Vordere Kreuzbandverletzungen: Bewährte und neue Therapien. *Deutsches Ärzteblatt*.
- RITCHIE, J. R. & PARKER, R. D. 1996. Graft selection in anterior cruciate ligament revision surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 325, 65-77.
- ROBSON, A. W. 1903. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg*, 37, 716-8.
- RUPP, S. & KOHN, D. 2002. Vorderes Kreuzband im Mittelpunkt des Interesses. *Orthopade*, 31, 701-701.
- SAKANE, M., FOX, R. J., WOO, S. L., LIVESAY, G. A., LI, G. & FU, F. H. 1997. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res*, 15, 285-93.
- SAMUELSON, T. S., DREZ, D., JR. & MALETIS, G. B. 1996. Anterior cruciate ligament graft rotation. Reproduction of normal graft rotation. *Am J Sports Med*, 24, 67-71.
- SANCHEZ, M., ANITUA, E., AZOFRA, J., PRADO, R., MURUZABAL, F. & ANDIA, I. 2010. Ligamentization of tendon grafts treated with an endogenous preparation rich in growth factors: gross morphology and histology. *Arthroscopy*, 26, 470-80.
- SANDERS, T. L., PAREEK, A., KREMERS, H. M., BRYAN, A. J., LEVY, B. A., STUART, M. J., DAHM, D. L. & KRYCH, A. J. 2017. Long-term follow-up of isolated ACL tears treated without ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25, 493-500.
- SCHILLER, M. & HOFFMANN, F. 2005. VKB-Plastik: Wahl des Ersatzmaterials. *Arthroscopie*, 18, 21-23.

- SCHLIEMANN, B., GLASBRENNER, J., ROSENBAUM, D., LAMMERS, K., HERBORT, M., DOMNICK, C., RASCHKE, M. J. & KOSTERS, C. 2018. Changes in gait pattern and early functional results after ACL repair are comparable to those of ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 26, 374-380.
- SCHLIEMANN, B., HERBORT, M., LENSCHOW, S., RASCHKE, M. & KÖSTERS, C. 2016. Dynamische intraligamentäre Stabilisierung frischer Rupturen des vorderen Kreuzbandes (Ligamys). *Trauma und Berufskrankheit*, 18, 254-259.
- SCHLIEMANN, B., LENSCHOW, S., DOMNICK, C., HERBORT, M., HABERLI, J., SCHULZE, M., WAHNERT, D., RASCHKE, M. J. & KOSTERS, C. 2017. Knee joint kinematics after dynamic intraligamentary stabilization: cadaveric study on a novel anterior cruciate ligament repair technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 25, 1184-1190.
- SCHMIDT-WIETHOFF, R. & DARGEL, J. 2007. Aktuelle Konzepte zur Diagnose und Therapie der vorderen Kreuzbandruptur. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58.
- SCHULTZ, R. A., MILLER, D. C., KERR, C. S. & MICHELI, L. 1984. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg Am*, 66, 1072-6.
- SCHÜNKE, M. 2014. *Topografie und Funktion des Bewegungssystems: Funktionelle Anatomie*, Georg Thieme Verlag.
- SEILER, H. & FRANK, H. 1993. Suture of the anterior cruciate ligament--what is the real value of this method? *Der Unfallchirurg*, 96, 443-450.
- SEITZ, H., MENTH-CHIARI, W. A., LANG, S. & NAU, T. 2008. Histological evaluation of the healing potential of the anterior cruciate ligament by means of augmented and non-augmented repair: an in vivo animal study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16, 1087-93.
- SEITZ, H., PICHL, W., MATZI, V. & NAU, T. 2013. Biomechanical evaluation of augmented and nonaugmented primary repair of the anterior cruciate ligament: an in vivo animal study. *Int Orthop*, 37, 2305-11.
- SERNERT, N., HELMERS, J., KARTUS, C., EJERHED, L. & KARTUS, J. 2007. Knee-laxity measurements examined by a left-hand- and a right-hand-dominant physiotherapist, in patients with anterior cruciate ligament injuries and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15, 1181-6.
- SHELBOURNE, K. D. & NITZ, P. 1990. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 18, 292-9.
- SHEPARD, R. J. 1988. Fitness Boom or Bust—A Canadian Perspective. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59, 265-269.
- SHERMAN, M. F., LIEBER, L., BONAMO, J. R., PODESTA, L. & REITER, I. 1991. The long-term followup of primary anterior cruciate ligament repair. Defining a rationale for augmentation. *Am J Sports Med*, 19, 243-55.
- SOLOMONOW, M., BARATTA, R., ZHOU, B. H., SHOJI, H., BOSE, W., BECK, C. & D'AMBROSIA, R. 1987. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med*, 15, 207-13.
- STEADMAN, J. R., CAMERON-DONALDSON, M. L., BRIGGS, K. K. & RODKEY, W. G. 2006. A minimally invasive technique ("healing response") to treat proximal ACL injuries in skeletally immature athletes. *The journal of knee surgery*, 19, 8-13.
- STEADMAN, J. R., MATHENY, L. M., BRIGGS, K. K., RODKEY, W. G. & CARREIRA, D. S. 2012. Outcomes following healing response in older, active patients: a primary anterior cruciate ligament repair technique. *J Knee Surg*, 25, 255-60.
- STEINBRÜCK, K. 1999. Epidemiologie von Sportverletzungen-25-Jahres-Analyse einer sportorthopädisch-traumatologischen Ambulanz. *Sportverletzung· Sportschaden*, 13, 38-52.
- STRAND, T., MOLSTER, A., HORDVIK, M. & KRUKHAUG, Y. 2005. Long-term follow-up after primary repair of the anterior cruciate ligament: clinical and radiological evaluation 15-23 years postoperatively. *Arch Orthop Trauma Surg*, 125, 217-21.

- TAYLOR, D. C., POSNER, M., CURL, W. W. & FEAGIN, J. A. 2009. Isolated tears of the anterior cruciate ligament: over 30-year follow-up of patients treated with arthrotomy and primary repair. *Am J Sports Med*, 37, 65-71.
- TEGNER, Y. & LYSHOLM, J. 1985. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*, 43-9.
- TESKE, W., ANASTISIADIS, A., LICHTINGER, T., VON SCHULZE PELLENGAHR, C., VON ENGELHARDT, L. & THEODORIDIS, T. 2010. Ruptur des vorderen Kreuzbands. *Der Orthopäde*, 39, 883-900.
- THOMPSON, S. M., SALMON, L. J., WALLER, A., LINKLATER, J., ROE, J. P. & PINCZEWSKI, L. A. 2016. Twenty-Year Outcome of a Longitudinal Prospective Evaluation of Isolated Endoscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Patellar Tendon or Hamstring Autograft. *Am J Sports Med*, 44, 3083-3094.
- TOANEN, C., DEMEY, G., NTAGIOPOULOS, P. G., FERRUA, P. & DEJOUR, D. 2017. Is there any benefit in anterior cruciate ligament reconstruction in patients older than 60 years? *The American journal of sports medicine*, 45, 832-837.
- TORG, J. S., CONRAD, W. & KALEN, V. 1976. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*, 4, 84-93.
- TOY, B. J., YEASTING, R. A., MORSE, D. E. & MCCANN, P. 1995. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train*, 30, 149-52.
- TSUDA, E., OKAMURA, Y., OTSUKA, H., KOMATSU, T. & TOKUYA, S. 2001. Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. *Am J Sports Med*, 29, 83-7.
- UCHIO, Y., OCHI, M., ADACHI, N., KAWASAKI, K. & KURIWAKA, M. 2003. Determination of time of biologic fixation after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons. *Am J Sports Med*, 31, 345-52.
- VAN DER LIST, J. P. & DIFELICE, G. S. 2017a. Primary repair of the anterior cruciate ligament: A paradigm shift. *Surgeon*, 15, 161-168.
- VAN DER LIST, J. P. & DIFELICE, G. S. 2017b. Range of motion and complications following primary repair versus reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Knee*, 24, 798-807.
- VAN DER LIST, J. P. & DIFELICE, G. S. 2017c. Role of tear location on outcomes of open primary repair of the anterior cruciate ligament: A systematic review of historical studies. *Knee*, 24, 898-908.
- VAN DER LIST, J. P. & DIFELICE, G. S. 2018. Preoperative magnetic resonance imaging predicts eligibility for arthroscopic primary anterior cruciate ligament repair. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26, 660-671.
- VAN DER LIST, J. P., JONKERGOUW, A., VAN NOORT, A., KERKHOFFS, G. & DIFELICE, G. S. 2019a. Identifying candidates for arthroscopic primary repair of the anterior cruciate ligament: A case-control study. *Knee*, 26, 619-627.
- VAN DER LIST, J. P., MINTZ, D. N. & DIFELICE, G. S. 2019b. Postoperative Magnetic Resonance Imaging following Arthroscopic Primary Anterior Cruciate Ligament Repair. *Adv Orthop*, 2019, 5940195.
- VAN ECK, C. F., LIMPISVASTI, O. & ELATTRACHE, N. S. 2018. Is there a role for internal bracing and repair of the anterior cruciate ligament? A systematic literature review. *The American journal of sports medicine*, 46, 2291-2298.
- VON LÜBKEN, F., SPENGLER, C., CLAES, C., MELNYK, M., FRIEMERT, B. & ORTHOPÄDIE, B. U. 2008. Das neuromuskuläre Defizit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 56, 17-22.
- WARNER, S. J., SMITH, M. V., WRIGHT, R. W., MATAVA, M. J. & BROPHY, R. H. 2011. Sport-specific outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 27, 1129-34.
- WARREN, R. F. 1983. Primary repair of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 65-70.

- WASMAIER, J., KUBIK-HUCH, R., PFIRRMANN, C., GREHN, H., BIEG, C. & EID, K. 2013. Proximal anterior cruciate ligament tears: the healing response technique versus conservative treatment. *J Knee Surg*, 26, 263-71.
- WEAVER, J. K., DERKASH, R. S., FREEMAN, J. R., KIRK, R. E., ODEN, R. R. & MATYAS, J. 1985. Primary knee ligament repair--revisited. *Clin Orthop Relat Res*, 185-91.
- WEBER, W. E. 1836. *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge: eine anatomisch-physiologische Untersuchung*, Dieterich.
- WEBSTER, K. E. & FELLER, J. A. 2016. Exploring the High Reinjury Rate in Younger Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*, 44, 2827-2832.
- WEILER, A., PETERS, G., MÄURER, J., UNTERHAUSER, F. N. & SÜDKAMP, N. P. 2001. Biomechanical properties and vascularity of an anterior cruciate ligament graft can be predicted by contrast-enhanced magnetic resonance imaging: a two-year study in sheep. *The American journal of sports medicine*, 29, 751-761.
- WILCKE, A. 2013. *Vordere Kreuzbandläsion: Anatomie Pathophysiologie Diagnose Therapie Trainingslehre Rehabilitation*, Springer-Verlag.
- WILSON, T. C., KANTARAS, A., ATAY, A. & JOHNSON, D. L. 2004. Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med*, 32, 543-9.
- WIPFLER, B., DONNER, S., ZECHMANN, C. M., SPRINGER, J., SIEBOLD, R. & PAESSLER, H. H. 2011. Anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon: a prospective comparative study with 9-year follow-up. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 27, 653-665.
- WIRTH, B., LIFFERT, F. & DE BRUIN, E. D. 2011. [Development and evaluation of a German version of the Lysholm score for measuring outcome after anterior cruciate ligament injuries]. *Sportverletz Sportschaden*, 25, 37-43.
- WIRTH, B., MEIER, N., KOCH, P. & SWANENBURG, J. 2013. Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbands. *Sportverletzung· Sportschaden*, 27, 21-27.
- WRIGHT, R., SPINDLER, K., HUSTON, L., AMENDOLA, A., ANDRISH, J., BROPHY, R., CAREY, J., COX, C., FLANIGAN, D. & JONES, M. 2011. Revision ACL reconstruction outcomes-MOON cohort. *The journal of knee surgery*, 24, 289.
- XIE, X., XIAO, Z., LI, Q., ZHU, B., CHEN, J., CHEN, H., YANG, F., CHEN, Y., LAI, Q. & LIU, X. 2015. Increased incidence of osteoarthritis of knee joint after ACL reconstruction with bone-patellar tendon-bone autografts than hamstring autografts: a meta-analysis of 1,443 patients at a minimum of 5 years. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 25, 149-159.
- YAGI, M., KURODA, R., NAGAMUNE, K., YOSHIYA, S. & KUROSAKA, M. 2007. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 100-7.
- ZACHER, J. 2006. *Klinische Untersuchung des Kniegelenkes*.
- ZANTOP, T., HERBORT, M., RASCHKE, M. J., FU, F. H. & PETERSEN, W. 2007. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med*, 35, 223-7.
- ZHONG, S., WU, B., WANG, M., WANG, X., YAN, Q., FAN, X., HU, Y., HAN, Y. & LI, Y. 2018. The anatomical and imaging study of pes anserinus and its clinical application. *Medicine (Baltimore)*, 97, e0352.
- ZIMNY, M. L., SCHUTTE, M. & DABEZIES, E. 1986. Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *Anat Rec*, 214, 204-9.

6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Klassisches Valgus-Außenrotationstrauma.	3
Abb. 2: Die verschiedenen Faserzüge des VKB.	6
Abb. 3: Insertionszonen der einzelnen Faserzüge des VKB.	7
Abb. 4: Einteilung der VKB Läsion nach Risslokalisation.	12
Abb. 5: Erweiterte Knie-Trauma-Kaskade nach Petersen und Kollegen.	15
Abb. 6: Geschlechterverteilung innerhalb der Gruppen.	21
Abb. 7: Altersverteilung innerhalb der Gruppen.	21
Abb. 8: Aircast Rolimeter.	28
Abb. 9: Armiertes Sehnentransplantat.	31
Abb. 10: Ligabrace-Technik.	34
Abb. 11: Technische Operationsschritte der Ligabrace-Technik.	35
Abb. 12: Mittelwerte der erreichten Scorewerte.	39
Abb. 13: Mittelwerte des IKDC Scores zu T0 und T2.	40
Abb. 14: Mittelwerte IKDC zum Zeitpunkt T2.	41
Abb. 15: Vergleich der Mittelwerte des Lysholm Scores zum Zeitpunkt T1 und T2.	42
Abb. 16: Streubreite der Mittelwerte des Lysholm Scores zum Zeitpunkt T2.	42
Abb. 17: Grading Lysholm Score.	43
Abb. 18: Mittelwerte Lysholm Score zu T0 und T2.	44
Abb. 19: Tegner Aktivitätsscore zu T0.	45
Abb. 20: Tegner Aktivitätsscore zu T2.	45
Abb. 21: Mittelwerte Tegner Aktivitätsscore.	46
Abb. 22: Erreichen des ursprünglichen Aktivitätslevels.	47
Abb. 23: Mittelwerte Rolimeter T1 und T2.	48
Abb. 24: IKDC Grade T1.	49
Abb. 25: IKDC Grade zu T2.	50
Abb. 26: Durchgängigkeit des VKB im MRT.	51
Abb. 27: Intensität des VKB in der MRT.	52
Abb. 28: Ankerrefixationstechnik nach Achtnich und Kollegen.	60
Abb. 29: Ligamys Technik.	61
Abb. 30: Internal Bracing.	62
Abb. 31: Signalintensität in der MRT.	72

7 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte</i>	24
<i>Tabelle 2: Patientenkollektiv</i>	55

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen danken, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben. Ich selbst habe bereits das Ausmaß einer VKB Ruptur am eigenen Leib miterlebt. Letztlich hat auch dies mein großes Interesse an der Weiterentwicklung der therapeutischen Optionen im Feld der Therapie der VKB Rupturen enorm bestärkt.

Mein besonderer Dank gilt dem Team der Klinik am Ring in Köln, besonders Dr. med. Jan Vonhoegen und Dr. med. Dominik John für die enorme Unterstützung bei der Durchführung und Umsetzung der gesamten Arbeit. Natürlich möchte ich mich auch bei Prof. Dr. med. Thilo Patzer und Dr. med. Jan Graßmann für die hervorragende Betreuung bedanken.

Meinen Eltern, Geschwistern und Markus Sonnenberg danke ich für ihre Geduld und Unterstützung während des gesamten Studiums, sowie während der Arbeit an meiner Dissertation.

Anhang

(page 7)

2000

FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES

Name _____

Heutiges Datum: ____/____/____ Datum der Verletzung ____/____/____
Tag Monat Jahr Tag Monat Jahr

SYMPTOME:

* Wählen Sie zur Beurteilung der Symptome die höchste Aktivitätsstufe, die Sie Ihrer Meinung nach ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben.

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 (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.

2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen? Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (Nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (ständig Schmerzen).

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

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).

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

4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung?
 - überhaupt nicht
 - etwas
 - ziemlich
 - sehr
 - extrem

5. Was ist das höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?
 - Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (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 eines geschwollenen Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung ein gesperrtes Knie oder ist Ihr Knie aus- und wieder eingeschnappt?

Ja Nein

7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (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 der Knieschwäche keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

(page 8)

SPORTLICHE BETÄTIGUNG:

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

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (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 die folgenden 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"/>

FUNKTION:

10. Wie würden Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Knies auf einer Skala von 0 bis 10 beurteilen, wobei 10 eine normale und ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bezeichnet und 0 die Unfähigkeit, irgendeine Ihrer normalen täglichen Aktivitäten, darunter möglicherweise auch Sport, auszuführen?

FUNKTIONSFÄHIGKEIT VOR DER KNEIVERLETZUNG:

Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
<input type="checkbox"/>	

DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES:

Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
<input type="checkbox"/>	

(page 16)

2000
FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

Name des Patienten _____ Geburtsdatum: ____/____/____

Geschlecht: W M Alter: _____ Tag _____ Monat _____ Jahr _____
 Untersuchungsdatum: ____/____/____ Tag _____ Monat _____ Jahr _____

Allgemeine Laxizität: verminderte Laxizität normal erhöhte Laxizität
 Beinachse: eindeutig Varus normal eindeutig Valgus
 Patellastellung: baja normal alta

Subluxation/Dislokation der Patella: zentriert subluxierbar subluxiert disloziert
 Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung): Betroffene Seite: passiv ____/____/____ aktiv ____/____/____
 Normale Seite: passiv ____/____/____ aktiv ____/____/____

	SIEBEN GRUPPEN				VIER GRADE				*GRUPPENGRAD			
	Normal	Fast normal	Abnormal	Deutlich abnormal	A	B	C	D				
1. Erguß	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> leicht	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2. Passives Bewegungsdefizit												
Δ Streckdefizit	<input type="checkbox"/> < 3°	<input type="checkbox"/> 3-5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> > 10°								
Δ Beugedefizit	<input type="checkbox"/> 0-5°	<input type="checkbox"/> 6-15°	<input type="checkbox"/> 16-25°	<input type="checkbox"/> > 25°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
3. Ligamentuntersuchung (manuell, instrumentell, Röntgen)												
Δ Lachman Test (25° Beugung (134 N))	<input type="checkbox"/> -1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm (++)	<input type="checkbox"/> 6-10mm (++)	<input type="checkbox"/> >10mm (+++)								
		<input type="checkbox"/> <-1- -3	<input type="checkbox"/> <-3 steif									
Δ Lachman Test (25° Beugung) manuell, max. Vorderer Endpunkt:	<input type="checkbox"/> -1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
	<input type="checkbox"/> fest		<input type="checkbox"/> unsicher									
Δ Gesamt AP-Translation (25°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
Δ Gesamt AP-Translation (70°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
Δ Hintere Schublade (70°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
Δ Valgusstress	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
Δ Varusstress	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm								
Δ Außenrotationstest (30°)	<input type="checkbox"/> < 5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> 11-19°	<input type="checkbox"/> >20°								
Δ Außenrotationstest (90°)	<input type="checkbox"/> < 5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> 11-19°	<input type="checkbox"/> >20°								
Δ Pivot shift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> +Gleiten	<input type="checkbox"/> ++(dumpf)	<input type="checkbox"/> +++ (laut)								
Δ Reverse pivot shift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> Gleiten	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> ausgeprägt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
4. Kompartimentbefunde		Krepitation	Krepitation mit									
Δ Krepitation anterior (PF)	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem Schmerz	<input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz								
Δ Krepitation mediales Komp.	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem Schmerz	<input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz								
Δ Krepitation laterales Komp.	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem Schmerz	<input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz								
4. Transplantatentnahmemorbidität	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich								
6. Röntgenbefund:												
Medialer Gelenkspalt	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich								
Lateraler Gelenkspalt	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich								
Femoropatellar-Gelenk	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich								

Vorderer Gelenkspalt (sagittal) kein gering mäßig deutlich
Hinterer Gelenkspalt (sagittal) kein gering mäßig deutlich

7. Funktionstest

Hüpfen auf einem Bein $\geq 90\%$ 89-76% 75-50% $< 50\%$
(in % der gegenüberliegenden Seite)

**** Abschlußbeurteilung**

* Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

** Abschlußbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Abschlußbeurteilung nach dem schlechteren Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen. Bei einer Abschlußbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert. Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

IKDC-AUSSCHUSS:

AOSSM: Anderson, A., Bergfeld, J., Boland, A., Dye, S., Feggin, J., Hamer, C., Mohr, N., Richmond, J., Shelbourne, D., Terry, G.

ESSKA: Staubli, H., Hefti, F., Höher, J., Jacob, R., Müller, W., Neyret, P.

APOSSM: Chan, K., Kurosaka, M.

Lysholm Score (modifizierter Score nach Lyshom 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
• 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 and 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 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

GESAMTPUNKTEZAHL



Tegner Activity Scale (TAS)

(validierte deutsche Version (Wirth 2013))

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	<ul style="list-style-type: none"> Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau) 	10
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau) 	9
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen) 	8
Wettkampfsport zz Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf Eishockey, Fußball, Ski alpin 	7
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche) 	6
Wettkampfsport Freizeitsport Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf Turnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x die Woche) Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit) 	5
Freizeitsport Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling Leichte körperliche Arbeit Querfeldein ist möglich 	3

Arbeit	<ul style="list-style-type: none">• Vorwiegend sitzende Tätigkeit	2
Gehen	<ul style="list-style-type: none">• Auf unebenem Boden möglich	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none">• Sitzende Tätigkeit	1
Gehen	<ul style="list-style-type: none">• Nur auf ebenem Boden möglich	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none">• Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen	0
Gehen	<ul style="list-style-type: none">• Nur eingeschränkt möglich	

