

**Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. Rainer Meffert**

**Die Healing Response Technik-
langfristige Ergebnisse nach Anmeißelung des vorderen Kreuzbandes bei
Partialrupturen
Inaugural-Dissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von
Sebastian Jovic
aus Sulzthal
Sulzthal, September 2022**



Referenten: Prof. Dr. Rainer Meffert
Korreferent: Prof. Dr. med. Ivo Aleksic
Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2022

Der Promovend ist Arzt

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	S. 1
1.1 Embryologie und Anatomie des vorderen Kreuzbandes	S. 3
1.2 Bündelstruktur des vorderen Kreuzbandes	S. 4
1.3 Funktion des vorderen Kreuzbandes und Kinematik des Kniegelenkes	S. 7
1.4 Chirurgie des vorderen Kreuzbandes	S. 7
1.4.1 Historischer Rückblick und neue Behandlungsmethoden	S. 7
1.4.2 Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes – Verletzungsursache und Klassifikation	S. 10
1.4.2.1 Verletzungsmechanismus	S. 10
1.4.2.2 Klassifikation	S. 13
1.4.2.3 Therapie und aktuelle Studienlage	S. 14
1.4.3 Fragestellung	S. 16
1.4.3.1 Endpunkte	S. 16
1.4.3.2 Langzeitergebnisse	S. 16
1.4.3.3 Nullhypothese und Arbeitshypothese	S. 16
2 Material und Methoden	S. 17
2.1 Ethikvotum	S. 17
2.2 Studienkonzept	S. 17
2.3 Studienablauf und Studienkollektiv	S. 18
2.4 Operatives Vorgehen / technische Durchführung	S. 19
2.5 Nachbehandlung	S. 20
2.6 Befundung und Dokumentation	S. 21
2.6.1 Befunderhebung nach dem IKDC 2000	S. 21
2.6.2 Lachman Test	S. 22
2.6.3 Pivot Shift	S. 24
2.6.4 Befunderhebung nach dem Lysholm Score	S. 25
2.6.5 Befunderhebung nach dem Tegner-Score	S. 26
2.6.6 Mixed Mode Befragung	S. 26
2.7 Statistische Auswertung	S. 26

3	Ergebnisse	S. 27
3.1	Beschreibung des Gesamtkollektivs	S. 27
3.2	postoperatives Outcome	S. 28
3.2.1	Modifizierter IKDC Score	S. 28
3.2.2	Tegner Activity Score	S. 34
3.2.3	Lyshom Score	S. 34
3.2.4	Korrelation der Fragebögen/Tests	S. 35
3.2.5	Lachman-Test	S. 37
3.3	Korrelation OP-Zeitpunkt	S. 39
3.4	Ergebnisse der Mixed-mode Befragung	S. 43
4	Diskussion	S. 44
4.1	Diskussion des Gesamtkollektivs	S. 44
4.2	Arbeitshypothese	S. 45
4.2.1	Revisionsoperationen	S. 45
4.2.2	Subjektive Funktion	S. 46
4.2.3	Klinische Untersuchung	S. 46
4.2.4	Hypothesenüberprüfung	S. 47
4.2.5	Hypothesenüberprüfung anhand der Literatur	S. 47
4.3	Diskussion des Operationszeitpunktes	S. 48
4.4	Diskussion Operationstechnik	S. 50
4.5	Diskussion Fragebögen	S. 50
4.6	Studienlimitierung	S. 52
4.7	Ausblick	S. 53
4.8	Fragestellungen	S. 53
5	Zusammenfassung	S. 55
6	Literaturverzeichnis	S. 56
Appendix		
I	Abkürzungsverzeichnis	
II	Abbildungsverzeichnis	
III	Tabellenverzeichnis	
IV	Danksagung	
V	Lebenslauf	

VI Veröffentlichung und Kongressteilnahme

VII Patientenansreiben und Scorebögen

1 Einleitung

In der heutigen Zeit nehmen Freizeit- und Leistungssport einen zunehmend hohen Stellenwert an. Dabei ist eine steigende Inzidenz vor allem bei Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB) zu erkennen (Mehl, 2018). Schädigungen am VKB können einen erheblichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes ausüben. Dabei sind sekundär degenerative Erkrankungen, wie zum Beispiel das Auftreten einer Arthrose, eine der schwerwiegendsten Komplikationen nach einer Verletzung des VKB. Die adäquate Versorgung einer Verletzung des VKB ist empfehlenswert, um die passive Stabilität des Kniegelenkes wiederherzustellen und somit Folgeschäden an Knorpel und Meniskus verhindern zu können. Ob durch eine Kreuzbandersatzplastik die Entstehung einer Arthrose verhindert werden kann, wird weiterhin kontrovers diskutiert, da die Studienlage hier deutlich heterogen ist (Mehl, 2019b)

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Untersuchung von arthroskopisch versorgten Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB). Seit 1996 wurde immer wieder eine minimalinvasive Therapiemethode zur Behandlung von Verletzungen des VKB diskutiert. 2006 wurden erstmals Ergebnisse über die Healing Response Technik von Steadman und Kollegen publiziert (Steadman, 2006) und dort als Alternative zur vorderen Kreuzbandplastik dargestellt. J. Richard Steadman gilt als Pionier für die Healing Response Technik. Einen hohen Bekanntheitsgrad gewann die durch ihn etablierte Mikrofrakturierung bei Knorpeldefekten (Steadman, 2003). Mit Hilfe dieser erworbenen Erkenntnisse sollte sich durch die gezielte Mikrofrakturierung nahe der femoralen Insertion des VKB ein Koagel bilden, welcher sich letztendlich in ein Hämatom umwandelt. Die hier lokal erhöhte Konzentration an Wachstumsfaktoren und Stammzellen führt demnach zum Verheilen des rupturierten VKB. Voraussetzung für eine mögliche Einheilung ist eine gewisse Kontinuität der Bandfasern, da ansonsten durch eine vollständige Retraktion der Bandstümpfe eine Einheilung verhindert werden würde. Diese Technik zeigte sich erfolgreich bei Erwachsenen mittleren Alters. (Steadman, 2006; Steadman, 2012). Der mit einer Rekonstruktion des VKB einhergehende primäre Verlust der Propriozeption und Änderung der biomechanischen Bezugspunkte führte dazu, dass das Regenerationspotential bzw. deren Unterstützung bei Rupturen des vorderen Kreuzbandes vermehrtes Interesse auf molekularbiologischer Forschungsebene erhielt.

Des Weiteren brachte das Gebiet des Tissue engineering neue Ansätze, um bestehende Techniken mittels molekularbiologischer Effekte im Sinne eines sogenannten „bio-enhancements“ zu verbessern. Hierfür war es zunächst erforderlich zu verstehen, was die Ursache für das geringere Regenerationspotential eines gerissenen Kreuzbandes ist. Dem wurde die hohe Heilungsrate (Andrish, 1979; Fisher, 2012; Robayo, 2011; Woo, 2000; Xie, 2014; Xie, 2012; Xie, 2013a; Xie, 2013b; Zhang, 2009; Zhou, 2005) mit der eines rupturierten medialen Kollateralbandes des Kniegelenkes gegenübergestellt. Für die deutlich geringere Heilungstendenz wurden mehrere Faktoren als ursächlich betrachtet. Hier hat die Synovialflüssigkeit Einfluss auf die Heilung (Andrish, 1979; Barlow, 1992; Murray, 2007; Woo, 2000). Kommt es zu einer Verletzung, führt dies zu Veränderungen der Entzündungsreaktion und des Zellstoffwechsels (Amiel, 1989; Xie, 2014; Xie, 2012; Xie, 2013a; Xie, 2013b). Ebenso entsteht ein sogenannter Mangelzustand im Zellinneren (Gesink, 1992; Kobayashi, 2000; Zhang, 2009), welcher die Heilung beeinflusst. Auch die unterschiedliche Gefäßversorgung spielt eine wichtige Rolle (Bray, 2002, 2003). Ein weiterer Unterschied besteht in der unterschiedlichen Belastbarkeit des vorderen Kreuzbandes und des medialen Kollateralbandes, was die Widerstandsfähigkeit von Belastungen (Valgusstress) betrifft (Bray, 2003; Quatman, 2014). Dieser gewonnene Wissenszuwachs verhalf zu neuen Behandlungsmethoden bei Verletzungen des VKB. Die nachgewiesenen Heilungsunterschiede zwischen VKB-Rupturen und Rupturen des medialen Kollateralbandes (MCL) können auch zum Verständnis des Prinzips der Healing Response Technik beitragen. Murray und Fleming (Murray, 2013) zeigten diese Unterschiede bereits auf. Kommt es zu einer Ruptur des MCL bildet sich nach Trauma ein lokales extravasales Blutgerinnsel oder auch Koagel während der inflammatorischen Phase. In der darauffolgenden Proliferationsphase kommt es zur Kollagenproduktion im Bereich der ehemaligen Rupturstelle. Die anschließende Remodellierungsphase mündet letztlich in die Heilung der Ruptur ein (Murray, 2013). Beim Kongress der AGA-Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie 2009 in Leipzig wurden erste Ergebnisse durch diese Operationsmethode vorgestellt (Fehske, 2009).

1.1 Embryologie und Anatomie des vorderen Kreuzbandes

Zwischen Tibia- und Femuranlage entwickeln sich die beiden Kreuzbänder ortsständig aus dem Synovialmesenchym (B. Tillmann, 1974). Gegen Ende der Embryonalperiode heben sich die Anlagen des vorderen und hinteren Kreuzbandes vom umgebenden Gewebe der Gelenkzwischenzonen deutlich ab. Zu diesem Zeitpunkt bestehen die Anlagen des vorderen und hinteren Kreuzbandes aus zellreichem Bindegewebe. Die darin enthaltenen Fibroblasten verlaufen in Zugrichtung der Kreuzbänder. Zudem ist in der späten Embryonalperiode die Form der Gelenkkörper zu erkennen. Es wird vermutet, dass die Bewegung der Gelenkkörper schon zu Beginn durch den Verlauf der Kreuzbänder geführt wird. Ferner wird die Formbildung der beiden Femurkondylen und des Tibiaplateaus durch die Führung der Kreuzbänder für möglich gehalten. Andererseits passt sich die Struktur der Kreuzbänder an die mechanischen Reize während der Embryonalentwicklung an. (W. Petersen, 2002)

Das VKB entspringt fächerartig an der Wand der Fossa intercondylaris am lateralen Femurkondylus und verläuft schräg nach distal-vorne-medial zur ovalförmigen Insertion zwischen der medialen und lateralen Eminentia intercondylaris (Bernhard Tillmann, 1998). Das femorale Ursprungsareal ist oval bzw. halbmondförmig mit einer in der Literatur beschriebenen Größenausdehnung von ca. 11mm Länge und ca. 18 mm Breite (Odensten, 1985). Dieses befindet sich im hinteren Bereich der Fossa intercondylaris. Begrenzt wird es durch die Linea intercondylaris und den Knorpel-Knochen-Übergang (Wolf Petersen, 2009) Die tibiale Insertion weist eine dreieckige Fläche auf. Aufgrund seiner Form wird sie auch als Entenfuß („Duckfoot“) bezeichnet. (Amis, 1991). Diese ist im Vergleich zum VKB Querschnitt im gesamten Bandverlauf ca. 3-mal größer. (Baek, 1998). Durchschnittlich beträgt die Größenausdehnung 17 mm in der Sagittalebene und 11 mm in der Transversalebene (Marshall, 1979). Die Fossa intercondylaris befindet sich auf der Rückseite des Femurs zwischen dem medialen und lateralen Kondylus. Die Linea intercondylaris trennt hierbei die Rückfläche des Femurs, die Facies poplitea, von der Fossa intercondylaris. Hier entspringt auch der fibröse Anteil der Gelenkkapsel. Die Fossa intercondylaris verjüngt sich im Verlauf nach anterior und grenzt dort an den Gelenkknorpel der Facies patellaris. Das VKB windet sich in seinem Verlauf um die Vorderkante der Fossa intercondylaris. An dieser Kontaktstelle befindet sich meist eine

kleine Rinne. Das hintere Dach der Fossa intercondylaris ist bogenförmig, während das vordere Dach spitzwinklig ist. Der Winkel beträgt in der Sagittalebene ungefähr 40° zur Längsachse des Femurs. In der seitlichen Röntgenaufnahme zeigt sich das Dach der Fossa intercondylaris als röntgendichte Linie (sog. Blumensaat-Linie) (W. Petersen, 2002). Das VKB ist heterogen durchblutet (W. Petersen, 1999). Die Äste der A. medialis genu bilden ein periligamentäres Gefäßnetz im Bereich des Synoviaschlauches um das VKB und strahlen von hieraus horizontal in das VKB ein. Diese versorgen lediglich den proximalen Anteil des VKB. Kommt es nun zu einer Ruptur des VKB jenseits der femoralen Insertion ist die Heilungstendenz gering. Ein für die Heilung erforderliches Blutgerinnsel kann hier lokal nicht entstehen. Aufgrund der zentralen Lage im Kniegelenk besteht dort eine erhöhte Konzentration an Plasmin welche die Bildung eines Fibrinclots verhindert (Murray, 2013). Letzlich vernarbt das VKB bei femorseitiger Ruptur mit dem hinteren Kreuzband zur sogenannten Lamdakonfiguration. Diese verfügt jedoch nicht über eine ausreichende Stabilität und stellt so keine suffiziente Therapieoption dar, da durch diese nur die anterior posteriore Translation stabilisiert werden kann. Eine Rotationsinstabilität persistiert zumeist, vor allem unter Belastung.

1.2 Bündelstruktur des vorderen Kreuzbandes

Das VKB besteht aus unterschiedlichen Faserbündeln, die in Abbildung (Abb.) 1 und Abb. 2 dargestellt sind. Deren Struktur wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Aus anatomischer Sicht kann jedoch anhand des Bandverlaufs eine große Anzahl einzelner Bündelstrukturen unterschieden werden (W. Petersen, 1999). Die Fasern des VKB bestehen größtenteils aus Kollagen Typ I. Diese wiederum werden zu sogenannten Faserzügeln zusammengefasst, die von lockerem Bindegewebe abgegrenzt werden. Eine histologische Differenzierung ist somit nur schwer möglich. Eine klare Septierung konnte zwischen den beiden Bündeln histologisch nicht nachgewiesen werden. (Odensten, 1985). In den vergangenen Jahren hat sich jedoch die Differenzierung zweier funktioneller Hauptbündel etabliert.

Diese wird im anatomischen Verlauf und dessen biomechanischem Verhalten des VKB begründet (B. A. Smith, 1993).

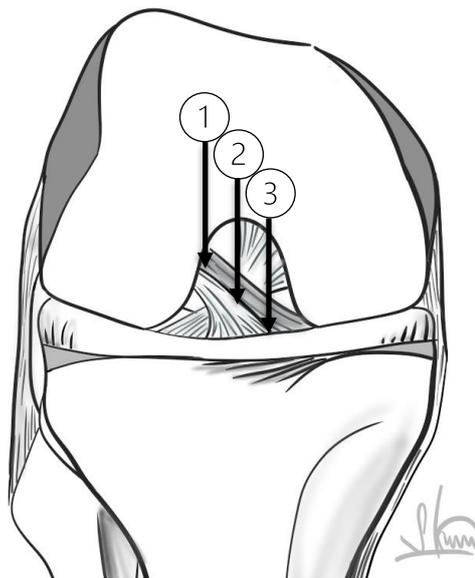


Abb.1: Darstellung des Bandapparates am Kniegelenk; die anteromedialen Faserbündel sind hier farblich hervorgehoben. Die Rupturlokalisationen sind femoralseitig (1), ligamentär (2) oder tibialseitig (3)

So inserieren die Fasern die femoral kranial entspringen im anteromedialen Anteil der tibialen Insertionszone. Die femoral kaudalen Fasern setzen im posterolateralen Anteil an (Fuss, 1989). Die Faserbündel weisen kein isometrisches Spannungsverhalten in den unterschiedlichen Anteilen des VKB auf. Es bleiben auch über den gesamten Bewegungsumfang nicht alle Faserbündel angespannt (Amis, 1991).

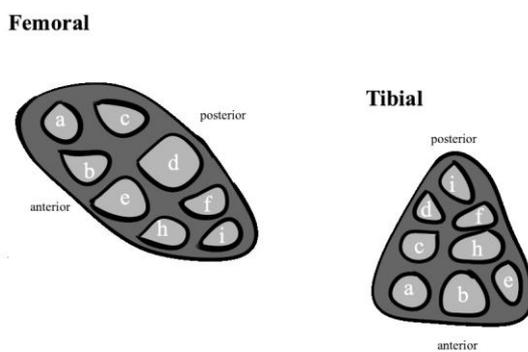


Abb. 2: Schematische Darstellung der Faserbündel am Ursprung und Ansatz des VKB, modifiziert nach Petersen (W. Petersen, 2002)

Die anteromedialen Fasern haben eine engere Lagebeziehung zum Drehpunkt des Kniegelenkes als die posterolateralen Fasern und sollen dementsprechend über einen größeren Bewegungsabschnitt gespannt sein (Fuss, 1989). Diese Fasern werden deshalb auch als sogenannte „Führungsbündel“ beschrieben (Fuss, 1989). Je weiter das Kniegelenk gebeugt wird, desto mehr nimmt die Spannung der posterolateralen Fasern ab (Abb. 3), sodass sich diese um den Kniedrehpunkt rotieren (Fuss, 1989). Die posterioren Fasern kommen in endgradiger Streckstellung unter Spannung und werden auch „Sicherungsbündel“ genannt (Fuss, 1989).

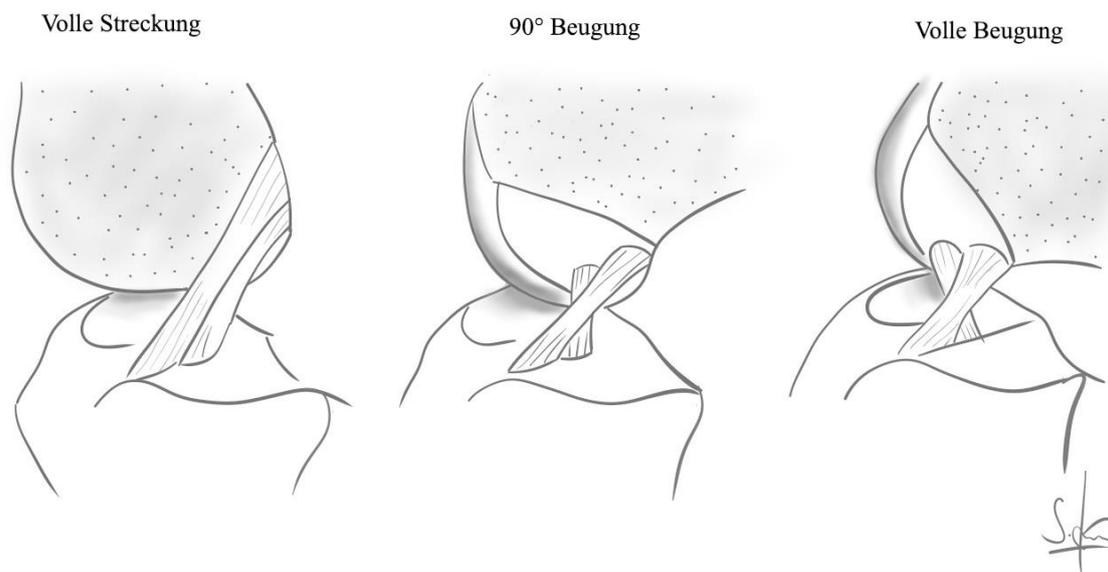


Abb. 3: Spannungsverhalten der Bündelstrukturen in Abhängigkeit der Kniegelenksstellung

Zur verbesserten Indikationsstellung und Optimierung der Therapie ist die Bündelstruktur sowie der Zustand des Synoviaschlauches mitentscheidend. Eine exakte Differenzierung lässt sich im MRT morphologisch nicht darstellen. Eine arthroskopisch basierte Klassifikation nach Koch (Koch, 2018) lässt die Partialrupturen in 5 Grade exakt einteilen:

Grad 1: Synoviaschlauch intakt mit Einblutung des VKB

Grad 2: eröffneter Synoviaschlauch ohne herausragende Faseranteile des VKB

Grad 3: eröffneter Synoviaschlauch mit herausragenden Faseranteilen des VKB

Grad 4: 25-50% eines Faserbündels sind erhalten

Grad 5: 10-25% eines Faserbündels sind erhalten

1.3 Funktion des vorderen Kreuzbandes und Kinematik des Kniegelenkes

Die wichtigste Funktion des VKB ist es, die Verschiebung der Tibia nach anterior zu limitieren (Inoue, 1987) . Dies geschieht am effektivsten bei einem Beugewinkel zwischen 20° und 30°. Wird in diesem Beugungsgrad das VKB durchtrennt, lässt sich die Tibia um 5-10 mm weiter nach vorne verschieben (Takeda, 1994). Die Innenrotation des Kniegelenkes wird sowohl durch das vordere als auch das hintere Kreuzband begrenzt, indem sich die beiden Kreuzbänder umeinander schlingen (Gruber, 1986). Neben der passiven Sicherung des Kniegelenkes durch das VKB weist dieses auch Mechanorezeptoren auf. Dadurch erhält das VKB auch eine propriozeptive Komponente, welche einen wichtigen Bestandteil für die Kinematik des Kniegelenkes darstellt. Hinweise für die sensorische Bedeutung der Propriozeptoren im VKB sind in der Literatur zahlreich vertreten. Wird das vordere Kreuzband im Rahmen einer Arthroskopie elektrisch stimuliert, so lassen sich EMG-Signale im M. semimembranosus sowie dem M. biceps femoris nachweisen (Beard, 1994). Die Durchführung einer elektrischen Stimulation an einer Kreuzbandersatzplastik lässt die Reizschwelle ansteigen, sodass die Kontraktion der ischiokruralen Muskulatur nur erschwert auszulösen ist (Krogsgaard, 2011). Auf diese Weise können die propriozeptiven Elemente die Gelenkstellung wahrnehmen und den Tonus sowie die Aktivität der zu stabilisierenden Muskulatur regulieren. Dabei wirkt die Muskulatur agonistisch zum VKB und wirkt durch dessen Kontraktion der Verschiebung der Tibia nach vorne entgegen.

1.4 Chirurgie des vorderen Kreuzbandes

1.4.1 Historischer Rückblick und neue Behandlungsmethoden

Etwa 3000 v. Chr. wurden die Kreuzbänder erstmals auf einer Papyrusrolle erwähnt. 460-370 v. Chr. beschrieb Hypokrates eine Subluxation des Kniegelenkes, falls es zu einer Verletzung gekommen sei. Die „ligamenta genu cruciata“ samt deren stabilisierenden Funktion erhielten 129-199 v. Chr. ihre Namensgebung durch Claudius Galen von Pergamon. Die Gebrüder Weber beschrieben erstmals 1836 die biomechanischen Eigenschaften des Kniegelenkes mit der Stabilisierung in der a.p. Ebene. Im Jahre 1845

erstellte A. Bonnet eine umfassende Monographie über Kniebandverletzungen anhand von Kadaverstudien. Hier wurde eine vermehrte Anzahl von Rupturen des VKB an seiner femoralen Insertion beschrieben (Bonnet, 1845). In einem frühen Bericht von 1850 beschrieb James Stark die Möglichkeit der Gipsruhigstellung bei VKB Rupturen mit seiner Ansicht nach guten Ergebnissen (Stark, 1850). Mit den zunehmenden Möglichkeiten der Chirurgie wuchs auch das Interesse an operativen Therapieoptionen. Die primäre Bandnaht war der Beginn der Kreuzbandchirurgie. M. Robson (Robson, 1903) versorgte 1895 eine VKB-Ruptur und eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes (HKB) eines Bergarbeiters mittels Catgut nach dem Prinzip einer Bandnaht. Eine Nachuntersuchung des Patienten zeigte 8 Jahre später eine gute Gelenkfunktion ohne Instabilitätszeichen (Robson, 1903). H. Goetjes publizierte 1913 eine Sammelstatistik mit 30 Patienten, die mittels Bandnaht versorgt wurden. Hieraus wurde die Empfehlung gegeben, eine Bandnaht nur im akuten Fall durchzuführen (Goetjes, 1913). Kritische Stimmen kamen bereits früh im Jahre 1916 auf, als R Jones die Behauptung aufstellte, dass eine Reparatur des Bandes nur auf die narbige Ausheilung des verletzten Gewebes zurückzuführen sei (R. Jones, 1916). In der Folgezeit gab es lebhafte Diskussionen über die Vor- und Nachteile der konservativen gegenüber der operativen Therapie. Zudem wurden die einzelnen Therapieverfahren bei bestehender Indikation zur Operation ausgiebig diskutiert. Bis in die Mitte der 1970er Jahre wurde die primäre Bandnaht bei akuten Rupturen des VKB empfohlen und favorisiert (Baumgartl, 1964; Lange, 1949; Lindemann, 1950; Lutz, 1954; O'Donoghue, 1950). Als J. Feagin jedoch im Jahre 1976 eine Studie mit ernüchternden Langzeitresultaten publizierte (Feagin, 1976), wurde die Indikationsstellung zur primären Bandnaht kritisch überdacht. Folgeuntersuchungen hierzu zeigten sogar eine zunehmende Verschlechterung der Langzeitresultate (Kaplan, 1990; Odensten, 1984; Sommerlath, 1991), sodass man sich von der primären Bandnaht als Therapieoption abwand (Fink, 1996; Grontvedt, 1996; Hertel, 1996; Schmid, 1996; Seiler, 1993). Die Bandersatzplastik rückte nun in das wissenschaftliche Interesse. Autologe Bandersatzplastiken wurden erstmals 1914 durch E. Hesse mittels Faszia lata Streifen veröffentlicht (Hesse, 1914). Im Laufe der Zeit wurden die Verfahren der autologen Bandersatzplastik immer weiter modifiziert. K. Lindemann stellte in der Nachkriegszeit erste Ergebnisse nach Verwendung der Sehnen des M. gracilis und M. semitendinosus vor (Lindemann, 1950) Dreizehn Jahre später beschrieb K. Jones die

Verwendung eines distal gestielten Transplantates. Dazu wurde das mittlere Drittel der Patellarsehne samt eines proximalen Knochenblocks herausgelöst. Dieses wurde unterhalb des hoffaschen Fettkörpers geführt und proximal in der lateralen Notch unterhalb der Knorpel-Knochen Grenze fixiert (K. G. Jones, 1963). Im deutschsprachigen Raum wurde das Verfahren auch „Brückner-Plastik“ genannt. Dieser veröffentlichte 1966 ein Verfahren, bei dem das Transplantat nicht unter dem hoffaschen Fettkörper, sondern durch einen vorgebohrten tibialen Kanal geführt wurde. In derselben Publikation wurde als Alternative für ein ipsilateral entnommenes Transplantat die Verwendung eines Transplantates der Gegenseite mit tibialem Knochenblock. Hier wird vermutlich die erste Verwendung eines Knochen-Sehnen-Knochen Transplantates beschrieben (Brückner, 1966). Neben der Semitendinosus- und Gracilissehne hat sich in der Folgezeit das Patellarsehnentransplantat als eines der Standardtransplantate beim autologen Bandersatz behaupten können (Fu, 1996; Lobenhoffer, 1993). Der allogene Bandersatz konnte sich trotz seiner Vorteile (verkürzte OP Dauer, geringere Zugangsmorbidität bei entfallender Sehnenentnahme) nicht als Standard etablieren (Burger, 2000). Die zunehmende Ausbreitung von HIV- und Hepatitisinfektionen war mitunter hauptursächlich dafür, dass allogene Transplantate heute nur noch in absoluten Ausnahmefällen ihre Verwendung finden. Durch erweiterte Testverfahren, die vom Hersteller weit über die der EU Richtlinien geforderten Ausschlussuntersuchungen hinausgehen, konnte das Infektionsrisiko durch Allografts deutlich reduziert werden (Pruss, 2017). Mitte der 70er Jahre wurden verschiedene Formen der Augmentation des VKB bei Rupturen erprobt. Unter anderem wurde das VKB mittels eines nicht resorbierbaren Polypropylenbandes augmentiert (Kennedy LAD™)(Kennedy, 1980) Langzeitergebnisse zeigten jedoch, dass es bei über 25% der Patienten zu einer Revision und oder einer VKB Insuffizienz kam(Winnisch, 2018). Als Weiterentwicklung wurde der VKB Reinsertion mittels (statischer) innerer Schienung durch ein geeignetes Faden-Anker System „Internal oder Ligament Bracing“ neue Beachtung geschenkt. Gute klinische Ergebnisse aus der Sprunggelenks- und Schulterchirurgie (Mackay, 2015) führten dazu diese Technik auch in der Kreuzbandchirurgie zu etablieren. Hierbei werden arthroskopisch die beiden Kreuzbandstümpfe über ein Faden-Anker System wieder miteinander verbunden. Die aktuelle Studienlage zu mittel- oder langfristigen Ergebnissen ist jedoch noch nicht stark

publiziert (DiFelice, 2018), sodass hier noch weitere wissenschaftliche Untersuchungen abzuwarten sind.

Als neuere Techniken zur Stabilisierung des VKB wurde die sogenannte Ligamys-Methode etabliert (Ahrend, 2018). Hierbei handelt es sich im Gegensatz zur konventionellen Augmentation oder Naht des VKB um eine dynamische Stabilisierung. Dabei wird über eine Feder während des gesamten Bewegungsumfanges des Kniegelenkes eine Vorspannung auf das augmentierte VKB ausgeübt. Die aktuelle Studienlage zeigt hier vergleichbare Ergebnisse im Vergleich zur VKB Rekonstruktion bei jedoch erhöhter Insuffizienzrate und Rerupturen (Henle, 2015).

Grundsätzlich ist der Erhaltungsansatz bei der Versorgung von Verletzungen des Bewegungsapparates führend, solange dies möglich und medizinisch vertretbar ist. Der vollständige Ersatz des VKB ist auch nicht vollständig risikobefreit. Hierbei klagen 30% der Patienten über eine postoperativ bestehende Kniegelenkslaxizität (Nohmi, 2012). Als Ursache liegen hier biomechanische, sowie biologische Faktoren zugrunde. Wird das Transplantat nur mangelhaft fixiert (Bourke, 2012) oder heilt dieses nur unzureichend in die Bohrkanäle ein, kann es zur Elongation des VKB kommen (Lui, 2011). Ein weiterer Faktor für die Elongation ist die nicht anatomische Positionierung der Bohrkanäle (Hussein, 2012; S. Lee, 2012). Durch den vollständigen Ersatz kommt es zudem zum Verlust bzw. zur Reduzierung wichtiger propriozeptiver Elemente, welche im VKB vorhanden sind. Diese sind für die Koordination zwischen Ischiokrural- und Quadrizepsmuskulatur bei der Stabilisierung des Kniegelenkes mit erforderlich (Muaidi, 2009; Nagai, 2013). Muss das VKB nicht mittels Sehnenersatzplastik ersetzt werden, wird so auch die Entnahmemorbidität gesenkt (Aufwerber, 2012).

Bei einer Partialruptur des VKB können diese Risiken nun zum größten Teil vermieden werden, da diese Arbeitsschritte bei der Healing Response Technik entfallen. Zur Auswahl der jeweiligen Therapie ist die bereits unter 1.2 erwähnte Klassifikation der Partialrupturen erforderlich.

1.4.2 Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes - Verletzungsursache und Klassifikation

1.4.2.1 Verletzungsmechanismus

Die Verletzungsursache spielt eine entscheidende Rolle bei der Diagnostik und Therapie der VKB Ruptur. Hierunter kann vor allem der Verletzungsmechanismus hilfreich sein. Dieser beruht primär auf einer unphysiologischen Abfolge von Bewegungsmustern im Bereich des Kniegelenkes. Die häufigsten Formen setzen sich wie folgt zusammen:

- Außenrotation, Flexion, Valgustrauma
- Innenrotation, Flexion, Varustrauma
- Hyperextensionsverletzung
- Hyperflexionsverletzung

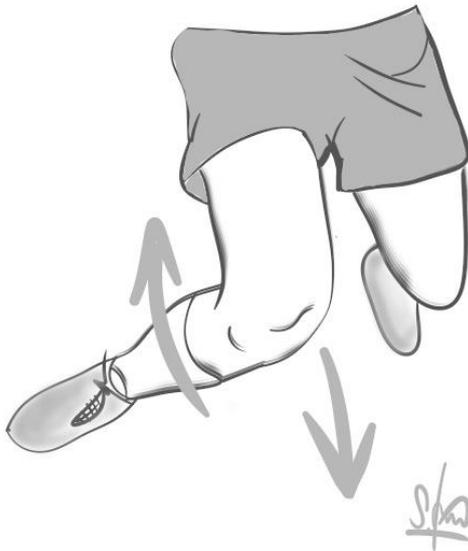


Abb.4: Typischer Verletzungsmechanismus, modifiziert nach Strobel (Strobel, 2010)

Es konnte gezeigt werden, dass Verletzungen in sogenannten Level 1 Sportarten am häufigsten auftraten. Hierunter fallen vor allem weit verbreitete Sportarten wie Fußball, Basketball, Handball und Volleyball. In Abb. 4 ist ein typischer Verletzungsmechanismus dargestellt. Grund für eine VKB-Verletzung sind vor allem abrupte Richtungswechsel mit zum Teil kombinierten pivotierenden Bewegungen, welche das VKB unter Stress

setzen. In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass ca. 70% aller VKB Rupturen ohne Fremdeinwirkung auftraten (Olsen, 2004). Der alpine Skisport spielt hier ebenso eine wichtige Rolle bei den Risikosportarten (Strobel, 2010). Epidemiologisch gesehen handelt es sich bei der Ruptur des VKB um eine der am häufigsten vorkommenden Bandverletzungen des menschlichen Bewegungsapparates. In den USA werden ca. 75000 bis 100000 VKB-Rupturen jährlich registriert (Griffin, 2000). Es zeigte sich, dass sich rund 70% aller Patienten mit einer VKB-Ruptur in einem Alter zwischen 15 und 45 Jahren befanden, Für diese Altersgruppe konnte eine Inzidenz von 1:1750 bestimmt werden (Daniel, 1994). Ein weiterer Faktor, der die Ruptur des VKB beeinflusst, ist die Oberschenkelmuskulatur. Diese wird in Agonisten (Ischiokruralmuskulatur, M.semitendinosus, M.semimembranosus und M. Biceps femoris) und Antagonisten (M. quadriceps femoris) eingeteilt. Eine Anspannung der Antagonisten führt in unterschiedlichen Beugegraden des Kniegelenks zu einer Zunahme der Anspannung der Fasern im VKB. (Grood, 1984) Bei einer exzentrischen Anspannung der Quadrizepsmuskulatur von 6000 Newton (N) kann sich die Spannung im VKB auf 2000 N erhöhen. Ein solcher Spannungsanstieg führt letztendlich zur Ruptur des VKB (Grood, 1984) Ein entsprechendes Beispiel findet sich hierfür im Skisport. Beim sogenannten „phantom foot“ kommt es zu einer plötzlichen maximalen Beugung im Kniegelenk. Gleichzeitig befindet sich der Körperschwerpunkt hinter den Füßen. Nun kommt es zu einer maximalen Kontraktion der Quadrizepsmuskulatur, um den Rumpf zu stabilisieren. Hierbei kann die Anspannung im VKB so weit zunehmen, dass es zur Ruptur des VKB kommen kann (Ettliger, 1995).

Anatomische Besonderheiten können auch einen Risikofaktor für die Entstehung einer Ruptur des VKB darstellen. Untersuchungen sind hierzu in der Literatur kaum vertreten. Geschlechterspezifisch wurde ein Unterschied in der Ausprägung von Agonisten und Antagonisten der Oberschenkelmuskulatur nachgewiesen. Frauen gelten hierbei als „Quadrizeps dominant“. Aufgrund der erhöhten femoralen Anteversion ist ebenso der Q Winkel (Verbindung Spina iliaca anterior superior und Zentrum der Patella zur Verbindung zwischen Patellamitte und dem Verlauf des Ligamentum patellae) erhöht (Griffin, 2000). Ein weiterer Risikofaktor ist die Größe des sogenannten Notchweitenindex. Hierbei wird der Quotient zwischen der Weite der anterioren Ausdehnung der Fossa intercondylaris und der maximalen Kondylusweite auf Höhe der

Fossa poplitea gebildet. Bei einem erniedrigten interkondylären Notchweitenindex ist das Risiko, eine VKB Ruptur zu erleiden, signifikant erhöht (Souryal, 1993). Wie es jedoch letztendlich bei einer engen Fossa intercondylaris zu einer Ruptur des VKB kommen kann, ist nicht endgültig geklärt. Es wird vermutet, dass ein Impingement zu einem vorzeitigen Anschlagen des VKBs am lateralen Femurkondylus führt. Dadurch kommt es zu einer vermehrten Anspannung des VKB, die bis zum Zerreißen gesteigert wird (Olsen, 2004).

Neben der Notchweite wurde auch das Volumen des VKBs selbst als prognostisch ungünstiger Faktor gewertet. So ist bei einer geringeren Notchweite auch von einer geringeren Körpergröße und somit einem geringeren Durchmesser des VKBs auszugehen (Shelbourne, 1997).

1.4.2.2 Klassifikation

Die Klassifikation der VKB Ruptur hat sich in der Fachwelt nicht einheitlich oder allgemein gültig etablieren können. Früher wurde noch die Existenz einer VKB Ruptur diskutiert, während sich die Diskussion im heutigen Zeitalter auf die komplette bzw. inkomplette VKB Ruptur verschoben hat. Anhand folgender Merkmale kann die VKB Ruptur nach Strobel jedoch unterschieden werden (Strobel, 2010):

- Akut oder chronisch
- Ossäre oder ligamentäre Verletzung
- Kombinierte oder isolierte Verletzung
- Rupturlokalisation
- Vollständige oder Partialruptur

In Abhängigkeit des Unfallalters kann die akute von der chronischen Form unterschieden werden. Liegt der Unfallzeitpunkt weniger als 6 Wochen zurück, geht man von einer akuten Läsion aus. Zeiträume, die länger als 4 Wochen bestehen, werden als chronisch gewertet (Beynon, 2005a, 2005b). Des Weiteren kann es im Rahmen der VKB Ruptur sowohl zu Sekundärschäden (Meniskusschaden, Knorpelläsionen, posttraumatische Gonarthrose) kommen. Dies kann im konventionellen Röntgenbild oder im Rahmen einer MRT Untersuchung dargestellt werden. Hierbei entscheiden Fragmentgröße und

Dislokationsgrad über das weitere Vorgehen. Isolierte und kombinierte Läsionen sind abhängig vom Verletzungsmuster. Ist bei der Verletzung lediglich das Kreuzband betroffen, handelt es sich um eine isolierte Verletzung. Kommt es zusätzlich jedoch zu Verletzungen der umgebenen anatomischen Strukturen, handelt es sich um eine kombinierte Läsion. Ist das VKB mit den medialen bzw. dorsomedialen Strukturen verletzt, besteht eine anteromediale Instabilität. Bei einer posterolateralen Instabilität sind die lateralen und posterolateralen Strukturen verletzt. Bei der Lokalisation der Ruptur wird zwischen einer proximalen, intermediären und distalen Ruptur unterschieden (DeHaven, 1980). Diese Einteilung war vor mehr als 30 Jahren ein entscheidender Faktor, da je nach Rupturlokalisation eine offene Refixation möglich war. Bei jedoch schlechten Langzeitergebnissen spielt die Rupturlokalisation heutzutage eine untergeordnete Rolle.

1.4.2.3 Therapie und aktuelle Studienlage

Die operative Stabilisierung des vorderen Kreuzbandes gilt weiterhin als therapeutischer Goldstandard bei symptomatisch instabilen Kniegelenken und Patienten mit erhöhtem sportlichem Anspruch. Eine Übersichtsarbeit von Krause et al. (Krause, 2018) konnte eine funktionelle Überlegenheit der operativen Stabilisierung bei den klinischen Scores (Tegner, Lysholm, KOOS und IKDC) gegenüber der konservativen Therapie zeigen. Nichtsdestotrotz fanden sich in der Übersichtsarbeit auch andere Veröffentlichungen, die nur ein ungenügendes postoperatives Ergebnis bezüglich der Kniegelenksstabilität darstellten. Hier konnte kein Unterschied zwischen konservativer und operativer Therapie bezüglich des Funktionsgewinnes nachgewiesen werden (Krause, 2018).

Auch bei einer konservativ behandelten VKB-Ruptur konnten gute subjektive funktionelle Ergebnisse gezeigt werden (Konrads, 2016; Segawa, 2001; T. Smith, 2014).

Die Arbeitsgruppe um Frobell veröffentlichte 2010 im New England Journal of Medicine die Ergebnisse ihrer KANON Studie, die in der Laienpresse sowie der wissenschaftlichen und Welt hohe Aufmerksamkeit erreichte (Frobell, 2010). In dieser Studie wurden die klinischen Ergebnisse nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes veröffentlicht. Hierbei wurden 2 Gruppen miteinander verglichen. In der einen Patienten-Gruppe (n=62) wurde frühzeitig das vordere Kreuzband rekonstruiert. Diese wurde mit einer Gruppe von

59 Patienten mit einem deutlich späteren Versorgungszeitpunkt verglichen. Dabei wurden die Werte des Knee Osteoarthritis Outcome Scores sowie deren Subskalen miteinander verglichen. Hierbei zeigten die Ergebnisse keinen Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen (Frobell, 2010; Frobell, 2013). Diese Erkenntnisse wurden jedoch missverstanden, da die KANON-Studie lediglich die Gleichwertigkeit zwischen einer akuten und einer späteren operativen Versorgung zeigte. Eine Gleichwertigkeit zwischen operativer und konservativer Therapie kann so nicht postuliert werden.

Im Folgenden soll die Indikationsstellung zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes der konservativen Therapie gegenübergestellt bzw. erläutert werden. Eine Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes nimmt Einfluss auf sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden. In einer systematischen Literaturübersicht wurden diesbezüglich 38 Studien eingeschlossen. Hierbei zeigte sich beim Großteil der Patienten (84,2%), dass mit zunehmendem Abstand zur initialen Verletzung auch das Risiko für Meniskusschäden anstieg (Mehl, 2019a). Anhand der Daten zeigte sich, dass sich die Rate für Verletzungen des Innenmeniskus bei Patienten, die in den ersten 6 Monaten nach Trauma versorgt wurden, im Vergleich zu denjenigen, die zu einem früheren Zeitpunkt operiert wurden, verdoppelt. Je länger das Trauma zurückliegt desto geringer ist der Erfolg einer Meniskusnaht, denn hier entscheidet sich der Erfolg in einem Zeitfenster von 3-6 Wochen posttraumatisch (Edwards, 2000; Hur, 2017; Kluczynski, 2015) Im Rahmen der systematischen Literaturanalyse um Mehl et al. (Mehl, 2019b) zeigten sich die Rate sekundärer Knorpelschäden mit einer zunehmenden Korrelation bei zunehmenden Abstand der Versorgung nach VKB-Ruptur. Dies konnte in 29 Studien (85,3%) bestätigt werden. Ein signifikanter Unterschied konnte vor allem zwischen Patienten, die innerhalb des ersten Jahres und denen die nach einem Jahr oder noch später versorgt wurden, nachgewiesen werden. Hierbei war das Risiko für sekundäre Knorpelschäden sogar um das 2,4-fache erhöht (Mehl, 2019b).

Ob nun eine VKB Ersatzplastik einen protektiven Effekt auf sekundäre Meniskus- und Knorpelschäden ausübt, ist in der Literatur ein weiterhin kontroverses Diskussionsthema. Hier besteht eine heterogene Studienlage. Der überwiegende Anteil der Studien bietet jedoch die Evidenz dafür, dass das Risiko für Sekundärschäden gesenkt werden kann (Dunn, 2004; Fithian, 2005; Potter, 2012; Sanders, 2016). Weiterhin wurden in den letzten Jahren mehrere Reviews veröffentlicht (Ajuied, 2014; Claes, 2013; Luc, 2014;

Oiestad, 2009; van Meer, 2016). Hierbei ging man insbesondere der Frage nach dem Einfluss einer VKB-Rekonstruktion auf die Entstehung einer posttraumatischen Gonarthrose nach. Es konnte gezeigt werden, dass das Risiko für die Arthroseentstehung nach VKB Rekonstruktion bei begleitenden Meniskusschäden signifikant zunimmt (Oiestad, 2009). So zeigte sich die Prävalenz für eine Gonarthrose nach isolierter VKB Rekonstruktion bei 0-13% aller operierten Patienten, lag jedoch zusätzlich ein Meniskusschaden vor, stieg die Prävalenz auf 21-48%.

Zusammenfassend gibt es verschiedene Therapieoptionen bei einer VKB-Ruptur. Bei entsprechender Indikation stellt die Healing Response Technik bei geringer Operationsmorbidity und verbesserter Stabilität eine sinnvolle Therapieoption dar. Ob eine tatsächliche Verbesserung durch diese Maßnahmen erzielbar ist, ist allerdings noch nicht nachgewiesen.

1.4.3 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit untersucht, ob die Healing Response Technik eine suffiziente Therapieoption bei femoralseitigen Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes ist.

1.4.3.1 Endpunkte

Als mögliche Endpunkte wurden die operative Revision mittels vorderer Kreuzbandplastik, eine schlechte Funktion (niedrige Werte beim IKDC und Tegner Score), schlechte klinische Untersuchungsergebnisse bei der Stabilitätstestung mithilfe der Rolimeter Messung und des Pivot-Shift-Tests bestimmt.

1.4.3.2 Langzeitergebnisse

Zur Erfassung von Langzeitergebnissen (5-10 Jahre nach OP) wurde dieses Kollektiv einer Mixed-Mode-Befragung unterzogen.

1.4.3.3 Nullhypothese und Arbeitshypothese

Die Nullhypothese besagt, dass die Healing Response Technik keine suffiziente Therapieoption bei femoralseitiger Partialruptur des vorderen Kreuzbandes nach o.g. Parametern ist.

Die Arbeitshypothese besagt, dass die Healing Response Technik eine suffiziente Therapieoption bei Partialruptur des vorderen Kreuzbandes ist.

2 Material und Methoden

Im Folgenden soll näher auf das Studienkonzept mit Ein- und Ausschlusskriterien, den Studienablauf, das operative Vorgehen und die methodischen Details wie die verwendeten Fragebögen eingegangen werden.

2.1 Ethikvotum

Ein entsprechendes Ethikvotum wurde bei der Ethikkommission der Universität Würzburg eingeholt (Antragsnummer 20210224 03).

2.2 Studienkonzept

In dieser retrospektiven, monozentrischen Datenerhebung wurden Patienten mit nachweislicher Ruptur des VKB untersucht, welche mittels Healing Response Technik im Zeitraum von 2005-2010 im Sporthopaedicum in Straubing versorgt wurden. Der Einschluss der Patienten erfolgte gemäß der in Tabelle (Tab.) 1 genannten Kriterien.

Tab. 1: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> ▪ stattgehabtes Trauma ▪ Kernspintomographisch beschriebene femoralseitige Ruptur oder Partialruptur des VKB ▪ Positiver Lachmantest mit unsicherem oder vorhandenem Anschlag ▪ Pivot Shift Test 1+ bzw. Glide ▪ Subjektive Instabilität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Früher stattgehabter operativer Eingriff am VKB ▪ Multiple Instabilitäten (posterolaterale Instabilität, hintere Kreuzbandinsuffizienz, zusätzliche massive Läsion der Kollateralbänder) ▪ Massive Instabilität unter Alltagsbedingungen ▪ Arthroskopischer Nachweis einer Komplettruptur

2.3 Studienablauf und Studienkollektiv

Die Studienteilnehmer wurden telefonisch kontaktiert und schriftlich mit einem Anschreiben zur Nachuntersuchung (Appendix VII) an zwei Standorten eingeladen. Vor dem unmittelbaren Untersuchungsbeginn erfolgte nochmals ein Aufklärungsgespräch über Art und Inhalt der Nachuntersuchung.

Die Untersuchungsgruppe bestand aus den in Tabelle 1 eingeschlossenen Patienten. Als „Vergleichsgruppe“ galt immer das nicht operierte bzw. gesunde Knie der Gegenseite des Patienten. Die Patienten wurden präoperativ vom Operateur untersucht und die Roliometer™-Messung dokumentiert. Die Nachuntersuchung orientierte sich hauptsächlich an dieser instrumentellen Stabilitätsmessung. Die Befundung des Kniegelenks erfolgte nach dem Evaluationsbogen des International Knee Documentation Committee (IKDC) (Hefti, 1993). Zur Ermittlung des subjektiven Stabilitätsgefühls bzw. Aktivitätsniveaus wurde neben dem Tegner- (Tegner, 1985) auch der Lysholmscore (Lysholm, 1982) erhoben. Von den insgesamt 163 mittels Healing Response Technik versorgten Patienten konnten 65 Patienten nachuntersucht werden.

Um langfristige Ergebnisse erfassen zu können, erfolgte noch eine Mixed-Mode-Befragung durch die Forschungsgruppe anhand der bereits erhobenen Daten. Diese Befragung erfolgte Internet-gestützt und telefonisch. Dabei wurden die Themenkomplexe Kniestabilität und Revisionsoperation bei 73 Patienten aus dem verbleibenden, nicht nachuntersuchten Patientenkollektiv abgefragt. Abb. 5 zeigt die Zusammensetzung des Kollektivs in Bezug auf die Follow-up-Untersuchungen.

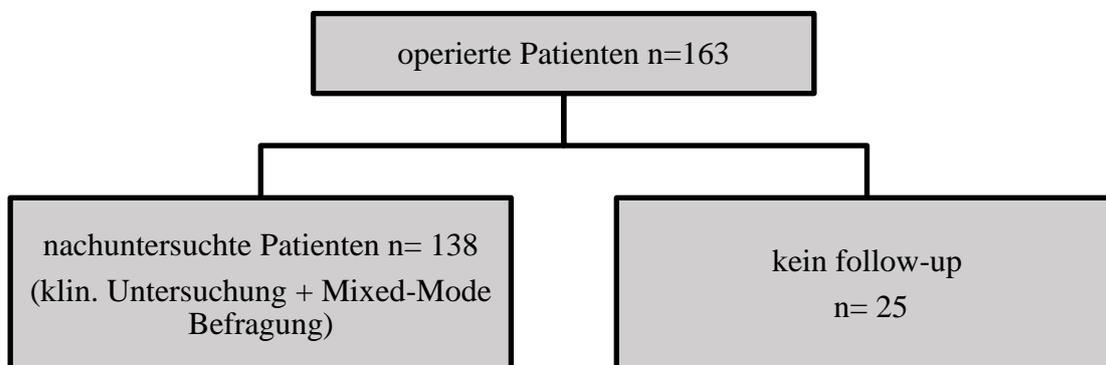
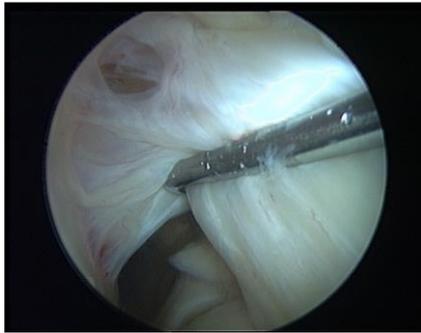


Abb. 5: Zusammensetzung Follow-up-Untersuchung

2.4 Operatives Vorgehen / technische Durchführung

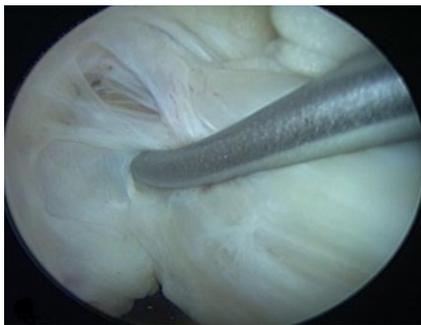
Alle Kreuzbandoperationen wurden von Dr. med. H.J. Eichhorn durchgeführt. Das standardisierte arthroskopische Operationsverfahren wurde in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Nach dem diagnostischen Rundgang durch das Kniegelenk erfolgte die Stabilitätsprüfung mit dem Tasthaken. Dabei wurde das vordere Kreuzband in 0 und 90° Beugung mit dem Tasthaken unterfahren und angespannt. Letztlich konnte hier dann entschieden werden, ob die Healing Response Technik oder die Rekonstruktion des VKB durchgeführt werden konnte. Zur Durchführung der Healing Response Technik mussten das posterolaterale oder das anteromediale Bündel intakt sein (vgl. Klassifikation für Partialrupturen). Anschließend konnte am femoralen Ursprung mittels eines Chondropicks™ die Kortikalis angemeißelt werden. Danach wurde das Arthroskop in die Anfangsposition gebracht und eine Drainage eingelegt. Darauf folgten der Wundverschluss und die Anlage eines sterilen Verbandes. Abbildung 6 demonstriert die Healing Response Technik.



a)



b)



c)



d)

Abb. 6: Healing Response Technik. a) Stabilitätsprüfung mit dem Tasthaken, große Bündelanteile intakt b) Stichlung des VKB zur Blutungsinduktion c) Anfrischung der femoralen Insertion mittels Chondropick d) Herunterbrechen einer osteochondralen Schuppe (Fehske, 2013) mit freundlicher Genehmigung von Springernature

2.5 Nachbehandlung

Alle Patienten wurden mit einem standardisierten Schema unter krankengymnastischer Anleitung nachbehandelt. Für die ersten beiden postoperativen Wochen wurde das betroffene Bein mit maximal 10 kg teilbelastet. Eine Bewegungslimitierung war auf die Extension/Flexion im Bereich von 0/10/60° an einer Knieruhigstellungsschiene fest eingestellt. Ab der dritten postoperativen Woche konnte der sukzessive Übergang zur Vollbelastung erfolgen. Die Bewegungslimitierung wurde dann für den Bewegungsumfang in Extension/Flexion 0/10/90° bis zur 6. postoperativen Woche limitiert. Anschließend wurde die Bewegungslimitierung freigegeben. Unterstützend sollte tagsüber die Bewegungsorthese getragen werden. Nachts bzw. zu Ruhezeiten wurde empfohlen, die Knieruhigstellungsschiene zu verwenden. Ziele der physiotherapeutischen Behandlung waren die Kniegelenksbeweglichkeit und das

Propriozeptionstraining. Ab dem 3. postoperativen Monat konnte mit Linearsportarten wieder begonnen werden. Sechs Monate nach Anmeißelung des vorderen Kreuzbandes war der Wiederbeginn mit Rotationssportarten möglich.

2.6 Befundung und Dokumentation

Zur standardisierten Befundung eines Kniegelenkes wird von der *European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy* (ESSKA) der IKDC 2000 empfohlen. Dieser wurde an die Fragestellung angepasst (s. Appendix VII).

Klinisch wurde der Lachman-Test und der Pivot Shift Test erhoben. Zur genaueren Darstellung des subjektiven Stabilitätsgefühls sowie des Aktivitätsniveaus wurden der Tegner- und Lysholmscore zusätzlich ermittelt. Zudem wurden Unfallzeitpunkt, Operationsdatum und die Durchführung des Nachbehandlungsschemas erfragt.

2.6.1 Befunderhebung nach dem IKDC 2000

Bis in die späten 80er Jahre konnten wissenschaftliche Studien auf dem Gebiet der Kreuzbandchirurgie nicht effektiv miteinander verglichen werden (Hefti, 1993; Irrgang, 2001; Irrgang, 2006). Mitglieder der ESSKA sowie der *American Orthopaedic Society for Sports Medicine* gründeten daraufhin das IKDC mit dem Ziel einer effektiven internationalen Vergleichbarkeit von wissenschaftlich erhobenen Daten im Bereich des Kniegelenkes. Somit konnte ein standardisierter Evaluationsbogen entstehen. Dieser besteht aus drei Teilen: dem Dokumentations-, dem Qualifikations- und dem Evaluationsteil. Jeder dieser Teile wird qualitativ in 4 Gradabstufungen bewertet (normal, fast normal, abnormal, stark abnormal). Der IKDC 2000 besteht aus insgesamt acht Gruppen, von denen wiederum nur die ersten vier Items (subjektive Beurteilung, Symptome, Bewegungsumfang, Untersuchung des Bandapparates) in der Gesamtevaluation berücksichtigt werden. Die vier verbliebenen Gruppen (Kompartimentbefunde, Transplantatentnahmemorbidity, Röntgenbefunde und funktionelle Testung) werden dokumentiert, ohne die Gesamtevaluation zu beeinflussen. In unserer Datenerhebung wurde ein modifizierter IKDC verwendet, in dem lediglich die ersten vier genannten Gruppen eingeschlossen wurden (s. Appendix VII). Zudem wurde

der sogenannte Triple Jump Test durchgeführt. Dabei muss der Patient im Einbeinstand drei aufeinanderfolgende Sprünge absolvieren. Anschließend wird die Sprungdistanz gemessen und mit der gesunden Seite verglichen.

2.6.2 Lachman Test

Der Lachman Test ist die wohl bekannteste klinische Untersuchungsmethode zur Beurteilung des vorderen Kreuzbandes. Dieser wurde vor über 40 Jahren erstmals erwähnt (Torg, 1976). Zur korrekten Ausführung muss das Knie in 20-30° Flexion gehalten werden. Dies kann entweder durch eine statische Fixierung oder durch Unterlagern des gebeugten Kniegelenkes des Untersuchers unter den Oberschenkel des Patienten erfolgen. Nun wird der Unterschenkel zum Untersucher nach anterior gezogen. Die tibiale Translation wird mit 1-3+ bewertet, die Anschlagqualität am Endpunkt wird mit „weich“ oder „fest“ beurteilt. Die Beurteilung beider Werte kann durch den erhöhten Muskeltonus, akuten Erguss oder Schmerzen negativ beeinflusst werden. Die Sensitivität zum Erkennen der Komplettruptur des vorderen Kreuzbandes liegt bei 96%, während Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes lediglich in 68% der Fälle erkannt werden. Die Spezifität liegt bei 78% (Leblanc, 2015). Für unsere Untersuchung erfolgte die Quantifizierung der vorderen Schublade mittels Rolimeter®. Abbildung 7 demonstriert einen typischen Untersuchungsablauf.



a)



b)



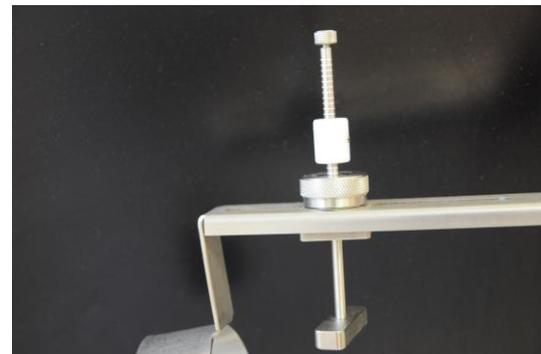
c)



d)



e)



f)

Abb. 7: Lachman Test und Untersuchung mittels Roliometer a) Unterlagern des gebeugten Kniegelenkes und den Oberschenkel des Patienten b) Anlegen des Roliometers auf Patellahöhe c) Absenken des Messstempels und des Messfühlers auf die Tuberositas tibiae d-e) Durchführung der Messung i.S. d. Lachman Tests f) Ablesen des Messergebnisses: der Abstand zwischen den Markierungen beträgt 2mm, so kann die Ventralverschiebung der Tibia gemessen werden.

2.6.3 Pivot Shift

Zur Darstellung der dynamischen anterioren Subluxation gilt der Pivot Shift Test als der geläufigste. Lemaire erwähnte diesen erstmalig im Jahre 1967 (Lemaire, 1967). Letztlich führte jedoch die Veröffentlichung von Galway und McIntosh zur allgemeinen Bekanntheit dieser zwischenzeitlich geläufigen klinischen Untersuchungsmethode zur Diagnostik von Rupturen des vorderen Kreuzbandes (Galway, 1980). In Abb. 8 wird ein typischer Untersuchungsgang dargestellt. Hierbei wird in einer fließenden Bewegung von einer Innenrotation des Unterschenkels mit Valgusstress in die Beugung übergegangen. Bei einer Ruptur des VKB kommt es zu einer Translation des anterolateralen Tibiaplateaus. Ab einer Beugung von ca. 20-30° ändert der Tractus iliotibialis seine Zugrichtung. Daraus resultiert ein ruckartiges „Zurückspringen“ des Tibiakopfes, das als positiver Test gewertet wird. Gleichzeitig wird dieses Pivotshift Phänomen vom Patienten als Instabilitätsgefühl wahrgenommen. Der Pivot Shift Test zeigt vor allem die anterior-posteriore Translation bei Innenrotation im Kniegelenk. Ist die Funktion des Tractus iliotibialis auch aufgehoben, zeigt sich eine ausgeprägte posterolaterale Instabilität und kann sogar als negativer Pivot Shift Test imponieren.



a)



b)



c)

Abb. 8: Untersuchung des Kniegelenks mit dem Pivot Shift Test a) Fixierung des Unterschenkels b) axialer Druck auf das Kniegelenk und vermehrte Innenrotation c) vermehrte Beugung im Kniegelenk bei unverändertem Valgusstress und Innenrotation

2.6.4 Befunderhebung nach dem Lysholm Score

Lysholm und Gillquist stellten 1982 einen Erhebungsbogen vor, der die subjektive Funktionalität und Stabilität des Kniegelenkes darstellen sollte (Lysholm, 1982). Dieser fand in der internationalen Literatur eine weite Verbreitung. Der Lysholm Score geht ursprünglich aus der Larson Knieskala aus dem Jahre 1967 hervor, welcher erstmals von Oretorp 1979 abgewandelt und letztlich von Lysholm und Gilquist modifiziert wurde (Lysholm, 1982). Drei Jahre später wurde der Lysholm Score nochmals angepasst (Tegner, 1985). Wir entschieden uns für den ursprünglichen Lysholm Score aus dem Jahre 1982 in übersetzter Form auf Deutsch, welche international auch eine häufigere Verwendung findet. Der Lysholm Score besteht aus insgesamt acht unterschiedlichen Kategorien (Hinken, Belastung, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen, Hocken). Diese Kategorien werden zur Auswertung unterschiedlich gewichtet und anschließend zu einem Gesamtscore berechnet. Hier können maximal 100 Punkte erreicht werden. Die Interpretation des Punktwertes wurde in der Literatur mehrfach beschrieben. So ist bei einer Punktzahl von ≥ 84 Punkten von einem sehr guten

Ergebnis auszugehen (Irrgang, 2006), Werte die ≤ 84 liegen, sind als befriedigend anzusehen, während schlechte Ergebnisse ≤ 65 Punkte sind.

Der in dieser Arbeit verwendete Lysholm Score ist im Appendix VII abgebildet.

2.6.5 Befunderhebung nach dem Tegner Score

Der Tegner Score wurde 1985 entwickelt um das Aktivitätsniveau in Bezug auf das Kniegelenk anhand einer Skala messen zu können (Tegner, 1985). Diese reicht von 0-10 Punkten. Mit steigender Punktzahl besteht ein höheres Aktivitätsniveau. Ein Punktwert von „0“ bedeutet, dass eine Rente aufgrund von Kniegelenksproblemen bezogen wird. Bei einem Aktivitätsniveau mit 10 Punkten entspricht dies dem eines Elitesportlers. Der in dieser Arbeit verwendete Tegner Score wurde in einer deutschen Übersetzung verwendet und ist im Appendix VIII abgebildet.

2.6.6 Mixed Mode Befragung

Eine Mixed-Mode-Befragung beschreibt eine Form der Datenerhebung, bei der die Patienten sowohl internetgestützt als auch telefonisch zu ihrer Kniegelenksstabilität befragt werden. Hierzu setzte sich die Forschungsgruppe mit den Patienten über die bereits vorliegenden Kontaktdaten in Verbindung. Die Patienten wurden bezüglich des Giving-way Phänomens, des subjektiven Stabilitätsniveaus sowie insbesondere einer operativen Revision befragt.

2.7 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in eine Excel-Tabelle (Microsoft Excel für Mac 2011) eingetragen und anschließend mithilfe des Programms IBM SPSS Statistics (Version 20 und 26; SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) ausgewertet (Brosius, 2002, 2011).

Primär wurde eine deskriptive Statistik hinsichtlich Alter, Geschlecht, Unfallursache und Ergebnisse der Fragebögen durchgeführt.

Die Unterschiede zwischen dem prä- und dem postoperativen Lachman-Test wurden mittels T-Test bei abhängigen Stichproben untersucht.

Unterschiede bezüglich des Outcomes bei unterschiedlichen Operationszeitpunkten wurde mittels T-Test bei unabhängigen Stichproben verglichen.

Die Zusammenhänge zwischen mindestens ordinalskalierten Variablen wurden mittels Chi-Quadrat-Test ausgewertet.

Die Korrelationen zwischen OP-Zeitpunkt, Tegner Activity Score und Lachman-Test wurden mithilfe des sogenannten Rangkorrelationskoeffizienten Kendall Tau-b berechnet. Dieser wird im Allgemeinen verwendet, um statistische Zusammenhänge von mindestens ordinalskalierten Daten zu erfassen.

Alle Daten wurden auf dem Signifikanzniveau von 0,05 interpretiert. Alle Variablen wurden als Mittelwert \pm einer Standardabweichung (SD) angegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Gesamtkollektivs

Von den 163 eingeschlossenen Patienten waren 70 (42,9 %) weiblichen und 93 (57,1%) männlichen Geschlechts. Die Patienten waren zwischen 8 und 64 Jahre alt. Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt lag bei $33,5 \pm 12,9$ Jahre. Die Latenz zwischen Trauma und Operation lag im Mittel bei $41 \pm 101,4$ Wochen. Es lag ein Nachuntersuchungsintervall von $4,5 \pm 1,8$ Jahren vor, das Langzeit-Follow-up lag bei $11,4 \pm 1,4$ Jahren. Die Unfallursachen sind in Tab. 2 aufgelistet. Führende Unfallursachen waren erlittene Traumata beim Skifahren (n=62; 38%) und Fußballspielen (n=39; 24 %). Zwei Patienten zogen sich eine Ruptur des VKB beim Basketballspielen zu (1 %). Tennis und Klettersport bildeten eine eigene Gruppe, bei denen sich insgesamt 21 Patienten am vorderen Kreuzband verletzten (13 %). 10 Patienten verletzten sich außerhalb einer sportlichen Betätigung beispielsweise im Rahmen eines Verkehrsunfalls (6 %). Weitere 7 konnten sich an das stattgehabte Trauma nicht erinnern (4 %). Von 22 Patienten fehlten die Angaben zum Unfallereignis (14 %). 64 der insgesamt 163 untersuchten Patienten erteilten Rückmeldung über die Nachbehandlung. Hierbei führten 63 Patienten das Nachbehandlungsschema durch, während ein Patient dieses nicht in Anspruch nahm.

Tab.2: Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen

Unfallursache	Häufigkeit	Prozent
Skiunfall	62	38
Fußball	39	24
Andere Ballsportarten	2	1
Andere (Klettern, Tennis)	21	13
Kein Sportunfall	10	6
Kein erinnerliches Trauma	7	4
Keine Angabe	22	14

Präoperativ wurde bei 108 Patienten ein Lachman-Test mit Rolliometermessung zur Quantifizierung der anterioren Verschiebung der Tibia durchgeführt. Anschließend wurde die Differenz zur gesunden Gegenseite gebildet. Der Mittelwert der betroffenen Seite lag bei 9,49 mm mit einer SD von $\pm 2,37$ mm. An der gesunden Seite wurde ein Mittelwert von 7,55 mm errechnet. Die SD lag hier bei $\pm 2,33$ mm. Die Differenz der beiden Untersuchungen ergab im Mittel 1,93 mm bei einer SD von $\pm 1,65$ mm. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 aufgelistet.

Tab. 3: Lachman-Test präoperativ. Abkürzungen: Δ = Differenz; mm= Millimeter

Lachman-Test(präoperativ)	n	Minimum	Maximum	Mittelwert \pm Standardabweichung
Betroffene Seite [mm]	108	4	17	9,49 \pm 2,37
Gesunde Gegenseite [mm]	108	3	14	7,55 \pm 2,33
Δ (betroffen – gesund) [mm]	108	0	7	1,93 \pm 1,65

3.2 Postoperatives Outcome

3.2.1 Modifizierter IKDC Score

Bei 63 Patienten konnte eine Untersuchung nach dem IKDC Bogen durchgeführt werden. In Tab. 4 ist die subjektive Beurteilung des Kniegelenks durch den Patienten aufgeführt.

44 (70 %) Patienten beurteilten diese als normal. Weitere 18 (28 %) nahmen ihr Kniegelenk als fast normal wahr. Ein abnormales bzw. stark abnormales Kniegelenk wurde von keinem Patienten beschrieben. Keine Angaben zum Kniegelenk machten 1 Patient.

Tab. 4: Subjektive Beurteilung des Kniegelenkes durch den Patienten

	n	Prozent
normal	44	70
fast normal	18	28
abnormal	0	0
stark abnormal	0	0
keine Angabe	1	2
Gesamt	63	100

Bei der subjektiven Beurteilung der Kniegelenksfunktion (Tab. 5) gaben 38 Patienten (60 %) eine normale Funktion an. Als fast normal nahmen 23 Patienten (36 %) ihr Kniegelenk wahr. Ein Patient beurteilte seine Kniegelenksfunktion als abnormal (2 %). Keine Angaben machte 1 Patient.

Tab. 5: Subjektive Beurteilung der Kniegelenksfunktion durch den Patienten

	n	Prozent
normal	38	60
fast normal	23	36
abnormal	1	2
stark abnormal	0	0
keine Angabe	1	2
Gesamt	63	100

Bei der subjektiven Wahrnehmung des Patienten die Einflussnahme des Kniegelenkes auf das Aktivitätsniveau (Tab.6) betreffend, konnte bei 36 Patienten (57%) kein Einfluss

auf das Aktivitätsniveau festgestellt werden Weitere 21 Patienten (33 %) bewerteten den Einfluss mit „1“. Fünf Patienten (8 %) wählten „2“ und 1 Patient (2 %) den Wert „1“.

Tab. 6: Subjektive Wahrnehmung des Patienten bezüglich der Einflussnahme des Kniegelenkes auf das Aktivitätsniveau

	n	Prozent
0	36	57
1	21	33
2	5	8
3	1	2
Gesamt	63	100

In Tabelle 7 sind die Schmerzangaben bei höchster Aktivitätsstufe aufgeführt. Dabei gaben 38 Patienten (60 %) einen Schmerz von „1“ an. Weitere 18 (29 %) wählten einen Wert von „2“. Jeweils zwei Patienten (3 %) gaben Schmerzen mit einem Wert von „3“ bzw. „4“ an. Keine Angabe zu Schmerzen machten 3 Patienten (5 %).

Tab. 7: Schmerzangabe des Patienten bei höchster Aktivitätsstufe

	n	Prozent
1	38	60
2	18	29
3	2	3
4	2	3
keine Angabe	3	5
Gesamt	63	100

Die Schwellneigung des Kniegelenkes bei höchster Aktivitätsstufe (Tab. 8) wurde von 46 Patienten (73 %) mit „1“ eingestuft. Weitere 12 (19 %) Patienten gaben einen Wert von „2“ an. Ein Patient (2 %) beschrieb die Schwellneigung mit „3“, zwei weitere (3 %) gaben einen Wert von „4“ an. 2 Patienten machten keine Angaben.

Tab. 8: Angabe der Schwellneigung des Kniegelenkes bei höchster Aktivitätsstufe

Schwellung	n	Prozent
1	46	73
2	12	19
3	1	2
4	2	3
keine Angabe	2	3
Gesamt	63	100

Tabelle 9 beschreibt die Verteilung des teilweise Giving way Phänomens im befragten Kollektiv. Dabei gaben 48 (76 %) den Wert „1“ an, weitere 11 (17 %) den Wert von „2“. Jeweils ein Patient (2 %) wählte den Wert „3“ bzw. „4“. Keine Angaben machten insgesamt 2 Patienten.

Tab. 9: Angabe des Patienten, dass kein teilweises Giving way Phänomen vorliegt

teilw. Giving way	n	Prozent
1	48	76
2	11	17
3	1	2
4	1	2
keine Angabe	2	3
Gesamt	63	100

Des Weiteren sollten die Patienten bewerten, wenn kein vollständiges Giving way Phänomen vorliegt. Diese Verteilung wird in Tabelle 10 aufgeführt. Hier wurde von 50 Patienten (79 %) der Wert „1“ gewählt. Ferner wählten 8 Patienten den Wert „2“ (13 %). Ein Patient gab den Wert „3“ (2 %), zwei weitere den Wert „4“ an. Keine Angabe machten insgesamt 2 Patienten.

Tab. 10: Angabe des Patienten, dass kein vollständiges Giving way Phänomen vorliegt

Giving way	n	Prozent
1	50	79
2	8	13
3	1	2
4	2	3
keine Angabe	2	3
Gesamt	63	100

Den Streckausfall des betroffenen Kniegelenkes von der anatomischen Nullstellung zeigt Tabelle 11. Hier konnte ein Streckausfall von weniger als 3° bei 59 Patienten (94 %) gemessen werden. Bei einem Patienten war der Streckausfall zwischen 3 und 5° (2 %). Die restlichen 3 Patienten wurden nicht untersucht.

Tab. 11: Streckausfall von der anatomischen Nullstellung

Streckausfall	n	Prozent
$< 3^\circ$	59	94
+3 - $+5^\circ$	1	2
keine Angabe	3	4
Gesamt	63	100

Ferner wurde auch das Beugedefizit der Patienten untersucht (Tabelle 12). Hier konnte ein Beugeausfall von weniger als 3° bei 59 Patienten (94 %) von der anatomischen Nullstellung gemessen werden. Bei einem Patienten war der Beugeausfall zwischen 3 und 5° . Die restlichen 3 Patienten wurden nicht untersucht.

Tab. 12: Beugeausfall von der anatomischen Nullstellung

Beugeausfall	n	Prozent
$< 3^\circ$	59	94
+3 - $+5^\circ$	1	1
keine Angabe	3	5
Gesamt	63	100

Das Anschlagverhalten beim Lachman-Test wurde ebenso untersucht und wird in Tabelle 13 dargestellt. Bei 51 Patienten zeigte der Lachman-Test einen festen Anschlag (81 %). Einen weichen Anschlag boten 7 Patienten (11 %). Bei zwei weiteren Patienten bestand ein unsicheres Anschlagverhalten (3 %). Keine Angaben bzw. Untersuchungen bestanden bei 3 Patienten.

Tab. 13: Anschlag beim Lachman-Test

Anschlag	n	Prozent
fest	51	81
weich	7	11
unsicher	2	3
keine Angabe	3	5
Gesamt	63	100

Bei 59 Patienten wurde der Pivot Shift Test durchgeführt (Tab. 14). Bei einem Patienten war der Test dreifach positiv (2%). Ein weiterer Patient hatte einen zweifach positiven Pivot Shift Test (2%). Zwei Patienten hatten einen einfach positiven Pivot Shift Test. Ein sogenanntes „glide“ boten 13 Patienten (20 %). Bei 42 untersuchten Patienten war der Pivot Shift Test negativ (67 %). Nicht untersucht waren 4 Patienten.

Tab. 14: Pivot Shift Test

Pivot Shift	n	Prozent
+++	1	2
++	1	2
+	2	3
glide	13	20
negativ	42	67
keine Angabe	4	6
Gesamt	63	100

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse des „triple jump“ Tests aufgeführt. Hier befanden sich 54 Patienten im Bereich von 91-100% (85 %). Jeweils ein Patient (2 %) befand sich Bereich von 76-90% bzw. unter 50%. Keine Angaben machten 7 Patienten.

Tab. 15: Einbeinsprungtest „triple jump“

Triple Jump	n	Prozent
91-100%	54	85
76-90%	1	2
<50	1	2
keine Angabe	7	11
Gesamt	63	100

3.2.2 Tegner Activity Score

Insgesamt 65 Patienten aus dem untersuchten Kollektiv füllten den Tegner Activity Score aus. Hierbei zeigte sich im Mittel ein Wert von $5,09 \pm 1,89$ (Tab.16).

Tab. 16: Tegner Activity Score

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert \pm Standardabweichung
Tegner Activity Score	65	1	9	$5,09 \pm 1,89$

3.2.3 Lysholm Score

Im Lysholm Score konnte das untersuchte Kollektiv postoperativ einen Mittelwert von $89,88 \pm 11,95$ erreichen (Tab.17).

Tab. 17: Lysholm Score

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert ± Standardabweichung
Lysholm Score	65	45	100	89,88 ± 11,95

3.2.4 Korrelation der Fragebögen/Tests

Zwischen Lysholm Score und den subjektiven Patienteneinschätzungen, die mittels standardisiertem Patientenfragebogen IKDC erhoben wurden, liegen hochsignifikante Korrelationen vor. Es besteht keine signifikante Korrelation bezüglich des Lysholm Scores und des Tegner Activity Scores.

Zusammenhang IKDC/Tegner:

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Tegner Activity Score und den Subitems des IKDC „Subjektive Beurteilung des Kniegelenks“ und „Subjektive Wahrnehmung bezüglich der Einflussnahme auf das Aktivitätsniveau“ mittels Chi Quadrat Test festgestellt werden ($p < 0,05$). Zwischen dem Tegner Activity Score und den anderen Subitems des IKDC (Kniefunktion, Schmerz, Schwellneigung, teilweise Giving-way, komplett Giving-way,) ergab sich kein signifikanter Zusammenhang. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse des Chi-Quadrat-Tests dargestellt.

Tab. 18: Chi-Quadrat Test nach Pearson für die signifikanten Korrelationen von IKDC & Tegner Score

Chi-Quadrat-Test nach Pearson	Wert	Freiheitsgrade (df)	p-Wert
Subjektive Wahrnehmung bezüglich der Einflussnahme auf das Aktivitätsniveau und Tegner Activity Score	33,326 ^a	16	0,007
Subjektive Beurteilung Kniegelenk und Tegner Activity Score	48,121 ^b	32	0,034

Zusammenhang Lysholm und IKDC:

Zudem korrelierten der Lysholm Gesamtscore signifikant mit den Subskalen des IKDC „Komplettes Giving Way“, „Schwellneigung“, „Gesamtbeurteilung“ ($p < 0,05$). Bei den Items „Einfluss auf die Aktivität“ und „Kniefunktion“ ergab sich ein hochsignifikanter Zusammenhang mit dem Lysholm Score ($p < 0,001$).

Tab. 19: Chi Quadrat Test nach Pearson für die Korrelation von Lysholm und IKDC Score

Chi-Quadrat-Test nach Pearson	Wert	Freiheits- grade (df)	p-Wert
Lysholm/ Komplette Giving-way	109,021 ^a	76	0,008
Lysholm/ Schwellneigung	110,323 ^b	76	0,006
Lysholm/ Subjektive Wahrnehmung bezüglich der Einflussnahme auf das Aktivitätsniveau	145,353 ^c	76	< 0,001
Lysholm/Kniefunktion	118,963 ^d	57	< 0,001
Lysholm/ Subjektive Beurteilung Kniegelenk	59,035 ^e	38	0,016

Zusammenhang Tegner Activity Score und Lysholm:

Der Zusammenhang zwischen dem Tegner Activity Score und dem Lysholm Score wurde ebenfalls mittels Chi-Quadrat-Test untersucht. Es zeigte sich ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Scores. Die Ergebnisse sind in Tab. 20 aufgelistet.

Tab. 20: Chi Quadrat Test nach Pearson für Tegner und Lysholmscore

Chi-Quadrat-Test nach Pearson	Wert	Freiheits- grade (df)	p-Wert
Tegner Activity Score/Lysholm	190,769 ^a	152	0,018

3.2.5 Lachman-Test

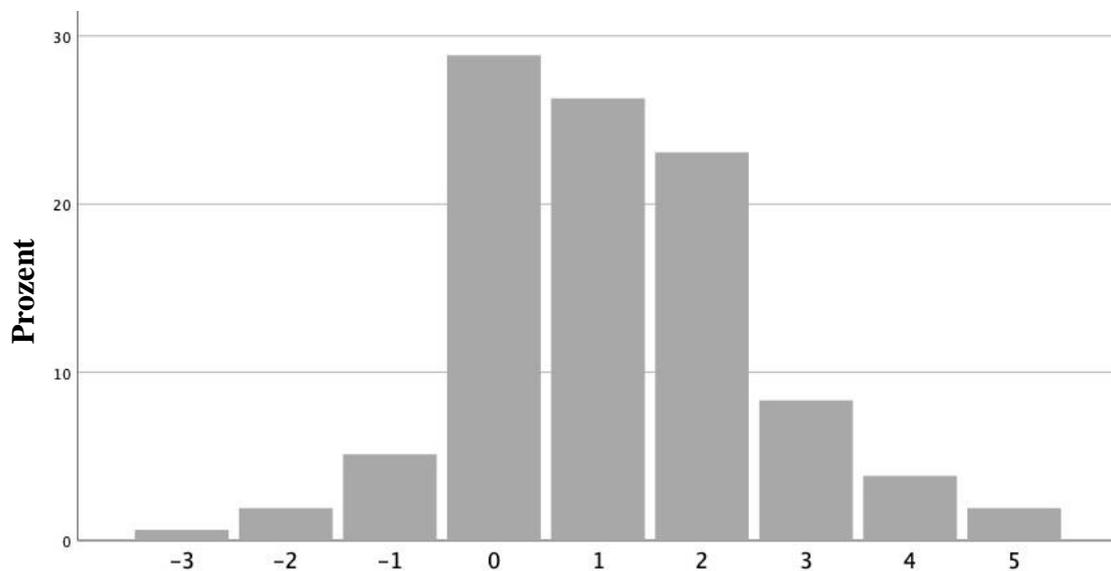
Der Lachman-Test wurde sowohl auf Seite mit der betroffenen Bandruptur als auch auf der gesunden Seite prä- und postoperativ erhoben. Die präoperativen Ergebnisse sind unter 3.1 aufgelistet. Tabelle 25 beschreibt den postoperativ erhobenen Lachman-Test. Postoperativ betrug der Lachman-Test $7,53 \pm 1,86$ mm. Zudem konnte postoperativ die

Differenz im Lachman Test beider Seiten im Vergleich zum präoperativen Wert reduziert werden, wobei postoperativ die negativen Differenzwerte im Betrag zum Mittelwert addiert wurden.

Tab. 21: Lachman-Test postoperativ. Abkürzungen: Δ = Differenz; mm= Millimeter

Lachman-Test (postoperativ)	n	Minimum	Maximum	Mittelwert \pm Standardabweichung
Betroffene Seite [mm]	156	4	15	7,53 \pm 1,86
Gesunde Gegenseite [mm]	156	3	13	6,45 \pm 1,69
Δ (betroffen – gesund) [mm]	156	-3	5	1,12 \pm 1,41

Tabelle 21 veranschaulicht die postoperativ gemessene Differenz des Lachman-Tests zwischen gesunder und betroffener Seite. Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass postoperativ mehr als 80 % der Patienten eine Differenz im Lachman-Test von maximal 2 mm aufwiesen.



Differenz [mm] der Rolliometermessung zwischen der operierten und der gesunden Gegenseite

Abb. 9: Verteilung der postoperativ gemessenen Differenz des Lachman-Tests zwischen gesunder und betroffener Seite

Zudem zeigt sich im Vergleich des Lachman-Tests prä- und postoperativ (Tab. 22), dass ein signifikanter Unterschied im Vergleich des Lachman-Tests prä- und postoperativ besteht ($p = 0,044$).

Tab. 22: Mittelwertsvergleich Lachman-Test prä- und postoperativ

Lachman-Test Betroffene Seite	n	Mittelwert ± Standardabweichung	p-Wert
präoperativ	107	9,53 ± 2,34	0,044
postoperativ	107	7,34 ± 1,80	

3.3 Korrelation OP-Zeitpunkt

Bei den erfassten 133 Patienten wurde die Operation im Mittel 41 Wochen nach dem ursächlichen Trauma durchgeführt (Tab. 23). Der Median lag bei 3 Monaten bzw. 15 Wochen. In Abbildung 10 ist die Zahl der Patienten nach der operativen Latenzzeit aufgelistet. Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die meisten Patienten knapp 30 Wochen nach Trauma bereits operativ versorgt waren (75 % Perzentile bei 32 Wochen, Tab. 24).

Tab. 23: OP-Zeitpunkt nach Trauma aufgelistet nach Wochen und Monaten

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert ± Standardabweichung
OP Zeitpunkt nach Trauma (Wochen)	133	0	849	41,02 ± 101,40
OP Zeitpunkt nach Trauma (Monate)	133	0	195	8,98 ± 23,34

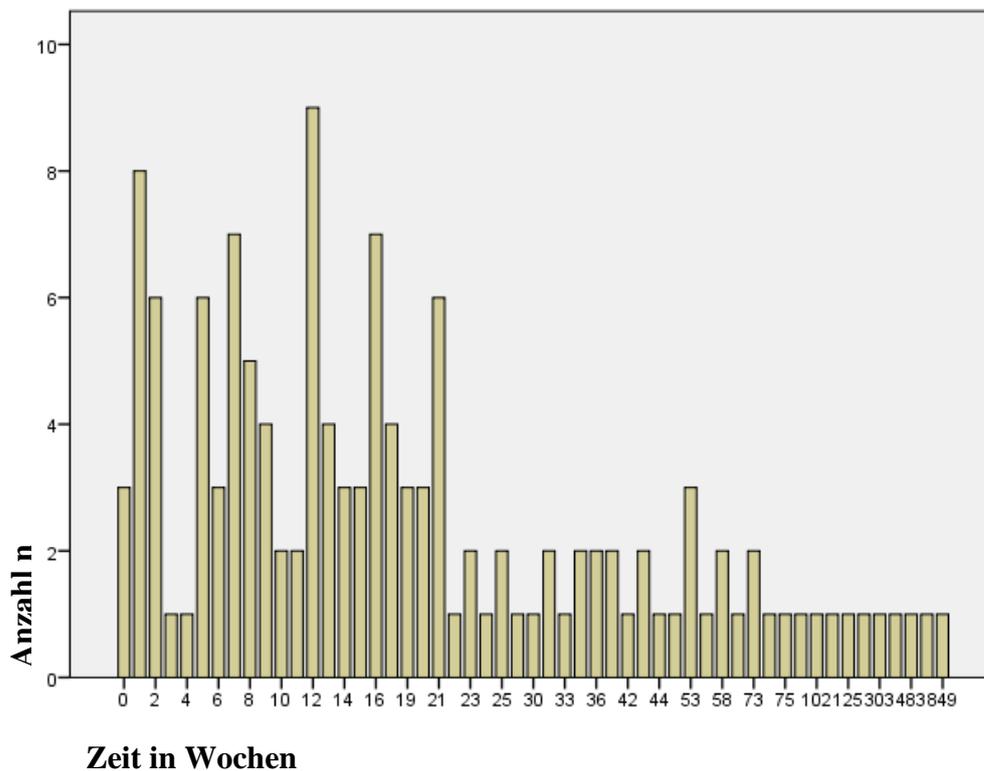


Abb. 10: OP Latenzverteilung in Wochen

Tab. 24: Perzentilen der Verteilung der OP-Zeitpunkte nach Trauma im Gesamtkollektiv

		OP-Zeitpunkt nach Trauma in Wochen
Perzentile	25	7
	50	15
	75	32

Der OP-Zeitpunkt nach Trauma korrelierte weder mit dem Lysholm Gesamtscore noch mit der Differenz im postoperativen Lachman-Test von gesunder und betroffener Seite. Allerdings zeigte sich eine signifikante Korrelation von Tegner Activity Score und der operativen Latenzzeit (Korrelationskoeffizient 0,261, $p=0,01$), welche sich auch im Mittelwertsvergleich bestätigen konnte (Tab. 25). Der Tegner Activity Score zeigte sich im Mittelwert für Patienten mit erst spät erfolgter operativer Sanierung höher als bei Patienten, die eine geringere Latenzspanne zwischen OP und Trauma aufwiesen. Vergleicht man nun die Mittelwerte mit dem gewählten cut off von 3 Monaten (50. Perzentile), so

zeigten sich signifikante höhere Mittelwerte im Tegner Activity Score bei Patienten, die eine größere Latenzspanne besaßen, im Vergleich zu Patienten, die noch vor Ablauf von 3 Monaten nach Trauma operiert wurden. Dies ließ sich auch für einen Cut-off von 4 Monaten, nicht aber bei größerer Latenz reproduzieren (Tab. 26). Im Hinblick auf den Lysholm Gesamtscore und die Differenz im Lachman-Test ergab sich kein signifikanter Mittelwertsunterschied.

Tab. 25: Korrelation zwischen OP-Zeitpunkt nach Trauma und Lysholm Gesamt-Score, Lachman-Test-Differenz postoperativ und Tegner Activity Score. Abkürzungen: Δ = Differenz; mm= Millimeter

Kendall-Tau-b		OP-Zeitpunkt nach Trauma
Lysholm Gesamtscore	Korrelationskoeffizient	-0,079
	p-Wert	0,42
	N	58
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	Korrelationskoeffizient	-0,001
	p-Wert	0,97
	N	127
Tegner Activity Score	Korrelationskoeffizient	0,261
	p-Wert	0,01
	N	58

Tab. 26: Mittelwertsvergleich von Lysholm Gesamt-Score, Lachman-Test-Differenz postoperativ und Tegner Activity Score zu unterschiedlichen OP-Zeitpunkten nach Trauma. Abkürzungen: Δ = Differenz; mm= Millimeter

	OP- Zeitpunkt nach Trauma (Monate)	N	Mittelwert	Standard- abweichung	p-Wert
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	≥ 7	33	1,4	1,2	0,740
	< 7	94	1,3	1,3	
Lysholm Gesamtsumme	≥ 7	18	84,6	16,6	,084
	< 7	40	92,2	9,5	
Tegner Activity Score	≥ 7	18	5,3	1,6	0,303
	< 7	40	5,0	2,0	
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	≥ 6	35	1,4	1,2	0,833
	< 6	92	1,4	1,3	
Lysholm Gesamtsumme	≥ 6	18	84,6	16,6	0,084
	< 6	40	92,2	9,5	
Tegner Activity Score	≥ 6	18	5,3	1,6	0,303
	< 6	40	5,0	2,0	
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	≥ 5	40	1,4	1,2	0,940
	< 5	87	1,4	1,3	
Lysholm Gesamtsumme	≥ 5	19	85,4	16,5	0,121
	< 5	39	92,0	9,6	
Tegner Activity Score	≥ 5	19	5,4	1,6	0,402
	< 5	39	4,9	2,0	
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	≥ 4	56	1,4	1,2	0,918
	< 4	71	1,4	1,3	
Lysholm Gesamtsumme	≥ 4	24	88,0	15,5	0,354
	< 4	34	91,1	9,9	

	OP- Zeitpunkt nach Trauma (Monate)	N	Mittelwert	Standard- abweichung	p-Wert
Tegner Acitvity Score	>= 4	24	5,7	1,9	0,028
	< 4	34	4,6	1,8	
Δ (betroffen – gesund) postoperativ [mm]	>= 3	72	1,3	1,1	0,382
	< 3	55	1,5	1,4	
Lysholm Gesamtsumme	>= 3	32	88,2	14,2	0,283
	< 3	26	91,8	10,0	
Tegner Acitvity Score	>= 3	32	5,6	1,8	0,025
	< 3	26	4,5	1,8	

3.4 Ergebnisse der Mixed-Mode-Befragung

Aus dem oben genannten Patientenkollektiv konnten nochmals 73 Personen (41 männlich und 32 weiblich) zwecks Langzeit-Follow-up durch die Forschungsgruppe kontaktiert werden. Das Follow-up betrug im Mittel $11,4 \pm 1,4$ Jahre nach OP-Zeitpunkt. Hierbei zeigte sich eine Revisionsrate von 13%. Der Revisionszeitpunkt lag bei 51 ± 37 Monaten, wovon insgesamt 6 Patienten des befragten Kollektivs (8%) aufgrund einer Reruptur eine Revision in Form einer Sehnenersatzplastik des VKB erhielten.

93% der befragten Patienten beurteilten ihr Kniegelenk subjektiv als stabil. 59% der befragten Teilnehmer gaben kein Givingway-Phänomen postoperativ an. 28% klagten über ein Givingway-Phänomen, dass selten während des Sports oder bei anderen schweren Anstrengungen aufträte, 3% klagten über ein häufig auftretendes Givingway-Phänomen während sportlicher Aktivität oder bei schweren Anstrengungen. Lediglich ein Studienteilnehmer klagte über ein Givingway-Phänomen bei Alltagsarbeiten.

4 Diskussion

Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes werden heute mit einem Anteil von 10-28% aller Bandrupturen beschrieben. Dies wurde erstmalig von Zantop im Jahre 2007 publiziert (Zantop, 2007). Die Inzidenz von Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes liegt bei 46/100.000/Jahr (Domnick, 2017). Es gibt weiterhin noch keinen klaren Konsensus, ab wann letztlich von einer Partialruptur des vorderen Kreuzbandes gesprochen werden kann und noch weniger, welche Behandlung für eine Partialruptur des vorderen Kreuzbandes geeignet ist. Mehrere Studien zeigen, dass das klinische Ergebnis positiv beeinflusst wird, wenn nicht gerissene Faserbündel erhalten werden können (Adachi, 2002; Hu, 2014; B. I. Lee, 2008; B. I. Lee, 2009; Murray, 2000; Ochi, 1999). Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass das bei einer Ruptur immanente Defizit der Propriozeption bei einer Partialruptur weniger ausgeprägt ist. Genaue Daten sind jedoch in der Literatur aktuell nicht aufgeführt. Weitere klinische Studien zeigen sehr gute klinische Ergebnisse nach Rekonstruktion des anteromedialen bzw. posterolateralen Bündels des vorderen Kreuzbandes (Buda, 2008; Ochi, 2009; Ohsawa, 2012; Serrano-Fernandez, 2010; Sonnery-Cottet, 2010; Sonnery-Cottet, 2012; Sonnery-Cottet, 2013; Yoon, 2009). So stellt die Healing Response Technik bei geringerer Operationsmorbidity und verbesserter Stabilität eine sinnvolle Therapieoption im Vergleich zum vollständigen VKB Ersatz dar.

4.1 Diskussion des Gesamtkollektivs

Für die mittels Healing Response Technik behandelten Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes liegen noch kaum langfristige Ergebnisse in der Literatur vor. Unser Patientenkollektiv beinhaltet ein Nachuntersuchungsintervall von 4,5 Jahren. Im weiteren Verlauf erfolgte durch unsere Forschungsgruppe eine Mixed-Mode-Befragung des gleichen Patientenkollektivs mit einem Follow up von 11,4 Jahren.

Das Gesamtkollektiv dieser Studie beinhaltet insgesamt 163 Patienten. Bei der Geschlechterverteilung waren mehr Männer (n=93; 57,1%) als Frauen (n=70; 57,1%) betroffen. Dies deckt sich mit den in der Literatur erhobenen epidemiologischen Daten in

Bezug auf Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (Domnick, 2017). Hinsichtlich der Unfallursache zeigte sich eine Häufung bei Sportarten, welche mit schnellen Richtungswechseln einhergingen. Entsprechende Ergebnisse liegen auch in der Literatur vor, die der Ätiologie für die Ruptur des vorderen Kreuzbandes nachgingen. In den USA gehört die Verletzung des VKBs zu den häufigsten ligamentären Verletzungen mit einer Gesamtanzahl von ca. 200 000 Fällen pro Jahr. Hierunter fallen Risikosportarten wie Skifahren und Fußball. American Football wird ebenso dazugezählt, ist jedoch in unseren Breitengraden weniger etabliert. (Dragoo, 2012). Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt lag bei 33,5 Jahren \pm 12,9.

4.2 Arbeitshypothese

Die Arbeitshypothese besagt, dass die Healing Response Technik eine suffiziente Therapieoption bei Partialruptur des vorderen Kreuzbandes ist.

Anhand der folgenden Diskussionspunkte soll die Arbeitshypothese abschließend bewertet werden.

4.2.1 Revisionsoperationen

Im Rahmen unserer Mixed-Mode-Befragung zeigte sich eine Revisionsrate von 13%. Der Revisionszeitpunkt lag bei 51 \pm 37 Monaten. 8% der befragten Patienten erlitten eine Reruptur nach 43 \pm 40 Monaten. Eine Rerupturrate von 8% kann als zufriedenstellend bewertet werden. Dekker et al. veröffentlichten 2017 Ergebnisse mit einer Rerupturrate von bis zu 32% bei Jugendlichen nach konventionellem Ersatz des vorderen Kreuzbandes (Dekker, 2017). Zudem gestaltet sich eine Revisionsoperation bei VKB Ersatz schwierig, da hier ein aufwändiges zweizeitiges Verfahren mit Überbohrung der ehemaligen Bohrkanäle und ggf. erforderlicher Spongiosaplastik von Nöten ist. (Wiggins, 2016). Die Healing Response Technik hat einerseits ein niedrigeres Revisionsrisiko, andererseits ist eine eventuell notwendige Revisionsoperation leichter durchführbar als bei primär erfolgtem VKB Ersatz.

4.2.2 Subjektive Funktion

Der postoperative Lysholm Score betrug 89,9 Punkte $\pm 11,9$. Der Tegner Activity Score lag bei 5,1 $\pm 1,9$. Diese Ergebnisse decken sich mit den mittelfristig erhobenen Daten von Jorjani (Jorjani, 2013) und Wasmaier (Wasmaier, 2013) sodass es auch langfristig nach Anwendung der Healing Response Technik zu keiner wesentlichen Verschlechterung in Bezug auf die subjektive Einschätzung der Kniegelenksfunktion kommt.

Die allerersten Ergebnisse zur Healing Response Technik wurden von Steadman et al. 2006 und 2012 veröffentlicht (Steadman, 2006; Steadman, 2012). In den dargestellten Arbeiten zeigte sich ein durchschnittlicher Lysholm Score von 96 (2006) bzw 90 (2012) Punkten bei einem durchschnittlichen Follow up von 5,8-7,6 Jahren. Im Tegner Score ergab sich in der Publikation von 2012 ein Wert von 5,0. Insgesamt war das Kollektiv von Steadman et. al älter als das in dieser Studie untersuchte, es war allerdings mit nur 8 (2006) bzw. 48 (2012) deutlich kleiner.

4.2.3 Klinische Untersuchung

Die postoperativ gemessene Differenz (7,3mm; SD= $\pm 1,8$ mm) der Rolimetermessung im Lachman-Test war signifikant kleiner ($p= 0,044$) als der präoperativ gemessene Wert (9,53mm; SD= $\pm 2,34$ mm). Unsere Ergebnisse zeigen damit einen signifikant niedrigeren Mittelwert im Lachman-Test postoperativ im Vergleich zum präoperativen Wert. Der Lachman-Test ist eines der wichtigsten klinischen Untersuchungstools zur Erfassung relevanter Pathologien der Kniefunktion. Umso wichtiger erscheint es, dass postoperativ der Lachman-Test signifikant niedriger ausfiel. Ziel einer operativen Versorgung nach Kreuzbandruptur ist ein möglichst niedriger Wert im Lachman-Test bzw. möglichst ähnlicher Wert im Vergleich zur Gegenseite. Insgesamt konnte somit die klinisch mittels Fragebögen erfasste Verbesserung der Kniefunktion auch objektiv mittels Lachman-Test gezeigt werden.

Allerdings muss im Hinblick auf die Interpretation der Daten auf die Untersucherabhängigkeit des Lachman-Tests verwiesen werden. Prä- und postoperative Werte wurden teilweise von unterschiedlichen Untersuchern erhoben, was unterschiedliche Mittelwerte, sowie Maximalwerte der gesunden, nicht-operierten Seite

zum prä- und postoperativen Zeitpunkt in dieser Arbeit erklärt, wobei die Abweichungen hierbei nur maximal 1 Millimeter betragen. Ferner erfolgte die präoperative Erhebung mittels Rolliometermessung teilweise auch erst in Narkose, sodass hier der fehlende Muskeltonus die Messung beeinflusst.

Trotz der dargestellten Untersucherabhängigkeit ist der Test weiterhin eine sehr sensitive Messmethode in Bezug auf Fehlfunktionen der Kreuzbänder. Klasan et al. belegten diese Untersucherabhängigkeit bei der KT 1000 Messung von Kniegelenken nach VKB Rekonstruktion. Hierbei konnten sowohl eine signifikante Variabilität der Untersucher und des KT 1000 gezeigt werden, wobei diese bei der intraobserver Realibilität dominierte (Klasan, 2020).

4.2.4 Hypothesenüberprüfung

Anhand der Revisionszahlen, der subjektiven und klinischen Funktionseinschätzung zeigt sich, dass die Healing Response Technik eine gute Methode ist, um eine Partialruptur des VKB zu behandeln. Damit kann die Arbeitshypothese anhand unserer Daten angenommen werden.

4.2.5 Hypothesenüberprüfung anhand der Literatur

Wasmaier et al veröffentlichten 2013 ihre Ergebnisse, nachdem sie die Healing Response Technik mit der konservativen Behandlung von Rupturen des vorderen Kreuzbandes miteinander verglichen hatten. Hierbei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Verfahren beim klinischen Outcome nachgewiesen werden (Wasmaier, 2013). Das durchschnittliche Alter des Kollektivs, welches der Healing Response Technik zugeführt wurde, war im Mittel mit knapp 34 Jahren ähnlich dem in dieser Studie untersuchten Kollektiv. Das Follow up lag bei 4,3 Jahren. Auch der Mittelwert im Tegner Score mit 5,7 bzw. der Lysholm Score mit 91 Punkten war ähnlich hoch wie in dieser Arbeit. Allerdings war wiederum das Kollektiv mit nur 30 Patienten deutlich kleiner als das in dieser Arbeit untersuchte.

Jorjani et al zeigten 2014 mittel- und langfristige Ergebnisse der Healing Response Technik mit einem Follow-up von 6,3 Jahren. Hierbei bestand die Insuffizienzrate bei 15 %. Hinsichtlich der objektivierbaren Stabilität des betroffenen Kniegelenkes und der klinischen Ergebnisse wurde ein positives Outcome beschrieben (Jorjani, 2013), was sich auch in den Ergebnissen des Tegner Scores mit im Mittel 4,8 und der Lysholm Scores mit im Durchschnitt 91 Punkten widerspiegelt. Insgesamt wurden in der Studie von Jorjani et al. 43 Patienten untersucht.

Die 2018 veröffentlichte Studie um Koch untersuchte das klinische Outcome Behandlung von Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes mittels Applikation von autologem konditionierten Plasma (ACP) in Kombination mit der Healing Response Technik (Koch, 2018). Hierbei wurden 24 Patienten nachuntersucht. Das Follow-up betrug 1,9 Jahre. Der Tegner Score betrug 5,3 Punkte $\pm 2,1$, der Lysholmscore erreichte 87,6 Punkte $\pm 8,1$. Die postoperative Rolimeter Messung $1,5 \text{ mm} \pm 1,1$ konnte im Vergleich zur präoperativ $2,5 \text{ mm} \pm 1,0$ erhobenen Messung signifikant reduziert werden. Die Revisionsrate lag bei 6% mit einer postoperativ verbliebenen Instabilität von 2% und 4% behandlungsbedürftiger Rerupturen (Koch, 2018).

In Zusammenschau der Ergebnisse ist gemäß der aktuellen Datenlage nach durchgeführter Healing Response Technik von einem sehr guten sowohl subjektiven als auch objektiven Outcome auszugehen. Die in dieser Studie erhobenen Daten bestätigen die bisherigen Ergebnisse bezüglich der Healing-Response Technik, erhöhen allerdings durch ein noch größeres Kollektiv im Vergleich zu den genannten Studien die Reliabilität.

4.3 Diskussion des Operationszeitpunktes

Ob die frühzeitige Versorgung der Partialruptur einen Einfluss auf das postoperative Outcome ausübt, konnte nicht signifikant bewiesen werden. In unserer Studie wurden die Patienten nach 41 ± 101 Wochen operiert. Auch bei isolierten Komplett rupturen des vorderen Kreuzbandes ist eine evidenzbasierte Aussage zum günstigsten Operationszeitpunkt nicht möglich (Hunter, 1996). In dieser Studie wurden insgesamt 4 Gruppen (nach 48 Stunden, nach 3-7 Tagen, nach 1-3 Wochen und nach länger als 3

Wochen) gebildet, die sich jeweils in ihrem operativem Versorgungszeitpunkt unterschieden. Auch in unserem Kollektiv konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Operationszeitpunkt und der postoperativen gemessenen Differenz der Roliometermessung beim Lachman-Test gezeigt werden. In unserer Studie wurde zudem jeweils der Untersuchungszeitpunkt nach 4, 5, 6, 7, 8 und 9 Monaten postoperativ untersucht und mit den Ergebnissen des Lysholm Scores in Korrelation gebracht. Auch hier ergab sich keine statistische Signifikanz.

In der Literatur wird jedoch als frühestmöglicher Operationszeitpunkt 3 Wochen nach Trauma empfohlen. Der Grundgedanke dahinter ist die Tatsache, dass ab diesem Zeitpunkt das Risiko für eine Arthrofibrose sinkt. Als ebenso wichtiger Indikator für den optimalen Operationszeitpunkt erscheint für die Autoren neben dem Rückgang der Weichteilschwellung auch die Steigerung des Bewegungsumfanges im Sinne einer uneingeschränkten Beugefähigkeit des betroffenen Kniegelenkes (Almekinders, 1995; Passler, 1995; Shelbourne, 1995). Setzt man diese Erkenntnisse nun mit unseren erhobenen Daten in Verbindung, konnte kein Nachteil hinsichtlich eines späteren operativen Versorgungszeitpunktes auf das klinische Outcome (Lysholm Score und postoperative Lachman-Test Differenz) ermittelt werden. Vielmehr konnte in dieser Arbeit eine Korrelation zwischen OP-Zeitpunkt und dem Tegner Activity Score dargestellt werden. Je später der Operationszeitpunkt nach stattgehabtem Trauma war, desto höher fiel die Punktzahl im Tegner Score aus. Hierbei zeigte sich eine Signifikanz beim T-Test Mittelwertvergleich für die Versorgungszeitpunkte nach 3 ($p=0,028$) bzw. 4 ($p=0,025$) Monaten. Wählte man eine höhere Latenzdauer als Gruppentrennung aus, so fiel der Mittelwertsvergleich im Tegner Score allerdings nicht signifikant unterschiedlich aus. Dies ist allerdings unter anderem der unterschiedlich starken Fallzahl der Gruppen zuzuschreiben. Wählte man den Median als Gruppentrennpunkt mit 3 Monaten aus, so zeigten sich die Mittelwerte im Tegner Score signifikant höher für Patienten, die zum späteren Zeitpunkt operiert wurden. Warum ein späterer OP-Zeitpunkt zu einem besseren Outcome im Tegner Score führen kann, könnte unter anderem daran liegen, dass ein geringeres Risiko für Arthrofibrose vorliegt. Diese Annahme konnte jedoch nicht endgültig bewiesen werden (Kwok, 2013). Durch eine geringere Arthrofibrose könnte dadurch langfristig eine bessere Beweglichkeit vorliegen. Zudem liegt bei Patienten mit späterem OP-Zeitpunkt keine akute Entzündung vor, sodass hierbei ein einfacheres und

präziseres Operieren durch weniger Weichteilschwellung ermöglicht werden kann, was womöglich zu besseren klinischen Ergebnissen beitragen kann. Da mesenchymale Stammzellen bei der Heilung einen wichtigen Anteil haben, wurde deren Rolle zur Eingrenzung des optimalen Versorgungszeitpunktes in unserer Klinik untersucht. Dabei wurde das jeweilige Proliferationspotential bei unterschiedlichen Latenzen zwischen Ruptur und Rekonstruktion miteinander verglichen. Hierbei ließ sich während des sogenannten subakuten Versorgungszeitraums (31-90 Tage) der größte Anteil an mesenchymalen Stammzellen nachweisen (Kupczyk, 2020).

4.4 Diskussion Operationstechnik

Wasmaier (Wasmaier, 2013) untersuchte den Unterschied zwischen einer konservativen Therapie und der Healing Response Technik bei Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes. Einen wesentlichen Unterschied konnte er jedoch nicht nachweisen. Unter Annahme dieser Erkenntnisse stellt sich nun die Frage, ob die Indikation zur operativen Versorgung überhaupt gegeben ist und die Kniegelenke auch ohne rekonstruktive Maßnahmen an Stabilität gewonnen hätten. Hierzu liegt jedoch keine Kontrollgruppe vor. Letztlich kann diese Frage auch nicht beantwortet werden. Die Entscheidung, ob die Healing Response Technik oder ein konventioneller VKB Ersatz in Betracht kommt, kann nur intraoperativ getroffen werden. Ferner ist es auch hinsichtlich der Behandlungsethik kritisch zu werten, die Patienten ohne Wiederherstellung der Kontinuität des VKB aus der Narkose erwachen zu lassen bei zuvor gestellter Indikation zum VKB Ersatz.

4.5 Diskussion Fragebögen

Zur objektivierbaren Beurteilung der Kniegelenksfunktion gilt der IKDC Untersuchungsbogen als der etablierteste. Zur subjektiven Beurteilbarkeit bzw. der Wahrnehmung des Kniegelenkes des Patienten gelten der Tegner Aktivitätsscore und der Lysholm Score als Mittel der Wahl. Zu erwähnen ist hier, dass diese beiden Scores selten alleine verwendet werden, da der Tegner Score als Ergänzung zum Lysholm Score konzipiert wurde (Tegner, 1985). Im Rahmen der statistischen Auswertung konnten wir

zwischen den Gesamtsummen des Tegner und Lysholm Scores einen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Scores nachweisen ($p=0,018$).

In den in der Literatur bekannten Studien zur Healing Response Technik erfolgte die Datenerhebung auch mit Hilfe des modifizierten IKDC und der Kombination aus Tegner Aktivitätsscore und Lysholm Score. Die in unserer Studie durchgeführte Roliometermessung beim Lachman-Test wurde von Wasmaier (Wasmaier, 2013) mittels eines Kneelax-3-Arthrometers verwendet. In den von J.R. Steadman (Steadman, 2006; Steadman, 2012) durchgeführten Studien und der Studie von Jorjani (Jorjani, 2013) erfolgte die sogenannte Messung des Manual maximum Displacement Tests mittels KT 1000 Messung.

IKDC, Tegner Activity Score und Lysholm Score stellen somit die gängigsten Fragebögen im klinischen und wissenschaftlichen Alltag zur Erfassung der subjektiven Knie-Funktionsfähigkeit dar. Diese Arbeit zeigt, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den drei Fragebögen existiert. Alle drei Fragebögen zeigen, dass postoperativ eine hohe Funktionsfähigkeit erreicht werden konnte. Beispielsweise liegt mit einem Mittelwert im Lysholm Score von knapp 89 ein Wert vor, der in der Literatur eine sehr gute Funktionsfähigkeit beschreibt (Irrgang, 2006). Somit eignen sich prinzipiell alle drei Fragebögen zur postoperativen Erfassung des Outcomes nach operativer Versorgung.

In anderen Studien, die die Thematik der Partialruptur des vorderen Kreuzbandes erfassten, wurden ebenfalls die drei Fragebögen IKDC, Tegner Activity Score und Lysholm Score verwendet. Die Ergebnisse des Lysholm Scores und Tegner Activity Scores der Studien Steadman (Steadman, 2006; Steadman 2012), Jorjani (Jorjani, 2013), Wasmaier (Wasmaier, 2013) und Koch (Koch, 2018) wurden bereits an anderer Stelle diskutiert. Hierbei zeigt sich in allen Studien postoperativ ein gutes Gesamtergebnis in den genannten Score-Systemen.

Zusammenfassend liegt nach Healing-Response-Technik eine gute Funktionsfähigkeit vor, gemessen an den drei gängigen subjektiven Score Systemen.

4.6 Studienlimitierung

Trotz des großen Gesamtkollektivs konnten lediglich 65 Patienten klinisch nachuntersucht werden. Als Ursachen liegen hier unter anderem der Zeitpunkt der Nachuntersuchung, ein erhöhter Anfahrtsweg oder fehlendes Interesse an der Teilnahme der Studie zu Grunde. In das Gesamtkollektiv wurden insgesamt 163 Patienten eingeschlossen, allerdings lagen nur von 107 Patienten sowohl präoperativ als auch postoperativ ein dokumentierter Lachman-Test vor. Zwar wird standardgemäß vor jeder operativen Versorgung des Kniegelenks ein Lachman-Test auch zur grundlegenden Indikationsstellung und weiteren Diagnostik durchgeführt, allerdings war es nur in 107 Fällen möglich, den Lachman-Test sowohl postoperativ als auch präoperativ retrospektiv zu erfassen. Zudem fehlte bei 7 Patienten aus dem Gesamtkollektiv der postoperative Lachman-Test. In die Analyse des T-Tests bezüglich des Mittelwertsvergleich des Lachman-Tests wurden allerdings nur die 107 Patienten eingeschlossen, bei denen beide Werte vorlagen. Weiterhin muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass der präoperative Lachman-Test vom Operateur oder seinem Assistenzarzt in der Sprechstunde und die Nachuntersuchung vom Autor durchgeführt wurde (Interrater Reliabilität). Die Untersucherabhängigkeit des Lachman-Tests wurde bereits in dieser Arbeit diskutiert.

Ebenso muss die Trennschärfe der hier genannten Klassifikation von Partialrupturen kritisch beurteilt werden. Diese ist von der intraoperativen subjektiven Einschätzung des jeweiligen Operateurs abhängig. Zudem lag in unserer Untersuchung keine Vergleichsgruppe vor, wodurch das Evidenzlevel beeinflusst wird. Auch ist zu diskutieren, ob das von uns festgelegte Nachbehandlungsschema zu restriktiv war.

Ferner lagen keine Vergleichsdaten innerhalb des Patientenguts der präoperativ erhobenen Scores (IKDC, Lysholm oder Tegner) vor. Die Nachuntersuchung inklusive Erhebung der drei subjektiven Score Systeme (IKDC, Lysholm oder Tegner) erfolgten allesamt im September 2011 und somit ergeben sich hierbei individuell gesehen insgesamt unterschiedliche Follow-up Zeiten. In zukünftigen Studien sollte sowohl standardmäßig eine Erfassung der Scores prä- und postoperativ erfolgen, als auch ein fixer Nachuntersuchungszeitraum festgelegt werden.

4.7 Ausblick

Die Healing Response Technik wurde später um die Applikation von ACP erweitert (Eichhorn, 2015). Die Verwendung von ACP fand zuvor einen großen Bekanntheitsgrad bei der Therapie von Tendinopathien und Arthrose (Di Matteo, 2015; Kon, 2013). Präklinische Studien zeigten, dass das ACP einen positiven Effekt auf den Stoffwechsel des Gelenkmilieu ausübt und die Heilung von geschädigtem Gewebe fördern kann. Unter der Gabe von ACP kam es bei den Tenozyten des VKB zu einem vermehrten Wachstum von Fibroblasten und einer Anreicherung von Kollagenfasern. Ferner konnte die katabole Belastung reduziert werden (Fallouh, 2010; Mastrangelo, 2011). Hierunter verspricht man sich einen verstärkenden Effekt der Healing Response Technik.

4.8 Fragestellungen

Im Rahmen der Auswertung der von uns erhobenen Daten ergaben sich zusätzliche Fragestellungen, die hinsichtlich der Healing Response Technik erwähnenswert waren:

Ist die Healing Response Technik eine suffiziente Therapieoption bei Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes?

Die subjektive Beurteilung mittels Tegner- und Lysholm-Score ergaben sehr gute postoperative Ergebnisse. Die positive Selbsteinschätzung konnte durch unsere klinischen Nachuntersuchungen mittels IKDC, Lachmantest und Rolimetermessung objektiviert werden.

Welche Vorteile hat die Healing Response Technik gegenüber anderen kreuzbanderhaltenden Operationsverfahren ?

Im Gegensatz zum vollständigen Ersatz des VKB ist bei der Healing Response Technik die Morbidität erheblich niedriger. So entfallen die Entnahme eines erforderlichen Transplantats oder Bohrungen zur Transplantatplatzierung. Kommt es zur Revision nach konventionellem VKB Ersatz ist hier ein aufwändiges zweizeitiges Verfahren mit Überbohrung der ehemaligen Bohrkanäle und ggf. erforderlicher Spongiosaplastik von Nöten. Alternative VKB erhaltende Operationstechniken wie die bereits erwähnte

Ligamys-Methode erfordern auch zur Erstimplantation die Platzierung eines großvolumigen Implantatlagers in der Tibia.

Zu welchem Zeitpunkt der Versorgung kann das beste Outcome erzielt werden ?

Je später der Operationszeitpunkt nach stattgehabtem Trauma war, desto höher fiel die Punktzahl im Tegner Score aus. Hierbei zeigte sich eine Signifikanz beim T-Test Mittelwertvergleich für die Versorgungszeitpunkte nach 3 (p= 0,028) bzw. 4 (p=0,025) Monaten.

Wie hoch ist die Rerupturrate gegenüber der konventionellen VKB Ersatzplastik?

Die Rerupturrate liegt mit 8% deutlich niedriger als bei der konventionellen VKB Ersatzplastik mit 32% (Dekker, 2017).

5 Zusammenfassung

Minimalinvasive Behandlungsmethoden von Partialrupturen des VKBs wurden seit den 1990er Jahren diskutiert. Erstmals veröffentlichte Richard Steadman 2006 und stellte diese Methode als Alternative zur Kreuzbandersatzplastik vor (Steadman, 2006). Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, ob die Healing Response Technik eine suffiziente, langfristige Therapieoption bei Partialrupturen des VKBs ist. Bei der Healing Response Technik wird arthroskopisch das verletzte VKB auf seine Stabilität untersucht und die Ruptur anschließend klassifiziert. Bei einer Partialruptur wird der proximale Ansatz des VKBs angeeißelt. Dadurch kommt es zu reaktiven Einblutungen, Einsprossen von mesenchymalen Stammzellen und Wachstumsfaktoren. Erfolgt eine suffiziente Vernarbung kann eine Stabilisierung des VKBs erzielt werden.

Das Patientenkollektiv wurde in einem Zeitraum von 2005-2010 im Sporthopaedicum in Straubing mittels Healing Response Technik operativ versorgt. Einschlusskriterien waren ein stattgehabtes Trauma, eine kernspintomografisch beschriebene Ruptur oder Partialruptur des VKB, ein positiver Lachman-Test mit unsicherem oder vorhandenem Anschlag, ein maximal einfach positiver Pivot Shift Test, sowie eine subjektive Instabilität. Es erfolgte ein

Es wurden 163 Patienten eingeschlossen. Das initiale Nachuntersuchungsintervall betrug 4,5 Jahre. Die Langzeitergebnisse wurden mittels Mixed-Mode-Befragung mit einem Follow up von 11,4 Jahren erfasst. Insgesamt konnten so 138 Patienten nachuntersucht werden. Die Differenz der Rolimeter Messung konnte von präoperativ 10 ± 2 mm auf postoperativ 7 ± 2 mm signifikant verbessert werden. Der postoperative Lyshom Score betrug 90 ± 12 Punkte. Der Tegner Activity Score lag bei 5 ± 2 . Im Langzeitfollow-up betrug die Revisionsrate 13% mit einem Revisionszeitpunkt von 51 ± 30 Monaten. 8% der befragten Patienten erlitten eine Reruptur. 93% der Patienten beurteilten ihr Kniegelenk subjektiv als stabil.

Somit stellt die Healing Response Technik unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien und der intraoperativen Befunderhebung eine suffiziente Therapieoption für Partialrupturen des VKBs dar.

6 Literaturverzeichnis

- Adachi, N., Ochi, M., Uchio, Y., Iwasa, J., Ryoke, K., & Kuriwaka, M. (2002). Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthop Scand*, 73(3), 330-334.
- Ahrend, M.-D., Ahmad, S., Schröter, S., Stöckle, U., Doebele, S., & Ateschrang, A. (2018). Die Kreuzbandnaht mit Stabilisierung (Ligamys): Eine Therapiemöglichkeit bei akuten Kreuzbandrupturen. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 34(2), 108-114.
- 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(9), 2242-2252.
- Almekinders, L. C., Moore, T., Freedman, D., & Taft, T. N. (1995). Post-operative problems following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 3(2), 78-82.
- Amiel, D., Ishizue, K. K., Harwood, F. L., Kitabayashi, L., & Akeson, W. H. (1989). Injury of the anterior cruciate ligament: the role of collagenase in ligament degeneration. *J Orthop Res*, 7(4), 486-493.
- 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(2), 260-267.
- Andrish, J., & Holmes, R. (1979). Effects of synovial fluid on fibroblasts in tissue culture. *Clin Orthop Relat Res*(138), 279-283.
- Aufwerber, S., Hagstromer, M., & Heijne, A. (2012). Donor-site-related functional problems following anterior cruciate ligament reconstruction: development of a self-administered questionnaire. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(8), 1611-1621.
- Baek, G. H., Carlin, G. J., Vogrin, T. M., Woo, S. L., & Harner, C. D. (1998). Quantitative analysis of collagen fibrils of human cruciate and meniscofemoral ligaments. *Clin Orthop Relat Res*(357), 205-211.

- Barlow, Y., & Willoughby, J. (1992). Pathophysiology of soft tissue repair. *Br Med Bull*, 48(3), 698-711.
- Baumgartl, F. (1964). *Das Kniegelenk: Erkrankungen, Verletzungen und ihre Behandlung mit Hinweisen für die Begutachtung*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- 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(2), 219-228.
- Beynon, B. D., Johnson, R. J., Abate, J. A., Fleming, B. C., & Nichols, C. E. (2005a). Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med*, 33(11), 1751-1767.
- Beynon, B. D., Johnson, R. J., Abate, J. A., Fleming, B. C., & Nichols, C. E. (2005b). Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med*, 33(10), 1579-1602.
- Bourke, H. E., Salmon, L. J., Waller, A., Patterson, V., & Pinczewski, L. A. (2012). Survival of the anterior cruciate ligament graft and the contralateral ACL at a minimum of 15 years. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(9), 1985-1992.
- Bray, R. C., Leonard, C. A., & Salo, P. T. (2002). Vascular physiology and long-term healing of partial ligament tears. *J Orthop Res*, 20(5), 984-989.
- Bray, R. C., Leonard, C. A., & Salo, P. T. (2003). Correlation of healing capacity with vascular response in the anterior cruciate and medial collateral ligaments of the rabbit. *J Orthop Res*, 21(6), 1118-1123.
- Brosius, F. (2002). *SPSS 11, fundierte Einführung in SPSS und die Statistik; ausführliche Beschreibung statistischer Verfahren* (Vol. 1). Bonn: Mitp Verlag.
- Brosius, F. (2011). *SPSS 19*. Heidelberg, Germany: MITP.
- Brückner, H. (1966). [A new method for plastic surgery of cruciate ligaments]. *Chirurg*, 37(9), 413-414.
- Buda, R., Di Caprio, F., Giuriati, L., Luciani, D., Busacca, M., & Giannini, S. (2008). Partial ACL tears augmented with distally inserted hamstring tendons and over-the-top fixation: an MRI evaluation. *Knee*, 15(2), 111-116.

- Burger, C., Prokop, A., Andermahr, J., Jubel, A., & Rehm, K. (2000). 100 Jahre Kreuzbandchirurgie: Die Beantwortung der wichtigsten Fragen in der Literatur der 90er Jahre. *Aktuelle Traumatologie*, *30*(3), 73-87.
- 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 Surg Sports Traumatol Arthrosc*, *21*(9), 1967-1976.
- 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*(5), 632-644.
- DeHaven, K. E. (1980). Diagnosis of acute knee injuries with hemarthrosis. *Am J Sports Med*, *8*(1), 9-14.
- Dekker, T. J., Godin, J. A., Dale, K. M., Garrett, W. E., Taylor, D. C., & Riboh, J. C. (2017). Return to Sport After Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Its Effect on Subsequent Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Bone Joint Surg Am*, *99*(11), 897-904.
- Di Matteo, B., Filardo, G., Kon, E., & Marcacci, M. (2015). Platelet-rich plasma: evidence for the treatment of patellar and Achilles tendinopathy—a systematic review. *Musculoskeletal surgery*, *99*(1), 1-9.
- 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*, *34*(4), 1085-1093.
- 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*(7), 989-995.
- Dragoo, J. L., Braun, H. J., Durham, J. L., Chen, M. R., & Harris, A. H. (2012). Incidence and risk factors for injuries to the anterior cruciate ligament in National Collegiate Athletic Association football: data from the 2004-2005 through 2008-2009 National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System. *Am J Sports Med*, *40*(5), 990-995.

- 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(8), 1906-1914.
- Edwards, D. J., Brown, J. N., Roberts, S. N., & Paterson, R. S. (2000). Long-term results of anterior cruciate ligament reconstruction using ilio-tibial tract and semitendinosus tendon. *Knee*, 7(2), 87-93.
- Eichhorn, J., & Griesbach, B. (2015). Einsatz von ACP bei der Healing response,- Technik zur Behandlung von Knieverletzungen. *JATROS Unfallchirurgie Sporttraumatologie*, 10, 10-12.
- Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., & Shealy, J. E. (1995). A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med*, 23(5), 531-537.
- Fallouh, L., Nakagawa, K., Sasho, T., Arai, M., Kitahara, S., Wada, Y., . . . Takahashi, K. (2010). Effects of autologous platelet-rich plasma on cell viability and collagen synthesis in injured human anterior cruciate ligament. *JBJS*, 92(18), 2909-2916.
- Feagin, J. A., Jr., & Curl, W. W. (1976). Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *Am J Sports Med*, 4(3), 95-100.
- Fehske, K., Steinert, A., & Eichhorn, H.-J. (2013). Intraoperative biologische Augmentation an Ligamenten. *Arthroskopie*, 26(2), 133-138.
- Fehske, K., Ziai, P., & Eichhorn, H.-J. (2009). *Die Healing Response Technik - eine suffiziente Therapieoption bei Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes?* Paper presented at the 26. AGA Kongress, Leipzig, DE.
- Fink, C., Hoser, C., Benedetto, K. P., Hackl, W., & Gabl, M. (1996). [Long-term outcome of conservative or surgical therapy of anterior cruciate ligament rupture]. *Unfallchirurg*, 99(12), 964-969.
- Fisher, M. B., Liang, R., Jung, H. J., Kim, K. E., Zamorra, G., Almarza, A. J., . . . Woo, S. L. (2012). Potential of healing a transected anterior cruciate ligament with genetically modified extracellular matrix bioscaffolds in a goat model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(7), 1357-1365.
- 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(3), 335-346.
- Frobell, R. B., Roos, E. M., Roos, H. P., Ranstam, J., & Lohmander, L. S. (2010). A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *N Engl J Med*, 363(4), 331-342.
- Frobell, R. B., Roos, H. P., Roos, E. M., Roemer, F. W., Ranstam, J., & Lohmander, L. S. (2013). Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. *BMJ*, 346, f232.
- Fu, F. H., & Schulte, K. R. (1996). Anterior cruciate ligament surgery 1996. State of the art? *Clin Orthop Relat Res*(325), 19-24.
- 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(2), 165-176.
- Galway, H. R., & MacIntosh, D. L. (1980). The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*(147), 45-50.
- Gesink, D. S., Pacheco, H. O., Kuiper, S. D., Schreck, P. J., Amiel, D., Akeson, W. H., & Woods, V. L., Jr. (1992). Immunohistochemical localization of beta 1-integrins in anterior cruciate and medial collateral ligaments of human and rabbit. *J Orthop Res*, 10(4), 596-599.
- Goetjes, H. (1913). Über Verletzungen der Ligamenta cruciata des Kniegelenks. *Deutsche Zeitschrift für Chirurgie*, 123(3), 221-289.
- Griffin, L. Y., Agel, J., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Dick, R. W., Garrett, W. E., . . . Wojtys, E. M. (2000). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*, 8(3), 141-150.
- Grontvedt, T., Engebretsen, L., Benum, P., Fasting, O., Molster, A., & Strand, T. (1996). A prospective, randomized study of three operations for acute rupture of the anterior cruciate ligament. Five-year follow-up of one hundred and thirty-one patients. *J Bone Joint Surg Am*, 78(2), 159-168.
- GrOOD, E. S., Suntay, W. J., Noyes, F. R., & Butler, D. L. (1984). Biomechanics of the knee-extension exercise. Effect of cutting the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 66(5), 725-734.
- Gruber, J., Wolter, D., & Lierse, W. (1986). [Anterior cruciate ligament reflex (LCA reflex)]. *Unfallchirurg*, 89(12), 551-554.

- Hefti, F., & Muller, W. (1993). [Current state of evaluation of knee ligament lesions. The new IKDC knee evaluation form]. *Orthopade*, 22(6), 351-362.
- Henle, P., Röder, 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 musculoskeletal disorders*, 16, 27-27.
- Hertel, P. (1996). [Acute and chronic knee ligament injuries]. *Unfallchirurg*, 99(9), 686-700; quiz 699.
- Hesse, E. (1914). Über den Ersatz der Kreuzbänder des Kniegelenkes durch freie Fascientransplantation. *Verh Dtsch Ges Chir*, 43, 188-189.
- Hu, J., Qu, J., Xu, D., Zhang, T., Zhou, J., & Lu, H. (2014). Clinical outcomes of remnant preserving augmentation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 22(9), 1976-1985.
- Hunter, R. E., Mastrangelo, J., Freeman, J. R., Purnell, M. L., & Jones, R. H. (1996). The impact of surgical timing on postoperative motion and stability following anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 12(6), 667-674.
- Hur, C. I., Song, E. K., Kim, S. K., Lee, S. H., & Seon, J. K. (2017). Early anterior cruciate ligament reconstruction can save meniscus without any complications. *Indian J Orthop*, 51(2), 168-173.
- Hussein, M., van Eck, C. F., Cretnik, A., Dinevski, D., & Fu, F. H. (2012). Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up. *Am J Sports Med*, 40(3), 512-520.
- Inoue, M., McGurk-Burleson, E., Hollis, J. M., & Woo, S. L. (1987). Treatment of the medial collateral ligament injury. I: The importance of anterior cruciate ligament on the varus-valgus knee laxity. *Am J Sports Med*, 15(1), 15-21.
- Irrgang, J. J., Anderson, A. F., Boland, A. L., Harner, C. D., Kurosaka, M., Neyret, P., . . . Shelborne, K. D. (2001). Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med*, 29(5), 600-613.
- Irrgang, J. J., Anderson, A. F., Boland, A. L., Harner, C. D., Neyret, P., Richmond, J. C., . . . International Knee Documentation, C. (2006). Responsiveness of the

- International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med*, 34(10), 1567-1573.
- Jones, K. G. (1963). Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. A Technique Using the Central One-Third of the Patellar Ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 45, 925-932.
- Jones, R. (1916). Vi. Disabilities of the Knee-Joint. *Br Med J*, 2(2901), 169-172.
- Jorjani, J., Altmann, D., Auen, R., Koopmann, C., Lyutenski, B., & Wirtz, D. C. (2013). [Medium- to long-term follow-up after anterior cruciate ligament rupture and repair in healing response technique]. *Z Orthop Unfall*, 151(6), 570-579.
- Kaplan, N., Wickiewicz, T. L., & Warren, R. F. (1990). Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A long-term follow-up study. *Am J Sports Med*, 18(4), 354-358.
- Kennedy, J. C., Roth, J. H., Mendenhall, H. V., & Sanford, J. B. (1980). Presidential address: Intraarticular replacement in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *The American Journal of Sports Medicine*, 8(1), 1-8.
- Klasan, A., Putnis, S. E., Kandhari, V., Oshima, T., Fritsch, B. A., & Parker, D. A. (2020). Healthy knee KT1000 measurements of anterior tibial translation have significant variation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 28(7), 2177-2183.
- Kluczynski, M. A., Marzo, J. M., Rauh, M. A., Bernas, G. A., & Bisson, L. J. (2015). Sex-Specific Predictors of Intra-articular Injuries Observed During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 3(2), 2325967115571300.
- Kobayashi, K., Healey, R. M., Sah, R. L., Clark, J. J., Tu, B. P., Goomer, R. S., . . . Amiel, D. (2000). Novel method for the quantitative assessment of cell migration: a study on the motility of rabbit anterior cruciate (ACL) and medial collateral ligament (MCL) cells. *Tissue Eng*, 6(1), 29-38.
- Koch, M., Matteo, B. D., Eichhorn, J., Zellner, J., Mayr, F., Krutsch, W., . . . Angele, P. (2018). Intra-ligamentary autologous conditioned plasma and healing response to treat partial ACL ruptures. *Arch Orthop Trauma Surg*, 138(5), 675-683.
- Kon, E., Filardo, G., Di Matteo, B., & Marcacci, M. (2013). Suppl 1: PRP For the Treatment of Cartilage Pathology. *The Open Orthopaedics Journal*, 7, 120.

- Konrads, C., Reppenhagen, S., Belder, D., Goebel, S., Rudert, M., & Barthel, T. (2016). Long-term outcome of anterior cruciate ligament tear without reconstruction: a longitudinal prospective study. *Int Orthop*, *40*(11), 2325-2330.
- Krause, M., Freudenthaler, F., Frosch, K. H., Achtnich, A., Petersen, W., & Akoto, R. (2018). Operative Versus Conservative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Dtsch Arztebl Int*, *115*(51-52), 855-862.
- Krogsgaard, M. R., Fischer-Rasmussen, T., & Dyhre-Poulsen, P. (2011). Absence of sensory function in the reconstructed anterior cruciate ligament. *J Electromyogr Kinesiol*, *21*(1), 82-86.
- Kupczyk, E., Ehlicke, F., Reboredo, J., Haddad-Weber, M., Meffert, R., . . . Fehske, K. (2020). Mesenchymale Stammzellen aus dem rupturierten vorderen Kreuzband - können sie uns den optimalen Operationszeitpunkt anzeigen? *Z Orthop Unfall*, *158*, 115-116.
- Kwok, C. S., Harrison, T., & Servant, C. (2013). The optimal timing for anterior cruciate ligament reconstruction with respect to the risk of postoperative stiffness. *Arthroscopy*, *29*(3), 556-565.
- Lange, M. (1949). Behandlung von Gelenkschäden. In: Unfallorthopädie. *Stuttgart: F. Enke*.
- Leblanc, M. C., Kowalczyk, M., Andruszkiewicz, N., Simunovic, N., Farrokhyar, F., Turnbull, T. L., . . . Ayeni, O. R. (2015). Diagnostic accuracy of physical examination for anterior knee instability: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, *23*(10), 2805-2813.
- Lee, B. I., Kwon, S. W., Kim, J. B., Choi, H. S., & Min, K. D. (2008). Comparison of clinical results according to amount of preserved remnant in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled hamstring graft. *Arthroscopy*, *24*(5), 560-568.
- Lee, B. I., Min, K. D., Choi, H. S., Kwon, S. W., Chun, D. I., Yun, E. S., . . . Yoo, J. H. (2009). Immunohistochemical study of mechanoreceptors in the tibial remnant of the ruptured anterior cruciate ligament in human knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, *17*(9), 1095-1101.
- Lee, S., Kim, H., Jang, J., Seong, S. C., & Lee, M. C. (2012). Comparison of anterior and rotatory laxity using navigation between single- and double-bundle ACL

- reconstruction: prospective randomized trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(4), 752-761.
- Lemaire, M. (1967). Ruptures anciennes du ligament croisé antérieur du genou. Fréquence-Clinique-Traitement. *J Chir (Paris)*, 93, 311-320.
- Lindemann, K. (1950). [Plastic surgery in substitution of the cruciate ligaments of the knee-joint by means of pedunculated tendon transplants]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 79(2), 316-334.
- Lobenhoffer, P., & Tschorne, H. (1993). [Rupture of the anterior cruciate ligament. Current status of treatment]. *Unfallchirurg*, 96(3), 150-168.
- Luc, B., Gribble, P. A., & Pietrosimone, B. G. (2014). Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and numbers-needed-to-treat analysis. *J Athl Train*, 49(6), 806-819.
- Lui, P. P., Ho, G., Lee, Y. W., Ho, P. Y., Lo, W. N., & Lo, C. K. (2011). Validation of a histologic scoring system for the examination of quality of tendon graft to bone tunnel healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Anal Quant Cytol Histol*, 33(1), 36-49.
- Lutz, F. (1954). [Experiences and results of Niederecker's arthroplasty of the cruciate ligaments of the knee]. *Arch Orthop Unfallchir*, 46(4), 439-444.
- Lysholm, J., & Gillquist, J. (1982). Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10(3), 150-154.
- Mackay, G. M., Blyth, M. J., Anthony, I., Hopper, G. P., & Ribbans, W. J. (2015). A review of ligament augmentation with the InternalBrace: the surgical principle is described for the lateral ankle ligament and ACL repair in particular, and a comprehensive review of other surgical applications and techniques is presented. *Surg Technol Int*, 26, 239-255.
- Marshall, J. L., Arnoczky, S. P., Rubin, R. M., & Wickiewicz, T. L. (1979). Microvasculature of the Cruciate Ligaments. *Phys Sportsmed*, 7(3), 87-91.
- Mastrangelo, A. N., Vavken, P., Fleming, B. C., Harrison, S. L., & Murray, M. M. (2011). Reduced platelet concentration does not harm PRP effectiveness for ACL repair in a porcine in vivo model. *Journal of Orthopaedic Research*, 29(7), 1002-1007.

- Mehl, J., Diermeier, T., Herbst, E., Imhoff, A. B., Stoffels, T., Zantop, T., . . . Achtnich, A. (2018). Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch Orthop Trauma Surg, 138*(1), 51-61.
- Mehl, J., Otto, A., Baldino, J. B., Achtnich, A., Akoto, R., Imhoff, A. B., . . . Petersen, W. (2019a). The ACL-deficient knee and the prevalence of meniscus and cartilage lesions: a systematic review and meta-analysis (CRD42017076897). *Arch Orthop Trauma Surg, 139*(6), 819-841.
- Mehl, J., Scheffler, S., & Petersen, W. (2019b). Protektiver Effekt der Vorderen-Kreuzband-Plastik. *Knie Journal, 1*(2), 85-90.
- Muaidi, Q. I., Nicholson, L. L., Refshauge, K. M., Adams, R. D., & Roe, J. P. (2009). Effect of anterior cruciate ligament injury and reconstruction on proprioceptive acuity of knee rotation in the transverse plane. *Am J Sports Med, 37*(8), 1618-1626.
- Murray, M. M., & Fleming, B. C. (2013). Biology of anterior cruciate ligament injury and repair: Kappa delta ann doner vaughn award paper 2013. *J Orthop Res, 31*(10), 1501-1506.
- Murray, M. M., Martin, S. D., Martin, T. L., & Spector, M. (2000). Histological changes in the human anterior cruciate ligament after rupture. *J Bone Joint Surg Am, 82*(10), 1387-1397.
- Murray, M. M., Spindler, K. P., Ballard, P., Welch, T. P., Zurakowski, D., & Nanney, L. B. (2007). Enhanced histologic repair in a central wound in the anterior cruciate ligament with a collagen-platelet-rich plasma scaffold. *J Orthop Res, 25*(8), 1007-1017.
- Nagai, T., Heebner, N. R., Sell, T. C., Nakagawa, T., Fu, F. H., & Lephart, S. M. (2013). Restoration of sagittal and transverse plane proprioception following anatomic double-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 21*(9), 2048-2056.
- Nohmi, S., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Tsukada, H., & Toh, S. (2012). Biomechanical comparison between single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon under cyclic loading

- condition. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 4(1), 23.
- O'Donoghue, D. H. (1950). Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 32 A(4), 721-738.
- Ochi, M., Adachi, N., Uchio, Y., Deie, M., Kumahashi, N., Ishikawa, M., & Sera, S. (2009). A minimum 2-year follow-up after selective anteromedial or posterolateral bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 25(2), 117-122.
- Ochi, M., Iwasa, J., Uchio, Y., Adachi, N., & Sumen, Y. (1999). The regeneration of sensory neurones in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br*, 81(5), 902-906.
- Odensten, M., & Gillquist, J. (1985). Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*, 67(2), 257-262.
- Odensten, M., Lysholm, J., & Gillquist, J. (1984). Suture of fresh ruptures of the anterior cruciate ligament. A 5-year follow-up. *Acta Orthop Scand*, 55(3), 270-272.
- Ohsawa, T., Kimura, M., Kobayashi, Y., Hagiwara, K., Yorifuji, H., & Takagishi, K. (2012). Arthroscopic evaluation of preserved ligament remnant after selective anteromedial or posterolateral bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 28(6), 807-817.
- Oiestad, B. E., Engebretsen, L., Storheim, K., & Risberg, M. A. (2009). Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Am J Sports Med*, 37(7), 1434-1443.
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med*, 32(4), 1002-1012.
- Passler, J. M., Schippinger, G., Schweighofer, F., Fellingner, M., & Seibert, F. J. (1995). [Complications in 283 cruciate ligament replacement operations with free patellar tendon transplantation. Modification by surgical technique and surgery timing]. *Unfallchirurgie*, 21(5), 240-246.

- Petersen, W. (2009). *Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie; mit 29 Tabellen*: Deutscher Ärzteverlag.
- Petersen, W., & Tillmann, B. (1999). Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat Embryol (Berl)*, 200(3), 325-334.
- Petersen, W., & Tillmann, B. (2002). [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade*, 31(8), 710-718.
- Potter, H. G., Jain, S. K., Ma, Y., Black, B. R., Fung, S., & Lyman, S. (2012). Cartilage injury after acute, isolated anterior cruciate ligament tear: immediate and longitudinal effect with clinical/MRI follow-up. *Am J Sports Med*, 40(2), 276-285.
- Pruss, A. (2017). [Prevention of infections due to musculoskeletal allografts]. *Unfallchirurg*, 120(11), 908-917.
- Quatman, C. E., Kiapour, A. M., Demetropoulos, C. K., Kiapour, A., Wordeman, S. C., Levine, J. W., . . . Hewett, T. E. (2014). Preferential loading of the ACL compared with the MCL during landing: a novel in sim approach yields the multiplanar mechanism of dynamic valgus during ACL injuries. *Am J Sports Med*, 42(1), 177-186.
- Robayo, L. M., Moulin, V. J., Tremblay, P., Cloutier, R., Lamontagne, J., Larkin, A. M., . . . Goulet, F. (2011). New ligament healing model based on tissue-engineered collagen scaffolds. *Wound Repair Regen*, 19(1), 38-48.
- Robson, A. W. (1903). VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg*, 37(5), 716-718.
- Sanders, T. L., Kremers, H. M., Bryan, A. J., Fruth, K. M., Larson, D. R., Pareek, A., . . . Krych, A. J. (2016). Is Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Effective in Preventing Secondary Meniscal Tears and Osteoarthritis? *Am J Sports Med*, 44(7), 1699-1707.
- Schmid, F. (1996). [Injuries of the medial collateral ligament and anterior cruciate ligament of the knee joint and Lemaire surgical functional treatment. Long-term outcome]. *Unfallchirurgie*, 22(3), 124-129.
- Segawa, H., Omori, G., & Koga, Y. (2001). Long-term results of non-operative treatment of anterior cruciate ligament injury. *Knee*, 8(1), 5-11.

- Seiler, H., & Frank, H. R. (1993). [Suture of the anterior cruciate ligament--what is the real value of this method?]. *Unfallchirurg*, 96(9), 443-450.
- Serrano-Fernandez, J. M., Espejo-Baena, A., Martin-Castilla, B., De La Torre-Solis, F., Mariscal-Lara, J., & Merino-Ruiz, M. L. (2010). Augmentation technique for partial ACL ruptures using semitendinosus tendon in the over-the-top position. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18(9), 1214-1218.
- Shelbourne, K. D., Facibene, W. A., & Hunt, J. J. (1997). Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 5(4), 229-233.
- Shelbourne, K. D., & Patel, D. V. (1995). Timing of surgery in anterior cruciate ligament-injured knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 3(3), 148-156.
- Smith, B. A., Livesay, G. A., & Woo, S. L. (1993). Biology and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Clin Sports Med*, 12(4), 637-670.
- Smith, T., Postle, K., Penny, F., McNamara, I., & Mann, C. (2014). Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. *The Knee*, 21(2), 462-470.
- Sommerlath, K., Lysholm, J., & Gillquist, J. (1991). The long-term course after treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures. A 9 to 16 year followup. *Am J Sports Med*, 19(2), 156-162.
- Sonnery-Cottet, B., Lavoie, F., Ogassawara, R., Scussiato, R. G., Kidder, J. F., & Chambat, P. (2010). Selective anteromedial bundle reconstruction in partial ACL tears: a series of 36 patients with mean 24 months follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18(1), 47-51.
- Sonnery-Cottet, B., Panisset, J. C., Colombet, P., Cucurulo, T., Graveleau, N., Hulet, C., . . . French Arthroscopy, S. (2012). Partial ACL reconstruction with preservation of the posterolateral bundle. *Orthop Traumatol Surg Res*, 98(8 Suppl), S165-170.
- Sonnery-Cottet, B., Zayni, R., Conteduca, J., Archbold, P., Prost, T., Carrillon, Y., . . . Thauinat, M. (2013). Posterolateral Bundle Reconstruction With Anteromedial Bundle Remnant Preservation in ACL Tears: Clinical and MRI Evaluation of 39

- Patients With 24-Month Follow-up. *Orthop J Sports Med*, 1(3), 2325967113501624.
- Souryal, T. O., & Freeman, T. R. (1993). Intercondylar notch size and anterior cruciate ligament injuries in athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*, 21(4), 535-539.
- Stark, J. (1850). Two Cases of Rupture of the Crucial Ligament of the Knee-Joint. *Edinb Med Surg J*, 74(185), 267-271.
- Steadman, J. R., Briggs, K. K., Rodrigo, J. J., Kocher, M. S., Gill, T. J., & Rodkey, W. G. (2003). Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy*, 19(5), 477-484.
- 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. *J Knee Surg*, 19(1), 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(3), 255-260.
- Strobel, M., & Zantop, T. (2010). *Vorderes Kreuzband: Anatomie, Diagnostik und Operationstechnik*: Verlag Endo Press Tuttlingen.
- Takeda, Y., Xerogeanes, J. W., Livesay, G. A., Fu, F. H., & Woo, S. L. (1994). Biomechanical function of the human anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*, 10(2), 140-147.
- Tegner, Y., & Lysholm, J. (1985). Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*(198), 43-49.
- Tillmann, B. (1974). Zur funktionellen Morphologie der Gelenkentwicklung. *Orthop Prax*, 12, 328-342.
- Tillmann, B., Leonhardt, H., Rauber, A., & Kopsch, F. (1998). Bewegungsapparat. In *Anatomie des Menschen* ([Neuauf., 20. Aufl.], 2., verb. Aufl. ed., pp. XI, 797 S.). Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Torg, J. S., Conrad, W., & Kalen, V. (1976). Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*, 4(2), 84-93.
- van Meer, B. L., Oei, E. H., Meuffels, D. E., van Arkel, E. R., Verhaar, J. A., Bierma-Zeinstra, S. M., & Reijman, M. (2016). Degenerative Changes in the Knee 2

- Years After Anterior Cruciate Ligament Rupture and Related Risk Factors: A Prospective Observational Follow-up Study. *Am J Sports Med*, 44(6), 1524-1533.
- 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(4), 263-271.
- Wiggins, A. J., Grandhi, R. K., Schneider, D. K., Stanfield, D., Webster, K. E., & Myer, G. D. (2016). Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*, 44(7), 1861-1876.
- Winnisch, M., Tiefenboeck, T. M., Steiger, M., Komjati, M., Hofbauer, M., & Kdolsky, R. (2018). Long-term results after primary augmented repair of proximal tears of the anterior cruciate ligament with the Kennedy-LAD; Does it work? *The Knee*, 25(6), 1115-1121.
- Woo, S. L., Vogrin, T. M., & Abramowitch, S. D. (2000). Healing and repair of ligament injuries in the knee. *J Am Acad Orthop Surg*, 8(6), 364-372.
- Xie, J., Jiang, J., Huang, W., Zhang, Y., Xu, C., Wang, C., . . . Sung, K. L. (2014). TNF-alpha induced down-regulation of lysyl oxidase family in anterior cruciate ligament and medial collateral ligament fibroblasts. *Knee*, 21(1), 47-53.
- Xie, J., Jiang, J., Zhang, Y., Xu, C., Yin, L., Wang, C., . . . Sung, K. L. (2012). Up-regulation expressions of lysyl oxidase family in Anterior Cruciate Ligament and Medial Collateral Ligament fibroblasts induced by Transforming Growth Factor-Beta 1. *Int Orthop*, 36(1), 207-213.
- Xie, J., Wang, C., Huang, D. Y., Zhang, Y., Xu, J., Kolesnikov, S. S., . . . Zhao, H. (2013a). TGF-beta1 induces the different expressions of lysyl oxidases and matrix metalloproteinases in anterior cruciate ligament and medial collateral ligament fibroblasts after mechanical injury. *J Biomech*, 46(5), 890-898.
- Xie, J., Wang, C., Yin, L., Xu, C., Zhang, Y., & Sung, K. L. (2013b). Interleukin-1 beta influences on lysyl oxidases and matrix metalloproteinases profile of injured anterior cruciate ligament and medial collateral ligament fibroblasts. *Int Orthop*, 37(3), 495-505.

- Yoon, K. H., Bae, D. K., Cho, S. M., Park, S. Y., & Lee, J. H. (2009). Standard anterior cruciate ligament reconstruction versus isolated single-bundle augmentation with hamstring autograft. *Arthroscopy*, 25(11), 1265-1274.
- Zantop, T., Brucker, P. U., Vidal, A., Zelle, B. A., & Fu, F. H. (2007). Intraarticular rupture pattern of the ACL. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 48-53.
- Zhang, J., Yang, L., Tang, Z., Xue, R., Wang, Y., Luo, Z., . . . Sung, K. L. (2009). Expression of MMPs and TIMPs family in human ACL and MCL fibroblasts. *Connect Tissue Res*, 50(1), 7-13.
- Zhou, D., Lee, H. S., Villarreal, F., Teng, A., Lu, E., Reynolds, S., . . . Sung, K. L. (2005). Differential MMP-2 activity of ligament cells under mechanical stretch injury: an in vitro study on human ACL and MCL fibroblasts. *J Orthop Res*, 23(4), 949-957.

Appendix

I Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACP	Autologes konditioniertes Plasma
ESSKA	European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy
HKB	Hinteres Kreuzband
IKDC	International Knee Documentation Committee
MCL	Mediales Kollateralband
N	Newton
Tab.	Tabelle
VKB	Vorderes Kreuzband

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Darstellung des Bandapparates am Kniegelenk; Eigendarstellung	S. 5
Abbildung 2	Schematische Darstellung der Faserbündel am Ursprung und Ansatz des VKB; Eigendarstellung in Anlehnung an (W.Petersen 2002)	S. 5
Abbildung 3	Spannungsverhalten der Bündelstrukturen in Abhängigkeit der Kniegelenksstellung; Eigendarstellung	S. 6
Abbildung 4	typischer Verletzungsmechanismus; Eigendarstellung in Anlehnung an Strobel 2010	S. 11
Abbildung 5	Zusammensetzung Follow up	S. 18
Abbildung 6	Healing Response Technik mit freundlicher Genehmigung von Springernature	S. 20
Abbildung 7	Lachman Test und Untersuchung mittels Roliometer	S. 23
Abbildung 8	Untersuchung des Kniegelenks mit dem Pivot Shift Test	S. 25
Abbildung 9	Verteilung der postoperativ gemessenen Differenz des Lachman-Tests zwischen gesunder und betroffener Seite	S. 38
Abbildung 10	OP Latenzverteilung in Wochen	S. 40

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ein- und Ausschlusskriterien	S. 17
Tabelle 2	Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen	S. 28
Tabelle 3	Lachman-Test präoperativ	S. 28
Tabelle 4	Subjektive Beurteilung des Kniegelenkes durch den Patienten	S. 29
Tabelle 5	Subjektive Beurteilung der Kniegelenksfunktion durch den Patienten	S. 29
Tabelle 6	Subjektive Wahrnehmung des Patienten auf die Einflussnahme des Kniegelenkes auf das Aktivitätsniveau	S. 30
Tabelle 7	Schmerzangabe des Patienten bei höchster Aktivitätsstufe	S. 30
Tabelle 8	Angabe der Schwellneigung des Kniegelenkes bei höchster Aktivitätsstufe	S. 31

Tabelle 9	Angabe des Patienten, dass kein teilweises Giving way Phänomen vorliegt	S. 31
Tabelle 10	Angabe des Patienten, dass kein vollständiges Giving way Phänomen vorliegt	S. 32
Tabelle 11	Streckausfall von der anatomischen Nullstellung	S. 32
Tabelle 12	Beugeausfall von der anatomischen Nullstellung	S. 32
Tabelle 13	Anschlag beim Lachman-Test	S. 33
Tabelle 14	Pivot Shift Test	S. 33
Tabelle 15	Einbeinsprungtest „triple jump	S. 34
Tabelle 16	Tegner Activity Score	S. 34
Tabelle 17	Lysholm Score	S. 35
Tabelle 18	Chi-Quadrat Test nach Pearson für die signifikanten Korrelationen von IKDC & Tegner score	S. 36

Tabelle 19	Chi Quadrat Test nach Pearson für die Korrelation von Lysholm und IKDC Score	S. 37
Tabelle 20	Chi Quadrat Test nach Pearson für Tegner und Lysholmscore	S. 37
Tabelle 21	Lachman-Test postoperativ	S. 38
Tabelle 22	Mittelwertsvergleich Lachman-Test prä- und postoperativ	S. 39
Tabelle 23	OP-Zeitpunkt nach Trauma aufgelistet nach Wochen und Monaten	S. 39
Tabelle 24	Perzentilen der Verteilung der OP-Zeitpunkte nach Trauma im Gesamtkollektiv	S. 40
Tabelle 25	Korrelation zwischen OP-Zeitpunkt nach Trauma und Lysholm Gesamt-Score, Lachman-Test-Differenz postoperativ und Tegner Activity Score	S. 41
Tabelle 26	Mittelwertsvergleich von Lysholm Gesamt-Score, Lachman-Test-Differenz postoperativ und Tegner Activity Score zu unterschiedlichen OP-Zeitpunkten nach Trauma	S. 42

IV Danksagung

Besonderer Dank geht an Prof. Dr. Rainer Meffert für die Überlassung des Promotionsthemas und die stetige Motivation, die ich sehr zu schätzen weiß.

Ebenfalls danke ich Herrn Dr. Kai Fehske für die hervorragende Betreuung und die Diskussionsbereitschaft, die zur Fertigstellung der Arbeit essenziell war.

Zuletzt möchte ich auch meiner Familie und insbesondere meiner Frau Elena danken, die mich stets unterstützt hat und ohne die ich nicht da wäre, wo ich heute bin.

VI Eigene Veröffentlichungen und Kongressteilnahmen

Deutscher Kongress für Orthopädie- und Unfallchirurgie

Jovic S, Gilbert F, Jansen H, Meffert R, Heintel TM (2018). Konventionelle offene versus minimalinvasive dorsale Instrumentierung im Rahmen der 360 Grad-Versorgung von Berstungsfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule.

Jovic S, Meffert R, Heintel TM (2019). Komplikationsrate und -muster der offenen und minimalinvasiven Instrumentierung frischer Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule

AGA-Kongress:

Fehske, K., Jovic, S., Ziai, P., Meffert, R. & Eichhorn, H. (2012). Mittel- und langfristige Ergebnisse nach Anmeißelung des vorderen Kreuzbandes in der sogenannten Healing Response Technik.

Veröffentlichungen:

Fenwick, A., Kroger, N., Jovic, S., Holscher-Doht, S., Meffert, R., & Jansen, H. (2020). Pedobarography shows no differences in gait after talar fractures. *Technol Health Care*, 28(1), 85-92.

Jordan, M. C., Jovic, S., Gilbert, F., Kunz, A., Ertl, M., Strobl, U., Fuchs, K. F. (2021). [Smartphone-based photographic wound documentation improves the quality of medical accounting in orthopedic and plastic surgery]. *Unfallchirurg*, 124(5), 366-372.

sportopaedicum
straubing berlin regensburg

Um einen geeigneten Termin für Sie vereinbaren zu können, bitten wir Sie, das im Anhang befindliche Feld auszufüllen.
Wir werden uns dann nochmals telefonisch mit Ihnen in Verbindung setzen.

Wir bedanken uns für Ihre Unterstützung und verbleiben
mit freundlichen Grüßen

(Dr. med. Jürgen Eichhorn) (Prof. Dr. med. Rainer Meffert) (Dr. med. Kai Fehske)

(cand. med. Sebastian Jovic)

Diesen Patientenfragebogen bitte zur Nachuntersuchung mitbringen !

Name

Vorname

Geburtsdatum

Zur Kontaktaufnahme bitten wir Sie die nachfolgenden Felder vollständig auszufüllen

Ich bin telefonisch unter folgender Nummer zu erreichen:

Festnetz:

Mobil:

Email:

WICHTIG ! UNBEDINGTAUSFÜLLEN !

Meinen Unfall hatte ich damals am:

Unfallursache war (z.B. Fußball etc):

IKDC

1. SUBJEKTIVE BEURTEILUNG DURCH PATIENT normal fast normal abnormal stark abnormal

Wie funktioniert ihr Knie? normal fast normal abnormal stark abnormal

Wie beeinflusst ihr Knie ihre Aktivität auf einer Skala von 0 bis 3? 0 1 2 3

2. SYMPTOME (Fehlen von signifikanten Symptomen bei höchster vom Pat. ausgeübter Aktivitätsstufe)

Keine Schmerzen bei Aktivitätsniveau	<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> III	<input type="checkbox"/> IV
Keine Schwellung bei Aktivitätsniveau	<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> III	<input type="checkbox"/> IV
Kein teilw. Giving way bei Aktivitätsniveau	<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> III	<input type="checkbox"/> IV
Kein kompl. Giving way bei Aktivitätsniveau	<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> III	<input type="checkbox"/> IV

3. BEWEGUNGSUMFANG: Flex./Ext.: Betroffene Seite:/...../..... Gegenseite:/...../.....

Streckausfall (von anatom. Nullstellung)	<input type="checkbox"/> <3°	<input type="checkbox"/> 3-5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> >10°
Flexionsausfall	<input type="checkbox"/> 0-5°	<input type="checkbox"/> 6-15°	<input type="checkbox"/> 16-25°	<input type="checkbox"/> >25°

4. UNTERSUCHUNG BANDAPPARAT 3 bis 5 mm oder 6 bis 10 mm

Lachmann (Rollimetermessung)mm Gegenseite:mm

Anschlag: fest weich unsicher kein Anschlag

Pivot Shift +++ ++ + glide negativ

Reversed pivot shift =neg. gering markant massiv

5. KOMPARTIMENTALE BEFUNDE

Patellaverschieblichkeit: Glide

Tilt.....

Patellofermorale Krepitation kein/seit.gl. mäßig schmerzhaft stark

6. FUNKTIONELLER TEST

Einbeinsprungtest (% Gegenseite) 90-100% 76-90% 50-75% <50%

„Triple-Jump“

Tegner Score

Bitte kreuzen Sie die auf Sie am ehesten zutreffende Aussage an:

Krankheits-oder Invalidenrente wegen Knieproblemen	0
Arbeit: sitzende Tätigkeit Gehen auf ebener Fläche möglich	1
Arbeitsfähigkeit: Leichte Arbeit, gehen auf unebenem Gelände möglich	2
Arbeitsfähigkeit: Leichte Arbeit (z.B. Krankenpflege) Wettkampf - und Erholungssportarten: Schwimmen, Spazieren im Wald möglich	3
Arbeitsfähigkeit: mäßig schwere Arbeit (z.B. LKW - Fahren, schwere Hausarbeit) Erholungssportarten: Radfahren, Skilanglauf, Jogging auf ebenem Boden (mind.2x pro Woche)	4
Arbeitsfähigkeit: schwere Arbeit (z. B., Bau, Forstwirtschaft) Wettkampfsportarten: Radfahren, Skilanglauf Erholungssportarten: Jogging auf unebenem Boden mindestens zweimal Wöchentlich	5
Leistungssport: Tennis und Badminton, Handball, Basketball, Skifahren, Joggen mindestens fünf Mal pro Woche	6
Leistungssport: Tennis, Leichtathletik (Laufen), Motocross, Speedway, Handball, Basketball Erholungssportarten: Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Springen) Langlauf	7
Eishockey, Squash oder Badminton, Leichtathletik (Springen, etc.), Skifahren	8
Leistungssport: Fußball (unteren Ligen), Eishockey, Ringen, Gymnastik	9
Leistungssport: Fußball - nationale und internationale Elite	10

Lysholm Score

Bitte kreuzen Sie das für Sie zutreffende Kästchen am rechten Rand bitte an

Hinken	Nein	5	<input type="checkbox"/>
	Wenig oder zeitweise	3	<input type="checkbox"/>
	Stark oder immer	1	<input type="checkbox"/>
Belastung	Vollbelastung	5	<input type="checkbox"/>
	Gehstützen oder Stock	3	<input type="checkbox"/>
	Belastung nicht möglich	0	<input type="checkbox"/>
Blockierung	keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung	15	<input type="checkbox"/>
	Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung	10	<input type="checkbox"/>
	Gelegentliche Blockierung	6	<input type="checkbox"/>
	Häufige Blockierung	2	<input type="checkbox"/>
	Blockiertes Gelenk bei Untersuchung	0	<input type="checkbox"/>
Instabilität	Niemals "giving way" Phänomen	25	<input type="checkbox"/>
	"giving way" selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung	20	<input type="checkbox"/>
	"giving way" häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich, daran teilzunehmen)	15	<input type="checkbox"/>
	"giving way" gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10	<input type="checkbox"/>
	"giving way" oft während Tätigkeiten des Alltags	5	<input type="checkbox"/>
	"giving way" bei jedem Schritt	0	<input type="checkbox"/>
Schmerzen	Keine	0	<input type="checkbox"/>
	unregelmäßig und gering während schwerer Anstrengung	20	<input type="checkbox"/>
	deutlich/ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15	<input type="checkbox"/>
	deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2 km	10	<input type="checkbox"/>
	deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2 km	5	<input type="checkbox"/>
	ständig	0	<input type="checkbox"/>
Schwellung	Keine	10	<input type="checkbox"/>
	bei schwere Anstrengung	6	<input type="checkbox"/>
	bei gewöhnlicher Anstrengung	2	<input type="checkbox"/>
	ständig	0	<input type="checkbox"/>
Treppensteigen	kein Problem	10	<input type="checkbox"/>
	ein wenig beeinträchtigt	6	<input type="checkbox"/>
	Schritt für Schritt	2	<input type="checkbox"/>
	nicht möglich	0	<input type="checkbox"/>
Hocken	kein Problem	5	<input type="checkbox"/>
	wenig beeinträchtigt	4	<input type="checkbox"/>
	nicht über 90°	2	<input type="checkbox"/>
	nicht möglich	0	<input type="checkbox"/>

„Giving way“ :

Bei bestimmten Bewegungen kommt es zu einem plötzlichem „Wegknicken“ im Kniegelenk