

Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie

(Prof. Dr. med. W. Lehmann)

der Medizinischen Fakultät der Universitätsmedizin Göttingen

Vordere Kreuzbandplastik: Riskiert der Operateur beim
Wechsel von Single-Bundle- auf Double-Bundle-Technik
zunächst schlechtere klinische Ergebnisse
im Rahmen der Lernkurve?

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizinischen Fakultät der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Andrea Fricke, geb. Ebert

aus

Wernigerode

Göttingen 2021

Dekan: Prof. Dr. Wolfgang Brück

Referent: i.V. PD Dr. Daniel Hoffmann

Ko-Referent: PD Dr. Dr. Philipp Kauffmann

Drittreferent: Prof. Dr. Thomas Meyer

Datum der mündlichen Prüfung: 07.04.2022

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Vordere Kreuzbandplastik: Riskiert der Operateur beim Wechsel von Single-Bundle- auf Double-Bundle-Technik zunächst schlechtere klinische Ergebnisse im Rahmen der Lernkurve?“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den.....

.....

(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert: Ebert A, Frosch KH (2016): Vordere Kreuzbandplastik: Riskiert der Operateur beim Wechsel von Single-Bundle- auf Double-Bundle-Technik zunächst schlechtere klinische Ergebnisse im Rahmen der Lernkurve? Z Orthop Unfall 154, 449-456.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
1 Einleitung	1
1.1 Das menschliche Kniegelenk	1
1.2 Das vordere Kreuzband	2
1.3 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes	3
1.4 Operationsergebnisse	5
2 Material und Methoden	8
2.1 Patientenkollektiv und Ausschlusskriterien	8
2.2 Anamnestische Erhebungen	9
2.3 Operationstechnik.....	9
2.4 Nachbehandlung und klinische Nachuntersuchung	16
2.5 Kniegelenkfunktionsskalen	17
2.5.1 Lysholm Score.....	17
2.5.2 Marshall Score.....	19
2.5.3 Tegner Aktivitätsscore	21
2.5.4 IKDC-Blatt	21
2.6 Visuelle Analogskalen für Schmerz und Funktion.....	22
2.7 KT-1000 Arthrometer	23
2.8 Isokinetische Kraftmessung mittels Biodexgerät.....	25
2.9 Statistische Auswertung	28
3 Ergebnisse	29
3.1 Patientenkollektiv	29
3.2 Verletzungsursachen	31
3.3 Klinische Ergebnisse	32
3.3.1 Lysholm Score.....	32
3.3.2 Marshall Score.....	33

3.3.3	Tegner Aktivitätsscore	34
3.3.4	Visuelle Analogskalen für Schmerz und Funktion.....	36
3.3.5	IKDC Score	38
3.3.6	KT-1000 Arthrometer	38
3.3.7	Kraftmessung	40
3.3.7.1	Kraftmessung der Extension (180 °/s)	40
3.3.7.2	Kraftmessung der Extension (60 °/s)	41
3.3.7.3	Kraftmessung der Flexion (180 °/s)	42
3.3.7.4	Kraftmessung der Flexion (60 °/s)	43
4	Diskussion	45
5	Zusammenfassung.....	52
6	Anhang	54
7	Literaturverzeichnis.....	62

Abkürzungsverzeichnis

AM	anteromedial
BMI	Body-Mass-Index
DB	<i>Double-Bundle</i> , Doppelbündel
MMD	<i>Manual Maximum Drawer</i>
OP	Operation
PL	posterolateral
SB	<i>Single-Bundle</i> , Einzelbündel
VAS	Visuelle Analogskala
VKB	vorderes Kreuzband

1 Einleitung

1.1 Das menschliche Kniegelenk

Schon 1836 beschrieben die Gebrüder Weber aus Göttingen den Bewegungsablauf des Kniegelenkes als ein Rollen und Gleiten. Der Funktionsablauf des Tibiofemoralgelenkes resultiert aus der speziellen Form der Gelenkflächen. Die Führung des Gelenkes ist abhängig von deren Krümmungsmorphologie. Der mediale Anteil der tibialen Flächen ist konkav und das laterale Kompartiment konvex gekrümmt (Nägerl et al. 1993). Folglich wird das Kniegelenk vordergründig von den knöchernen Strukturen geführt und erfährt seine Sicherung durch die Bänder und die Muskulatur (Strobel et al. 1995, Frosch et al. 2009). Biomechanisch liegt dem Kniegelenk das Prinzip des Viergelenks zugrunde (Frosch et al. 2009). Den Kreuzbändern kommt beim Viergelenk die Funktion als Sensor zu. Sie können somit fusimotorisch eine entsprechende Spannung der Muskulatur induzieren. Sensible Rezeptoren befinden sich in den Kollagenbündeln der Kreuzbänder. Nach der Auffassung von Nägerl et al. (1993) haben die Kreuzbänder im Rahmen des mechanischen Modells des Viergelenks weder eine direkte Aufgabe bei der Gelenkführung noch tragen sie unmittelbar zur Stabilität bei. Unter Last und Kraftschluss haben die Kreuzbänder nur eine propriozeptive Funktion. Erst bei Entlastung (z. B. in der Schwungphase des physiologischen Gehens) oder bei äußeren Krafteinwirkungen auf das Kniegelenk (insbesondere Rotationskräfte und seitlichen Scherbewegungen) sind die Kreuzbänder als ligamentäre Stabilisatoren des Kniegelenks notwendig (Frosch et al. 2009). Zusammengefasst basiert die Gesamtkinematik des Kniegelenks hauptsächlich auf der knöchernen Form der Kondylen und des Tibiaplateaus sowie auf der Integrität der beiden Kreuzbänder (Lobenhoffer 1999a). Schon 1853 zeigte v. Meyer auf, dass das vordere Kreuzband (VKB) bei Extension angespannt ist und bei Flexion erschlafft (Wetz und Jacob 2001). Eine Verletzung des VKB kann zu einem gestörten Ablauf des Roll-Gleit-Vorgangs und zu sekundären Schäden an Menisken und Knorpel führen (Strobel et al. 1995).

1.2 Das vordere Kreuzband

Das VKB besitzt eine freie Länge von 31 bis 38 mm. Es setzt mit einem ca. 16 x 24 mm großen Querschnitt am hinteren oberen Bereich des lateralen Femurkondylus und in einem ca. 11 x 17 mm großen Areal tibial an (Girgis et al. 1975, Lobenhoffer 1999a). Es beschreibt so einen queren Verlauf von posterior-cranial nach anterior-caudal durch den Raum der Fossa intercondylaris, wobei dessen Fasern eine Verdrillung aufweisen (Putz et al. 2007). Das VKB besitzt individuelle Unterschiede (Kohn et al. 2002). Embryologisch entwickeln sich die Kreuzbänder aus dem Synovialmesenchym und liegen innerhalb der fibrösen Gelenkkapsel, aber außerhalb der Gelenkhöhle (Petersen und Tillmann 2002). Die Binnenstruktur des VKB ist komplex gestaltet (Lobenhoffer 1999a). Funktionell können zwei Bündel unterschieden werden (Zantop und Petersen 2007). Makro- und mikroskopisch können die beiden Bündel jedoch nicht differenziert werden (Odens-ten et al. 1985, Strobel et al. 1995). Auch histologisch ist eine Abgrenzung nicht möglich (Petersen und Tillmann 2002). Das VKB besteht aus Kollagenfasern der Typen I und III. Es gibt strukturelle Unterschiede in verschiedenen Bereichen des VKB (Petersen und Zantop 2006). Die Unterteilung des VKB in zwei Bündel wurde in verschiedenen Studien kontrovers diskutiert (Petersen und Zantop 2006). So vertreten einige Autoren den Standpunkt, dass das VKB in drei Anteile, nämlich das intermediäre, anteromediale (AM) und posterolaterale (PL) Bündel, unterteilt werden kann (Putz et al. 2007). Die Auffassung der Unterteilung in zwei Bündel hat jedoch überwiegend an Akzeptanz gewonnen (Petersen und Zantop 2006). Somit werden ein AM- und ein PL-Bündel, welche in verschiedenen Funktionsstellungen unterschiedliche Spannungsgrade besitzen, funktionell eingeteilt (Lobenhoffer 1999a). Benannt wurden sie nach ihrem Ursprung an der Tibia (Gabriel et al. 2004). Bei der Knieextension ist das PL-Bündel angespannt und das AM-Bündel recht schlaff. Bei zunehmender Beugung wird das AM-Bündel gestrafft und das PL-Bündel entspannt (Petersen und Zantop 2006). Das AM-Bündel entspringt am rechten Kniegelenk in der 10.30 Uhr-Position und das PL-Bündel in der 9.30 Uhr-Position. Unterschieden werden können die Längen der einzelnen Anteile des VKB. Die Faserlänge des AM-Bündels wurde in einer Spanne von 22 mm bis 41 mm (durchschnittlich 32 mm) gemessen. Hingegen zeigte sich in Studien eine Länge des PL-Anteils von durchschnittlich 17,8 mm (Petersen und

Zantop 2006, Putz et al. 2007). Als sogenanntes Leitbündel ist das AM-Bündel die Struktur, um welche die restlichen Fasern eine Rotationsbewegung ausführen. Die maximale Reißkraft beim Erwachsenen beläuft sich auf ungefähr 2400 N (Lobenhoffer 1999a). Generell kommt dem VKB die Aufgabe der Limitierung der vorderen tibialen Translation zu. Das VKB schränkt die Innenrotation des Unterschenkels ein. Zu einem kleinen Teil wirken die Kreuzbänder Valgus- und Varusstress entgegen (Petersen und Zantop 2006). Zusätzlich beschrieben Girgis et al. (1975) bei Verlust des VKB eine Hyperextension und auch eine zunehmende Außenrotation. Hauptsächlich kommt dem VKB die Stabilisierung der Translation nach vorne und der Innenrotation in strecknaher Stellung zu (Lobenhoffer und Agneskirchner 2005). Eine Untersuchung von Zantop et al. (2007) zeigte differenziert, dass das PL-Bündel eine wichtige Aufgabe bei rotatorischen Belastungen in annähernder Kniestreckung und das AM-Bündel eine vorherrschende Rolle bei Belastungen auf die Tibia nach anterior in 60 ° und 90 ° Beugestellung einnimmt.

1.3 Verletzung des vorderen Kreuzbandes

Die Anzahl der Kreuzbandrupturen steigt durch die zunehmende Beliebtheit von Risikofreizeitsportarten stetig (Petersen und Tillmann 2002). Typische Mechanismen, die zur Ruptur des VKB führen, sind Rotationsbewegungen bei fixiertem Unterschenkel, Kniegelenksüberstreckungen sowie einwirkender Varus- und Valgusstress (Lobenhoffer 1999a). Verschiedene Unfallhergänge sind das Flexions-Valgus-Außenrotations-, das Flexions-Varus-Innenrotations-, das Valgus- und das Hyperextensionstrauma. Zu den Sportarten bei denen diese Verletzungen häufig auftreten, zählen das Skifahren und das Fußballspielen (Kohn et al. 2002). Die durch die Ruptur des VKB verursachte Knieinstabilität zeichnet sich durch eine verstärkte vordere tibiale Translation und erhöhte tibiale Rotation aus (Zantop und Petersen 2007). Ein positiver Lachman-Test gilt als pathognomonisch für eine Zerreißung des VKB. Ebenso ist das Pivot-Shift-Phänomen bei einem Großteil dieser Patienten auszulösen (Lobenhoffer 1999a). Bei der vorderen Kreuzbandruptur lässt der Lachman-Test eine vermehrte vordere Translation bei 20-30 °

Kniebeugung bei einem fehlenden Anschlag zu. Die Subluxation der Tibia nach vorne bei Extension und Innenrotation sowie das Zurückschnappen bei der passiven Beugung beschreibt das Pivot-Shift-Zeichen (Lobenhoffer und Agneskirchner 2005). In der Vergangenheit kam eine Operation des VKB nur bei Leistungssportlern zum Einsatz. Das Indikationsspektrum hat sich auf Grund von verbesserten Techniken in den letzten Jahren deutlich erweitert. Neben jungen Erwachsenen mit hohem Aktivitätslevel ist eine operative Versorgung auch bei Patienten mit Meniskus- oder Kollateralbandverletzungen, *giving-way*-Phänomenen, sekundären Meniskusschäden und niedrigem Aktivitätsgrad indiziert (Frosch et al. 2001). Auch gibt es keine starre Altersbeschränkung nach oben (Lobenhoffer und Agneskirchner 2005). Eine operative Versorgung in den ersten Tagen nach der Verletzung ist bei der anatomischen Wiederherstellung der Ligamente und bei geplanter Kapselnaht laut Lobenhoffer zu favorisieren. Die Operation bei der alleinigen Ruptur des VKB und eventuell leichter Beteiligung der Seitenbänder sollte bevorzugt nach physiotherapeutischer Behandlung mit dem Ziel der Verringerung der Schwellungs- und Entzündungsreaktion, also ca. zwei Wochen nach dem Verletzungsereignis, durchgeführt werden (Lobenhoffer 1999b). Pinczewski et al. bevorzugen eine frühzeitige Rekonstruktion des VKB bei sportlich aktiven Patienten, um Knieschäden, wie Meniskus- und Knorpelverletzungen, die zur Integrität der Kniestabilität erforderlich sind, zu vermeiden (Pinczewski et al. 2002). In der Vergangenheit gab es vielfältige Verfahren zur Operation des vorderen Kreuzbandes. Die Readaptation mittels Naht des gerissenen Kreuzbandes wurde schon 1855 angewendet, gilt auf Grund der schlechten Erfolgsrate als überholt (Lobenhoffer und Agneskirchner 2005). Es folgte die Augmentation, also die Verstärkung des VKB entweder durch autologes Material, gewonnen aus dem Pes anserinus und der Fascia lata oder durch Kunststoffmaterialien (resorbierbar/nicht-resorbierbar). Auch allogene Ersatzplastiken kamen zum Einsatz. Sie werden auf Grund des Risikos viraler Infektionsübertragung jedoch seltener angewendet (Lobenhoffer 1999b). Vor 1980 wurden die Ersatzplastiken per Arthrotomie durchgeführt. Danach kam die Miniarthrotomie zur Anwendung und heute wird vorwiegend arthroskopisch vorgegangen. Unterschiedliche Transplantate können verwendet werden. Vor 1990 wurde primär das mittlere Drittel der Patellarsehne genutzt. In den Jahren danach wurden vermehrt die Semitendinosus- und ggf. die Grazilissehne verwendet. Ein Vorteil der Operation mit Verwendung der Semitendinosus- gegenüber der Patellarsehne ist der kürzere Krankenhausaufenthalt, die somit wahrgenommene schnellere Rehabilitation

und die daraus resultierende verringerte Morbidität (Pinczewski et al. 2002, Adachi et al. 2003). Es wurden zudem verschiedene Fixationstechniken und Platzierungen der Bohrtunnel untersucht. Auch die Art der Rehabilitation war zwischenzeitlich zentraler Inhalt der Forschung (Zantop und Petersen 2007). Momentan ist die anatomisch korrekte Positionierung des Transplantates bis hin zur Rekonstruktion zweier Bündel Inhalt vieler Studien (Strobel 2007). Experimentell-biomechanisch konnte gezeigt werden, dass eine Rekonstruktion des VKB in DB-Technik dem gesunden Knie ähnlicher ist, als der SB-Ersatz (Zantop, Herbort et al. 2007). Die vordere tibiale Auslenkung zeigte sich bei einer anatomischen DB-Rekonstruktion in Kadaverstudien signifikant ähnlicher dem gesunden Kniegelenk, als bei der SB-Rekonstruktion. Beide Bündel sind für eine physiologische Kniebewegung notwendig. Bei Translation der Tibia nach vorn, nimmt mit zunehmender Beugung im Kniegelenk reaktiv die Spannung im AM-Bündel zu. Hingegen kommt es zu einer höheren Spannung im PL- Bündel bei zunehmender Streckung des Kniegelenkes (Yagi et al. 2002). Zantop et al. gestalteten zwischen 2004 und 2005 eine Umfrage unter ausgewählten Chirurgen über die angewendeten Operations- und Rehabilitationstechniken beim anatomischen vorderen Kreuzbandersatz. Es zeigte sich, dass die meisten Operateure eine Technik mit jeweils zwei femoralen und tibialen Tunneln anwendeten. Überwiegend wurden die Hamstringssehnen zur Transplantatherstellung entnommen (Zantop, Kubo et al. 2007).

1.4 Operationsergebnisse

In den Jahren von 2005 bis ca. 2010 rückte die Rekonstruktion des VKB in Doppelbündel (Double-Bundle, DB)- Technik mehr und mehr in den Fokus. Schon experimentell-biomechanisch wurde 2007 demonstriert, dass eine Wiederherstellung des VKB in DB-Technik dem gesunden Knie gleichartiger ist als der Einbündel (Single-Bundle, SB)- Ersatz (Zantop et al. 2007). Durch die anatomische Nachahmung mittels zweier Bündel konnte eine bessere vordere Stabilität und/oder auch Rotationsstabilität gewährleistet werden (Adachi et al. 2004, Muneta et al. 2006, Yasuda et al. 2006, Muneta et al. 2007, Järvelä et al. 2008, Ibrahim et al. 2009, Aglietti et al. 2010, Siebold et al. 2011, Hussein

et al. 2012, Koga et al. 2015, Sun et al. 2015). Wenn man sich die Ergebnisse klinischer Vergleichsstudien heranzieht, dann konnten diese oft nur geringe oder keine Unterschiede in den klinischen Ergebnissen nachweisen (Hamada et al. 2001, Adachi et al. 2004). In einer Übersichtsstudie von 2013 demonstrierten Kongtharvonskul et al. einen Vorteil der DB-Technik in der Rotationsstabilität, konnten aber keine signifikanten Unterschiede im Lysholm Score, Tegner Score, der KT-1000 Arthrometermessung und bei den Komplikationen feststellen (Kongtharvonskul et al. 2013). Auch eine Metaanalyse von van Eck et al. beschrieb eine bessere Rotationsstabilität und weniger vordere Instabilität bei Patienten mit DB-Rekonstruktionen gegenüber denen, die mit der SB-Technik behandelt wurden (van Eck et al. 2012). In einer weiteren Metaanalyse zeigten sich ähnliche Ergebnisse (Zhu et al. 2013) sowie auch in einer aktuellen Studie (Chowdhury et al. 2019). In Metaanalysen von 2018 mit einem Langzeitnachuntersuchungszeitraum von über fünf Jahren wurden ebenfalls ähnliche Erkenntnisse präsentiert (Chen et al. 2018, Dong et al. 2018).

Zusammengefasst zeigte sich in den klinischen Ergebnissen der DB-Technik ein nur geringer Vorteil gegenüber der SB-Technik. Dies ist insbesondere auch in der Problematik von Überlegenheitsstudien innovativer Therapieverfahren gegenüber einem Goldstandard - welcher für sich bereits gute Ergebnisse erzielt - zu erkennen, da hier die nachweisbaren Unterschiede, also der Mehrnutzen, kleiner sind als beispielsweise im Vergleich gegen Placebo. Eigentlich wären dafür deutlich höhere Fallzahlen und dadurch verbundene enorme finanzielle und logistische Ressourcen notwendig um statistische Signifikanz zu erreichen (Lange et al. 2007). Für den erfahrenen Operateur stellt sich daher die Frage, ob ein Wechsel der Operationstechnik (OP-Technik) sinnvoll ist, wenn der zusätzliche Nutzen der innovativen OP-Methode nur minimal ist, insbesondere für die ersten Patienten, die mit der neuen OP-Technik operiert werden. Die Lernkurve der DB-Technik für einen erfahrenen Operateur in der SB-Technik ist hinsichtlich nicht-klinischer Parameter (OP-Zeit, bildmorphologische Präzision) steil (Snow et al. 2010). Es gibt zu klinischen Parametern jedoch aktuell keine Studien. Das Risiko für ein schlechteres klinisches *Outcome* für die Erstkarriere-Operationen eines erfahrenen Operateurs ist daher schwer abschätzbar. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, zu evaluieren, ob die gewohnt guten Ergebnisse des vorderen Kreuzbandersatzes mit der SB-Technik auch im Rahmen der Lernkurve mit der DB-Technik erzielt werden können.

Es wird die Hypothese aufgestellt, dass die ersten Patienten, die mit der innovativen DB-Technik im Rahmen der Lernkurve operiert werden keine schlechteren Ergebnisse erzielen, wie die Patienten, die mit der traditionellen SB-Technik (Goldstandard) behandelt werden.

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv und Ausschlusskriterien

Insgesamt 60 Patienten konnten in diese Interventionsstudie aufgenommen werden. Bei ihnen wurde eine Rekonstruktion des VKB in SB- oder in DB-Technik unter Verwendung der Hamstringssehnen zwischen Oktober 2007 und Mai 2009 durchgeführt.

An der Studie konnten acht dieser ausgewählten Patienten nicht partizipieren, da sechs von ihnen (5 SB, 1 DB) unbekannt verzogen waren und zwei Patienten (SB) aus persönlichen Gründen nicht teilnehmen wollten. Einen Nachuntersuchungstermin ein Jahr postoperativ erhielten insgesamt 52 Patienten. Davon erschien eine Patientin (SB) nicht zur Nachuntersuchung und ein Patient (SB) musste durch ein erneutes Unfallereignis nach der Operation am betroffenen Kniegelenk von der Studie ausgeschlossen werden. Letztendlich nahmen 50 Patienten an der Studie teil. Die Patienten teilten sich in 19 Personen mit VKB-Ersatz in DB-Technik und 31 Personen im SB-Verfahren auf. Bei den 19 Patienten mit DB-Technik handelte es sich um die ersten 19 Patienten, die mit dieser Technik von einem erfahrenen Chirurg operiert wurden sind. Das rechte Knie wurde bei 22 Patienten (14 SB, 8 DB) und das linke Kniegelenk bei 28 Patienten (17 SB, 11 DB) operiert. Bei der SB-Technik wurde 8-mal die Semitendinosussehne und 23-mal eine Kombination aus Semitendinosus- und Gracilissehne verwendet. Im Rahmen der DB-Technik wurde 18-mal die Semitendinosus- und Gracilissehne, sowie einmal die Semitendinosussehne allein genutzt. Eine VKB-Plastik der Gegenseite besaßen drei der Probanden, darunter ein Studienteilnehmer bereits eine Revisionsplastik. Die normale Funktionstüchtigkeit des kontralateralen Kniegelenks des bereits operierten Knies war jedoch vor Eintritt der VKB-Ruptur der Gegenseite gewährleistet. Somit konnten diese Patienten in die Studie eingeschlossen werden.

Als Ausschlusskriterien galten ein Alter über 60 Jahre, Knorpelläsionen ICRS (*International Cartilage Research Society*) mit einem Ausmaß größer als 3 cm² und/oder größer als Grad 3, Kniegelenksluxationen, zusätzliche Verletzungen wie ein hinterer Kreuzbandriss und Meniskusteilresektionen von mehr als 50 %. Ebenso konnten keine Patienten mit Gonarthrosen ab Grad II nach Jäger und Wirth, mit einer Fibromyalgie-Diagnose sowie eine zeitgleich mit der VKB-Plastik durchgeführte Umstellungsosteotomie in die

Studie aufgenommen werden. Eine klinische Beeinträchtigung des kontralateralen Kniegelenkes führte auch zum Studienausschluss. Eine gut funktionsfähige vordere Kreuzbandplastik der Gegenseite wurde jedoch akzeptiert mit Ausnahme von Revisionsplastiken des VKB.

Für diese Studie liegt ein Ethikvotum, ausgestellt am 26.04.2011, mit der Antragsnummer 10/5/10 vor.

2.2 Anamnestiche Erhebungen

Es wurden Daten über den Verletzungsgrund, den Unfallzeitpunkt, den Zeitraum zwischen Unfall und Operation, bereits vorbestehende Verletzungen beider Kniegelenke, andere relevante Grunderkrankungen, Taubheitsgefühle im Bereich des Transplantatentnahmegebiets, Gewicht, Körpergröße und Beruf des Patienten erhoben. Mit Hilfe der „Innsbrucker Knie Sportfähigkeitsklassifikation“ (Fink et al. 1993) wurden die Verletzungsursachen der vorderen Kreuzbandruptur in drei verschiedene Sporttypen unterteilt. Dabei handelt es sich um *High-*, *Low-* und *Non-Risk-Pivoting*-Sportarten. Zu den *High-Risk-Pivoting*-Arten gehören Sportarten mit vielen unkontrollierbaren Sprüngen, Abbremsungen und Drehungen wie beim Tennis, Fuß-, Hand- oder Basketball. Charakterisiert werden *Low-Risk-Pivoting*-Arten durch möglich vorkommende Drehbewegungen wie beim Joggen, Skifahren und Wandern. Komplett kontrollierbare Bewegungen unter Ausschaltung des Körpergewichtes wie Schwimmen und Fahrradfahren gehören zu den *Non-Risk-Pivoting*-Sportformen.

Durch den Unfallzeitpunkt kann die Zeitspanne zwischen Unfall und der Operation bestimmt werden und eine Unterteilung in akut (< 2 Wochen), subakut (2-8 Wochen) und chronisch (> 8 Wochen) vorgenommen werden (Hefti und Müller 1993).

2.3 Operationstechnik

Die vorderen Kreuzbandplastiken wurden durch einen sehr erfahrenen Chirurgen, der bereits mehr als 3000 VKB-Rekonstruktionen zu diesem Zeitpunkt durchgeführt hatte, meist in Vollnarkose vorgenommen. Die Operationen erfolgten in einem Zentrum mit einer hohen OP-Zahl pro Jahr. Nach Lagerung des Patienten in Rückenlage, Befestigen

eines Beinhalters und Anlage einer Blutdruckmanschette mit 300 bis 350 mmHg zur pneumatischen Blutsperre und weiterer standardmäßiger Vorbereitung wurde zunächst eine diagnostische Arthroskopie des Kniegelenkes durchgeführt. Neben der Bestätigung der Verdachtsdiagnose des vorderen Kreuzbandrisses wurden eventuell vorliegende Begleitverletzungen wie Meniskus- oder Knorpelschäden festgestellt.

Danach erfolgte ein circa 3 cm langer Hautschnitt an der Innenseite des Kniegelenkes über dem Pes anserinus im Sehnenverlauf. Nach Präparation und Darstellung der Sehnen wurden die Semitendinosus- und optional auch die Grazilissehne (Hamstrings-Sehnen) mittels Sehnenstripper als freies Transplantat gewonnen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Entnahme einer Hamstrings-Sehne

Das Entnehmen der Sehnenanzahl war abhängig von deren Beschaffenheit. Intraoperativ wurde auf Grund der Länge und Dicke der Sehnen entschieden, ob die Rekonstruktion des VKB mit der SB- oder DB-Technik durchgeführt wurde. Durch mehrere Dopplungen der Sehne wurde für die SB-Technik eine Ersatzsehne hergestellt, die im Durchmesser circa 7 bis 9 mm dick und 7 bis 9 cm lang war. Bei der DB-Technik wurden zwei Transplantate hergestellt. Nach der Gewinnung der erforderlichen Sehnen wurden diese von einem Assistenten aufbereitet (Abbildung 2).

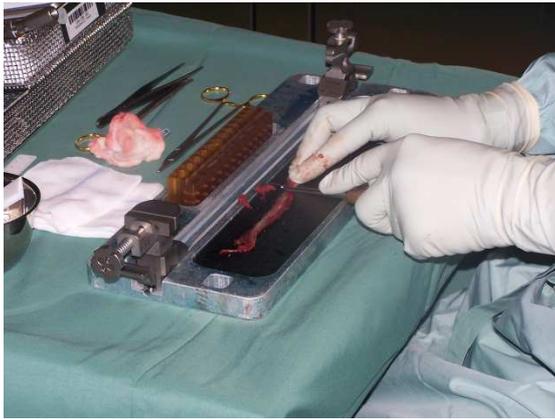


Abbildung 2: Präparation der Sehnen

Durch mehrfaches Aufeinanderlegen wurde die benötigte Transplantatdicke erreicht. Das Transplantat wurde mit Zugfäden auf einer Präparationsstation mit 150 N vorgespannt und die Enden mittels Orthocord®- oder Fiber wire®-Fäden vernäht (Abbildungen 3 und 4).



Abbildung 3: Dopplung, Befestigung der Zugfäden eines Transplantates

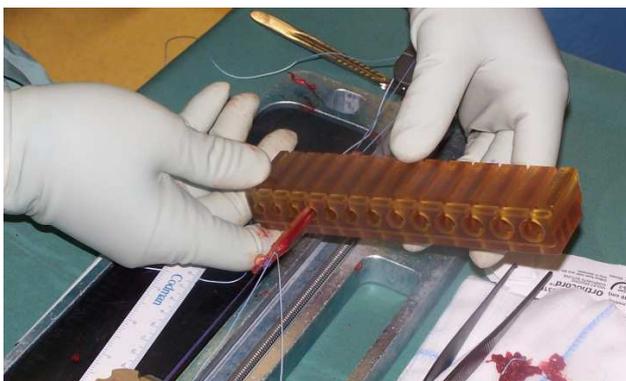


Abbildung 4: Größenmessung eines Transplantates

Bei vorliegenden Kniebinnenschäden wurden diese parallel zur Präparation der Ersatzplastik(en) vom Operateur arthroskopisch versorgt. Die residuellen Stümpfe des gerissenen VKB wurden mit dem Shaver entfernt. Der tibiale Reststumpf wurde dabei nur bis auf ca. 1,5 cm gekürzt, um die Propriozeption zu bewahren und um das Material zur Abdichtung für den (die) tibialen Bohrkanal (-kanäle) nutzen zu können.

Dann erfolgte die Anlage der Bohrkanäle mit Zielgeräten (Abbildungen 5 und 6).



Abbildung 5: Anlage des tibialen Zielgerätes (SB)



Abbildung 6: Anlage des femoralen Zielgerätes (SB)

Bei der SB-Technik wurde ein tibiales Zielgerät benutzt und ein Zieldraht mit einem Anstiegswinkel von 55° eingebracht, welcher mit einem Hohlbohrer überbohrt wurde (Abbildungen 7 und 8).



Abbildung 7: Arthroskopische Darstellung des Ansatzpunktes des tibialen Zielgerätes (SB)



Abbildung 8: Anlage des tibialen Bohrkanals in SB-Technik

Anschließend wurde ein weiteres Zielgerät für den Femur eingebracht und in ähnlicher Technik bei 120° Kniebeugung der femorale Bohrkanal von ca. 30 mm Länge angelegt. Bei der SB-Technik erfolgte die Positionierung des Kanals beim rechten Knie bei 10:30 Uhr und beim linken Knie bei 1:30 Uhr im 4. dorsalen Quadranten nach Hertel und Bernard (Bernard et al. 1997).

Nach Anlage der Bohrkanäle wurde durch diese das Transplantat von tibial nach femoral durchgezogen (Abbildung 9).



Abbildung 9: Durchzug des Transplantates (SB)

Mittels Ösendraht wurde die Sehne über den tibialen Bohrkanal eingezogen. Das Transplantat wurde nach femoraler Befestigung vorgespannt und das Kniegelenk mehrfach durchbewegt. Die Fixation femoral erfolgte mit *Cross Pins* (DePuy Mitek, Norderstedt, Deutschland) und tibial mit Milagro®-Interferenzschrauben. Zusätzlich wurde tibial eine Titanschraube (3,5 mm) eingebracht, die zur Befestigung der Orthocord®-Fäden als Backup diente (Abbildung 10).



Abbildungen 10: Zusätzliche tibiale Transplantatfixierung mit Schraube (SB)

Die Anlage der Kanäle bei der DB-Technik wurde mittels Double-Bundle-Zielgerät des Fabrikats Mitek® unter einem Steigungswinkel von 50-55 ° und einer Winkeldivergenz der Kanäle von ca. 25° durchgeführt. Als Referenz und Orientierung diente der tibiale Kreuzbandstumpf im posterolateralen Quadranten. Nach Einlage von zwei Ösendrähten

wurden diese mit dem Bohrer entsprechend den Transplantatdurchmessern überbohrt (Abbildung 11).



Abbildung 11: Anlage der tibialen Bohrkanäle in DB-Technik

Es folgte in transtibialer Technik die Anlage der femoralen Kanäle in 11 Uhr-Position rechtsseitig (13 Uhr linksseitig) für das AM-Bündel mit ca. 30 mm Tiefe und in 9.30 Uhr-Position rechtsseitig (14.30 Uhr linksseitig) für das PL-Bündel bis ca. 25 mm Tiefe. Die Befestigung des AM-Bündels in 60 ° Beugung und des PL-Bündels in 20 ° Beugung tibial mit *Cross Pins* erfolgte nach entsprechender Vorspannung (Abbildung 12). Zudem wurde auch tibial ein Backup durch eine Titanschraube (3,5 mm) oder eine Knochenbrücke eingebracht.



Abbildung 12: Darstellung der femoralen Bohrkanäle (DB) mit *Cross Pin*-Hülse bei Transplantatdurchzug

In der Arthroskopie wurde danach die optimale Lage der (des) Transplantate(s) gesichert (Abbildungen 13 und 14), die Ersatzplastik anschließend funktionell geprüft (u. a. durch den Lachman-Test) und ein Impingement ausgeschlossen.

Abschließend erfolgte das Einlegen von Drainagen, das Verschließen der Zugänge und das Anlegen eines sterilen Verbandes.

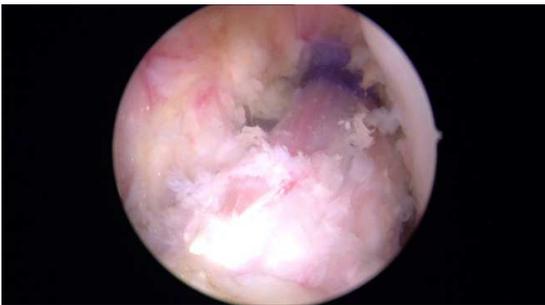


Abbildung 13: Ersatzplastik des VKB in SB-Technik



Abbildung 14: Ersatzplastik des VKB in DB-Technik

2.4 Nachbehandlung und klinische Nachuntersuchung

Postoperativ erfolgte die Behandlung der Patienten mit Motorschiene, Krankengymnastik und Kälteanwendungen. Die Bewegung des Kniegelenkes wurde in den ersten drei Wochen auf 90 ° Beugung limitiert und eine volle Streckung sofort in der Frühphase angestrebt. Physiotherapeutisch kamen Patella- sowie Gelenkmobilisation, propriozeptive neuromuskuläre Fazilitation, Lymphdrainage und Kryotherapie zum Einsatz (Frosch et al. 2001). Es wurden Übungen nur in geschlossener Bewegungskette praktiziert. Mit Hilfe von Unterarmgehstützen wurden die Patienten zu einer Teilbelastung von 10-20 kg angehalten. Ab der fünften postoperativen Woche gab es die Zielsetzung,

eine zunehmende Belastung bis hin zur Vollbelastung zu erlangen. Unidirektionales Koordinationstraining auf instabiler Unterlage, Stabilisations- und Muskelaufbauübungen in geschlossener Kette kamen zur Anwendung. Eine Steigerung bis hin zum multidirektionalen Koordinationstraining stand ab der siebenten Woche im Vordergrund. Übungen mit offener Bewegungskette wurden frühestens ab der zwölften Woche freigegeben.

Ein erfahrener Untersucher führte die Nachuntersuchung durch. Es wurde eine Anamnese erhoben und eine standardisierte klinische Untersuchung abgehalten. Dabei wurden der Lachman-Test, die vordere Schublade, der Pivot-Shift-Test und die seitliche Bandstabilität getestet. Erhoben wurden die Visuellen Analogskalen für Schmerz und Funktion, der Tegner Score, IKDC Score, Lysholm Score und Marshall Score. Der KT-1000 Arthrometer (MEDmetric, San Diego, CA) wurde genutzt um die vordere Stabilität beider Kniegelenke zu testen. Mit Hilfe des Biodexgerätes wurden die Kraftdefizite zwischen beiden Kniegelenken in Extension und Flexion mit verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten standardisiert gemessen (Feiring et al. 1990).

.

2.5 Kniegelenkfunktionsskalen

2.5.1 Lysholm Score

Es wurde 1982 von Lysholm und Gillquist ein Bewertungsschema veröffentlicht, das sich auf einen Beurteilungsbogen für Kniefunktionen von Larson stützte (Hefti und Müller 1993). Bei diesem Score (siehe Anhang) konnte eine maximale Summe von 100 Punkte erreicht werden. Die erhobenen Daten bezogen sich vorrangig auf die subjektive Einschätzung des Patienten in Bezug auf das Empfinden und die Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes. Bei der Bewertung wurden 25 von 100 Punkten durch die Einschätzung der Funktionalität vergeben. Die Fragestellungen bezogen sich auf Hinken, in die Hocke gehen, Treppensteigen und Benutzung von Hilfsmitteln. Dabei wurden die Punkte jeweils abgestuft vergeben. Speziell zu eruieren war, ob der Patient nicht, leicht bzw. periodisch oder deutlich hinkte. Erfragt wurde, ob ein Hilfsmittel, wie ein Stock benötigt wurde oder nicht. Beim Treppensteigen wurde bewertet, wenn es nicht, nur stufenweise, mit leichten oder keinen Problemen durchführbar war. Ebenso wurde die

Durchführung der Hockstellung in problemlos, leichte Einschränkung, nicht über 90 ° Beugung oder unmöglich klassifiziert. Des Weiteren konnten 30 Punkte in sechs Abstufungen für ein Instabilitätsgefühl beim Gehen, Springen oder Laufen erteilt werden. Dieses Instabilitätsgefühl wurde von den Autoren als *giving way* bezeichnet. Unterteilt wurde nach *never giving way*, selten auftretende Instabilität bei Belastung, sowie häufiges Auftreten unter Last, gelegentlich im Alltag oder bei jedem Schritt. Das Auftreten von Schmerzen bei bestimmter Aktivität oder auch in Ruhe wurde in sieben Abstufungen mit 30 Punkten bewertet. Darunter fielen Schmerzen, die nicht, inkonstant und leicht bei Extrembelastungen, deutlich bei *giving way*, deutlich bei Belastung, deutlich oder bei < / > 2 km Gehstrecke oder ständig und stark schmerzhaft auftraten. Ein weiteres Kriterium war die konstante oder durch Belastung ausgelöste Schwellung. Dafür wurden maximal 10 Punkte vergeben. Die Schwellung wurde in nicht vorhanden, bei *giving way*, bei Extrem- oder Normalbelastung, sowie in konstant unterteilt. Zusätzlich wurde die Oberschenkelatrophie, ein gemessener Wert, in drei Punktabstufungen mit maximal 5 Punkten in die Evaluation einbezogen. Bewertet wurde die Differenz des Oberschenkelumfanges des nicht-operierten im Vergleich zum operierten Knie. Differenziert wurde in Abweichung über 2 cm, 1-2 cm oder kein Unterschied.

Tabelle 1: Punktverteilung des Lysholm Score

Kriterium	Pkt.	Abstufungen: Punkte
Hinken	5	kein: 5, leicht/periodisch: 3, deutlich: 0
Hilfsmittel	5	ohne: 5, Stock/Gehhilfe: 3, Belastung unmöglich: 0
Treppensteigen	10	problemlos: 10, leichte Probleme: 6, Stufe für Stufe: 2, unmöglich: 0
Hocke	5	problemlos: 5, leichte Probleme: 4, nicht über 90 °: 2, unmöglich: 0
Instabilität	30	<i>never giving way</i> : 30, selten bei Belastung: 25, häufig bei Belastung: 20, gelegentlich im Alltag: 10, häufig im Alltag: 5, bei jedem Schritt: 0
Schmerz	30	kein: 30, inkonstant und leicht bei Extrembelastungen: 25, deutlich bei <i>giving way</i> : 20, deutlich bei Belastung: 15, deutl. / > 2 km Gehen: 10, deutl. / < 2 km Gehen: 5, ständig und stark: 0
Schwellung	10	keine: 10, bei <i>giving way</i> : 7, bei Extrembelastungen: 5, bei Normalbelastungen: 2, konstant: 0
Oberschenkelatrophie	5	keine: 5, 1-2 cm: 3, >2 cm: 0 (Differenz im Seitenvergleich)
	=100	

Die Einstufung der Gesamtpunktzahl wurde wie folgt festgelegt:

Tabelle 2: Interpretation Gesamtpunktzahl (Lysholm und Gillquist 1982)

Endpunktzahl	Bewertung
100 bis 95	exzellent
94 bis 84	gut
83 bis 65	zufriedenstellend
< 65	schlecht

2.5.2 Marshall Score

Der Marshall Score (siehe Anhang) wurde häufig in der Praxis als Evaluationsschema für Knieinstabilitäten verwendet. Gut auf Grund der Kompaktheit anwendbar, weist er jedoch Defizite auf und reicht daher allein nicht aus um eine umfassende Bewertung vorzunehmen (Hefti und Müller 1993).

Die maximal zu erreichende Punktzahl war 50. In diese Bewertung flossen die Untersuchung des Kniegelenkes, die Funktionsfähigkeit und subjektive Eigenschaften, wie Schmerz, Schwellung und Instabilitätsgefühl ein.

Als erster Bestandteil des Scores ergaben sich anamnestisch 11 zu erreichende Punkte. Die Fragen richteten sich nach Instabilität (max. 4 Punkte), Schmerzempfindung (max. 1 Punkt), *clicking- numbness* (max. 1 Punkt), Schwellung (max. 1 Punkt), Sport-/Arbeitsfähigkeit (max. 3 Punkte) und Schwierigkeit beim Treppensteigen (max. 1 Punkt). Aus der klinischen Untersuchung wurden bis zu 32 Punkte erhoben.

Dabei kamen 20 Punkte den Bandstabilitäten zu. Jeweils 5 Punkte verteilten sich auf die Einschätzung des medialen und lateralen Kollateralbandes, sowie des vorderen und hinteren Kreuzbandes. Eine Differenzierung der Bänder wurde in normal, leicht instabil, moderat instabil, instabil und grob instabil vorgenommen.

12 der 32 klinischen Punktwerte wurden durch die Eigenschaften Druckschmerz, Gelenkerguss, Weichteilschwellung, Crepitation (jeweils max. 1 Punkt), Muskelkraft (max. 3 Punkte), das Bewegungsausmaß (max. 3 Punkte) und der Oberschenkelatrophie (max. 2 Punkte) vergeben.

Die Abstufung der Muskelkraft erfolgte in normal, abgeschwächte Flexion oder Extension, abgeschwächte Flexion und Extension sowie sehr schwach. Das nach der Neutral-Null-Methode bestimmte Bewegungsausmaß wurde klassifiziert in normal, limitierte Flexion oder Extension, sowie Flexion und Extension und unter 90 ° Beugung. Eine Unterteilung der Differenz des Oberschenkelumfanges erfolgte in über 2 cm, 1-2 cm und keine Abweichung.

Der dritte Anteil der Bewertungsskala mit max.7 Punkten wurde durch kurze Tests gebildet. Dazu gehörten *run in place* (max. 1 Punkt), Einbeinsprung (max. 2 Punkte), Entengang (max. 2 Punkte), Durchführung der halben und ganzen Hocke (je max. 1 Punkt).

Tabelle 3: Punkteverteilung Marshall Score

Kategorie	Kriterien	Punkte
Klinische Untersuchung	Druckschmerz	0 - 1
	Gelenkerguss	0 - 1
	Weichteilschwellung	0 - 1
	Krepitation	0 - 1
	Muskelkraft	0 - 1 - 2 - 3
	Bewegungsausmaß	0 - 1 - 2 - 3
	Stabilität	
	<ul style="list-style-type: none"> • Laterales Kollateralband 	0 - 2 - 3 - 4 - 5
	<ul style="list-style-type: none"> • Mediales Kollateralband 	0 - 2 - 3 - 4 - 5
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorderes Kreuzband 	0 - 2 - 3 - 4 - 5
<ul style="list-style-type: none"> • Hinteres Kreuzband 	0 - 2 - 3 - 4 - 5	
Tests	Oberschenkelatrophie	0 - 1 - 2
	<i>run in place</i>	0 - 1
	Einbeinsprung	0 - 1 - 2
	Entengang	0 - 1 - 2
	Halbe Hocke	0 - 1
	Ganze Hocke	0 - 1
Symptome	Instabilität	0 - 1 - 2 - 4
	Schmerz	0 - 1
	Schwellung	0 - 1
	Schwierigkeit Treppensteigen	0 - 1
	<i>clicking-numbness</i>	0 - 1
	Sport-/Arbeitsfähigkeit	0 - 1 - 2 - 3

Die Gesamtpunktzahl von 50 setzte sich aus der klinischen Untersuchung mit 32 Punkten, aus funktionellen Tests mit 7 Punkten und Symptomen mit 11 Punkten zusammen.

Bewertungsschema:

Tabelle 4: Interpretation Gesamtpunktzahl (Marshall et al. 1977)

Endpunktzahl	Bewertung
50 bis 41	sehr gut
40 bis 36	gut
35 bis 31	ausreichend
< 31	mangelhaft

2.5.3 Tegner Aktivitätsscore

Diese 1985 von Tegner und Lysholm entworfene Skala (siehe Anhang) zur Einschätzung des Aktivitätsgrades verglich das prä- und das postoperative Niveau. Dieses Bewertungssystem hat sich in der Literatur sehr etabliert und zählt ebenfalls zu den numerischen Scores (Hefti und Müller 1993).

Der Score ist in elf Abstufungen eingeteilt, wobei die Bereiche Arbeit und Sport als Kriterien herangezogen wurden. Stufe 0 entsprach einer Erwerbsunfähigkeit (0 Punkte), weitere Einteilungen waren sitzende Arbeitstätigkeiten, verschiedene Breitensportarten mit bestimmter Bodenbeschaffenheit und Häufigkeit der sportlichen Aktivität pro Woche bis hin zu Wettkampfsportlern im internationalen Bereich gleichgesetzt mit Stufe 11 (10 Punkte). Von Interesse war hierbei nicht das absolute Niveau, sondern der Vergleich der Aktivitätsniveaus zwischen dem Zeitpunkt vor dem Unfall und nach der Operation.

2.5.4 IKDC-Blatt

Das IKDC-Evaluationsblatt (siehe Anhang) ist ein einseitiges Formular, das 1987 von einer Gruppe amerikanischer und europäischer Kniechirurgen entworfen wurde, um eine einheitliche und standardisierte Bewertung von Verletzungen des Kniegelenkes zu

erheben. Die Evaluationskriterien waren das subjektive Empfinden des Patienten, die Symptome, das Bewegungsausmaß und die Bandstabilitäten. Des Weiteren wurden Befunde wie kompartimentale Komplikationen, Missempfindungen an der Transplantatentnahmestelle, Röntgenergebnisse und Funktionsprüfungen dokumentiert, aber nicht bewertet (Hefti und Müller 1993).

Das IKDC-Blatt besteht aus den acht schon erwähnten Unterteilungen oder Gruppen, von denen vier in die Gesamtwertung eingingen. Es wurden im Rahmen dieser Nachuntersuchung nur die zur Evaluation verwertbaren Befunde erhoben.

Der erste Teil eruierte die subjektive Patientenbeurteilung der Funktionsfähigkeit des Knies und dessen Beeinflussung auf die Aktivität des Patienten. Die Symptome wie Schmerzen, Schwellung, teilweise oder komplettes *giving way* bei einem bestimmten Aktivitätsniveau waren Inhalt der zweiten Bewertungsgruppe. An dritter Stelle wurde der Streck- und Beugeausfall beurteilt. Letzter Teil war die Untersuchung des Bandapparates durch entsprechende Tests.

Das Gesamtergebnis wurde nicht durch Errechnen eines numerischen Wertes erstellt, sondern durch Vergabe einer Bewertung (A - D) pro Gruppe. Die schlechteste Qualifikation aus den vier Gruppen entsprach sogleich dem Gesamtergebnis. Die Bewertungen waren A: normal, B: fast normal, C: abnormal und D: stark abnormal.

2.6 Visuelle Analogskalen für Schmerz und Funktion

Durch die VAS (siehe Anhang) wurden die subjektiven Empfindungen des Patienten für die Schmerzintensität und die funktionelle Einschätzung seines Kniegelenkes numerisch auf den Skalen mit 0 bis 10 erfasst. Diese Werte waren somit zu verschiedenen Zeitpunkten gut vergleichbar.

Die VAS für Schmerz bezeichnete mit 0 Schmerzlosigkeit und mit 10 die stärkste Ausprägung von Schmerzgefühl. Der Wert 10 auf der VAS für Funktion war gleichzusetzen mit voller Funktionstüchtigkeit des Kniegelenkes bis hin zum kompletten Funktionsverlust, entsprechend mit 0 beziffert.

2.7 KT-1000 Arthrometer

Das KT-1000 Arthrometer ist ein Kniebandmesssystem zur objektiven Erfassung von Messwerten der sagittalen Bewegungsebene der Tibia im Verhältnis zum Femur. Dieses Gerät wurde von der MEDmetric Corporation/San Diego/California/USA 1982 eingeführt und hat seitdem schon in vielen orthopädischen Fachartikeln Verwendung gefunden. Das Gerät eignet sich zur klinischen Erfassung der Stabilität des vorderen und des hinteren Kreuzbandes (MEDmetric). Der Aufbau der Untersuchung ist in der Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 15: KT-1000 Arthrometer, *Passive-Drawer-Test*

Der Patient platzierte sich auf einer Untersuchungs-liege. Die Beine wurden wie abgebildet an den Oberschenkeln durch einen quer zur Körperachse verlaufenden Unterstützungsblock und an den Sprunggelenken durch seitliche Randerhöhungen stabilisiert, um eine solide Stellung der Beine zu gewährleisten. Durch die Lagerung wurden die Kniegelenke in 20-30 ° Beugung fixiert und die Patella in ihr Gleitlager gedrückt. Dem Patienten war es in dieser Lage möglich - und er wurde auch wiederholt dazu angehalten - die Muskeln vollkommen zu entspannen, um einen möglichen Störfaktor, der sich auf die Messwerte auswirken könnte, zu verhindern. Die Markierungspunkte des Arthrometers wurden auf Höhe des Gelenkspaltes platziert und das Gerät am Unterschenkel mit Klettverschlüssen befestigt. Eine Hand des Untersuchers sicherte die Position des Gerätes und fixierte es auf der Patella. Die andere Hand betätigte den Griff. Dann erfolgte die Einstellung der Ausgangslage des Gerätes auf 0 durch einen kurzen Druck auf den Hebel bis ein Piepton erklang. Bei der entsprechenden Nullposition blieb der Zeiger stehen.

Durch Drehen des Ziffernblattes und Positionieren der Nullmarke auf der Zeigerspitze war die Justierung abgeschlossen.

Erfasst wurden bei der Messung die Auslenkungen der Tibia zum Femur bei 67 N und 89 N beider Kniegelenke in Millimetern unter vollkommener Relaxation der Muskulatur (*Passive-Drawer-Test*, Abbildung 15). Ein erster Piepton ertönte bei der Auslenkung mit 67 N und ein zweiter Ton bei weiterer Auslenkung mit 89 N. Auch wurde der in Abbildung 16 dargestellte *Manual Maximum Drawer* (MMD), die maximale passive vordere Schublade, getestet. Dabei wurde die Hand an der Patella in dieser Haltung belassen und mit der anderen Hand der Unterschenkel maximal nach ventral ausgelenkt.



Abbildung 16: KT-1000 Arthrometer, *Manual Maximum Drawer-Test*

Jeweils zwei Mal erfolgte die Untersuchung zum Errechnen des Mittelwertes. Die Ergebnisse beider Seiten wurden im Anschluss miteinander verglichen. Eine Differenz der anterioren posterioren Translation von mehr als 3 mm wurde als Insuffizienz des VKB angesehen. Eine Verschieblichkeit von weniger als 1 mm im Vergleich zur gesunden Seite als ein zu straffes Transplantat interpretiert. Beide Ergebnisse wurden vom *International Knee Documentation Committee* (IKDC) als abnormal klassifiziert (Hefti und Müller 1993).

Tabelle 5: Bewertung Differenz der Translation bei KT-1000 Messung

Verschieblichkeit	Bewertung
< 1 mm	Zu straffes Transplantat
> 3 mm	Transplantatinsuffizienz

2.8 Isokinetische Kraftmessung mittels Biodexgerät

Das computergestützte Multifunktionsdynamometer von Biodex wird vielfältig in der Orthopädie, Sportmedizin und Rehabilitation eingesetzt. Das Ziel bei der Anwendung des Gerätes ist es, objektive und vergleichbare Daten für das *Outcome* der Patienten und die Forschung zu erhalten (Feiring et al. 1999).

Vor Beginn der Inbetriebnahme des Gerätes war eine adäquate Aufwärmung von 8 Minuten per Ergometer bei einer Leistung von circa 100 W und einer Frequenz von 65-75 Tritte pro Minute für die Studienteilnehmer obligat. Der Aufbau des Biodexgerätes ist auf Abbildung 17 zu sehen.

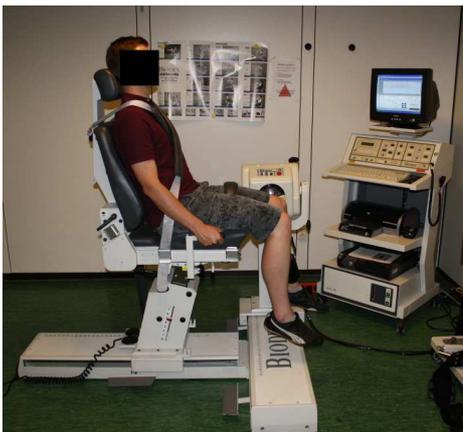


Abbildung 17: Aufbau Dynamometer

Das Dynamometer besteht aus einem Sitz mit Kopfstütze, zwei Befestigungsgurten für den Oberkörper, sowie einem Gurt für den Oberschenkel und zwei Handgriffen zum

Festhalten. Das Gerät ist so einzustellen, dass der Patient gut fixiert und mit den Oberschenkeln leicht überhängend platziert ist. Der Arm der dynamischen Einheit wird mit einem Klettverschluss an einem Unterschenkel befestigt. Er wird so angebracht, dass der Patient seinen Unterschenkel optimal extendieren und flektieren kann (Abbildung 18).



Abbildung 18: Fixierung des Körpers und des Beines

Die Steuerung und Auswertung des Dynamometers erfolgte durch einen angeschlossenen Computer mittels spezieller Software. Der Ablauf des isokinetischen Krafttests war genormt und die Ergebnisse in Protokollen abrufbar. Die Grundeinstellungen für die Untersuchungsdurchgänge waren ein Bewegungsausmaß von insgesamt 95° , d. h. Flexion/Extension 105/10/0. Der Bewegungsablauf begann bei einer Ausgangsstellung von 90° Beugung, aus der der Patient sein Bein um 80° streckte, dann zur Ausgangslage zurückkehrte, weitere 15° beugte und wieder am Anfangspunkt ankam. Es wurde ein flüssiger und mit höchstem Einsatz vom Patienten durchgeführter Bewegungsablauf angestrebt. Es wurden 20 Bewegungsabläufe mit $180^\circ/s$ und nach einer Pause von 30 Sekunden 5 Wiederholungen mit $60^\circ/s$ durchgeführt. Begonnen wurde mit dem linken Knie, dann folgte das rechte Knie und ein zweiter Durchgang in umgekehrter Reihenfolge. Bevor die Untersuchung durchgeführt werden konnte, wurde der Patient ausführlich über den Testablauf aufgeklärt und damit vertraut gemacht. Durch eine Anzeige auf dem Computerbildschirm angeleitet, führte der Patient die vier Durchläufe mit höchster Anstrengung aus.

Die Auswertung des Dynamometers beinhaltete die Leistung (W), das maximale Drehmoment (Nm) und dessen prozentualen Vergleich für jedes Bein in Extension und Flexion bei 180 °/s und 60 °/s.

Tabelle 6: Bewertung Kraftdefizite zwischen beiden Kniegelenken in %

Defizit	Bewertung
1 bis 10%	Kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Kniegelenken.
11 bis 25%	Behandlung zur Wiedererlangung der muskulären Leistungsfähigkeit empfohlen.
> 25%	Signifikante Funktionseinschränkung. Gezielte Trainingstherapie notwendig.
Negatives Vorzeichen	Die verletzte Seite weist höhere Werte als die unverletzte auf.

Darüber hinaus wurden der relative Kraftwert, die Arbeit der besten Wiederholung (J), der Variationkoeffizient (%), die Gesamtarbeit (J), die Beschleunigung (s), die Verzögerung (s), das tatsächliche Bewegungsausmaß und die Relation von Agonist und Antagonist (%) errechnet. Diese Werte wurden in dieser Arbeit nicht interpretiert.

2.9 Statistische Auswertung

Für den Vergleich des SB- und DB-Operationsverfahrens wurde der nichtparametrische (verteilungsfreie) Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben herangezogen. Für die folgenden Daten wurde dieser Test angewendet: Lysholm Score, Marshall Score, Tegner Score, Visuelle Analogskalen für Schmerz und Funktion, IKDC-Evaluationsblatt, KT-1000 Arthrometer und der Kraftmessung. Der Chi-Quadrat-Test wurde zum Vergleich der Geschlechtsverteilung beider Gruppen geführt. Eine Vergleichsführung mit dem Mann-Whitney-U-Test erfolgte ebenfalls für die Zeitspanne zwischen dem Unfall und der Operation beider Gruppen. Das Alter und der Body-Mass-Index (BMI) wurden mit dem t-Test verglichen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 5\%$ festgesetzt. Bei einem p-Wert von unter 0,05 wurde festgesetzt, dass das Ergebnis Signifikanz aufweist.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Die Einschlusskriterien erfüllten insgesamt 60 Patienten, die zwischen Oktober 2007 und Mai 2009 von einem geübten Chirurgen operiert wurden. Bei der Kontaktierung der Patienten reduzierte sich die Anzahl um zehn Probanden, da sechs unbekannt verzogen waren, zwei nicht teilnehmen wollten, eine Person den Termin nicht wahrnahm und ein Patient ein erneutes Knie trauma der betroffenen Seite erlitten hatte. Für die Studie standen letztendlich 50 Patienten zur Verfügung.

Einen vorderen Kreuzbandersatz in SB-Technik erhielten 31 Patienten und 19 Personen im DB-Verfahren. Bei 22 Patienten war das rechte Knie und bei 28 das linke Kniegelenk operiert worden. Es hatten bereits drei der Studienteilnehmer eine vordere Kreuzbandplastik der Gegenseite erhalten, darunter eine Person bereits schon 2-mal. Die völlige Funktionsfähigkeit des kontralateralen Kniegelenkes war vor Eintritt der vorderen Kreuzbandruptur des zuletzt operierten Knies gewährleistet. Somit konnten diese Patienten in die Studie eingeschlossen werden.

Die Geschlechterverteilung belief sich insgesamt auf 18 Frauen (36 %) und 32 Männer (64 %) (Abbildung 19). Die Altersspanne der Patienten lag bei 14 bis 57 Jahren (Abbildung 20). Das durchschnittliche Alter in der Single-Bundle-Gruppe betrug 29,9 (\pm 9,3) Jahre und in der Double-Bundle-Gruppe 29,7 (\pm 7,2) Jahre.

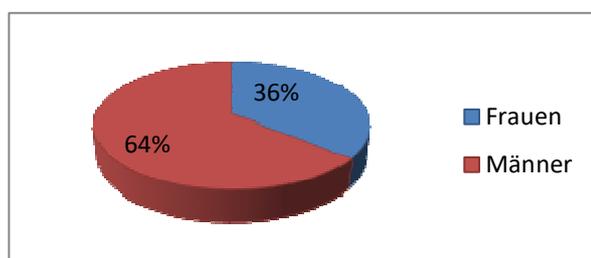


Abbildung 19: Kreisdiagramm zur Geschlechterverteilung

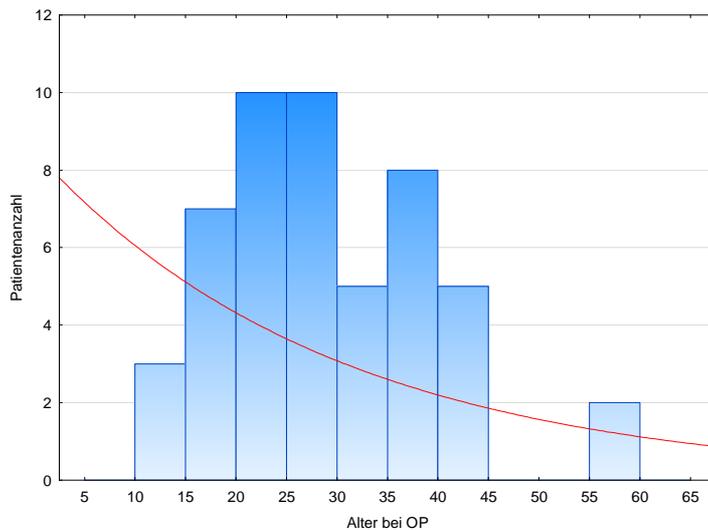


Abbildung 20: Histogramm zur Altersverteilung des gesamten Patientenkollektivs

Der Mittelwert des BMI (kg/m^2) aller Patienten der Studie betrug 24,7, darunter in der SB-Gruppe 24,4 und in der DB-Gruppe 25,1 (Abbildung 21).

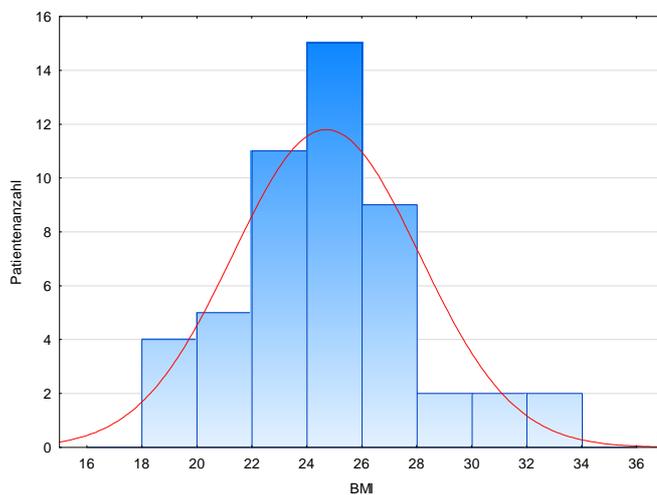


Abbildung 21: Histogramm vom BMI des gesamten Patientenkollektivs

Die Nachuntersuchung erfolgte durchschnittlich 12 (11,2 bis 15,9) Monate postoperativ. Eine Operation in der Akutphase (< 2 Wochen) erhielten 2 Patienten (4 %), in der subakuten Phase (2-8 Wochen) 20 Patienten (40 %) und in der chronischen Phase

(> 8 Wochen) 28 Personen (56 %). Die mittlere Wochenanzahl zwischen dem Unfall und der Operation betrug 44 Wochen (1 bis 620 Wochen).

3.2 Verletzungsursachen

Die überwiegende Anzahl der Patienten zogen sich ihren vorderen Kreuzbandriss bei einer High-Risk-Pivoting-Sportart zu. Insgesamt 31 Patienten zählten zu dieser Gruppe. Als häufigste Unfallursache wurde das Fußballspielen (25 Patienten) angegeben. Zwölf Patienten erlitten ihre Verletzung im Rahmen einer Low-Risk-Pivoting-Sportart. Der alpine Skisport war bei sieben Patienten der Grund für den vorderen Kreuzbandriss. Zwei Studienteilnehmer konnten den Non-Risk-Pivoting-Sportarten zugeordnet werden. Fünf Patienten erlitten die vordere Kreuzbandruptur durch Tätigkeiten, die keiner dieser Gruppen entsprach, wie u. a. Leitersturz, Forstarbeit und Motorradunfall (Abbildung 22).

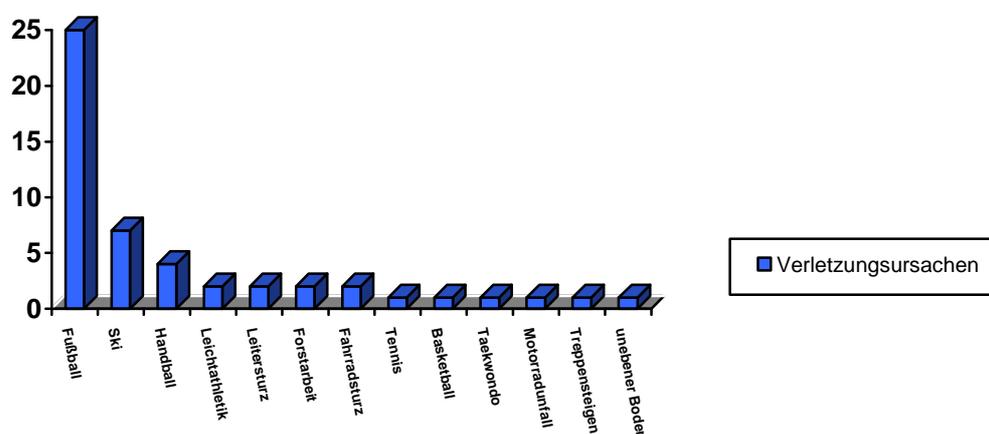


Abbildung 22: Patientenanzahl (vertikale Achse) aufgeteilt nach Verletzungsursachen (horizontale Achse)

3.3 Klinische Ergebnisse

Statistisch zeigte der Vergleich des Geschlechts mit dem Chi-Quadrat-Test, der Vergleich der Zeit zwischen dem Unfall und der Operation durch den Mann-Whitney-U-Test sowie die Vergleiche von BMI und Alter mit dem t-Test zwischen den zwei Gruppen keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$).

3.3.1 Lysholm Score

Der Mittelwert des Lysholm Scores bei der Single-Bundle-Technik betrug 93,61 ($\pm 3,79$) Punkte und bei der Double-Bundle-Technik 93,11 ($\pm 4,23$) Punkte von maximal erreichbaren 100 Punkten. Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,63 (nicht signifikant).

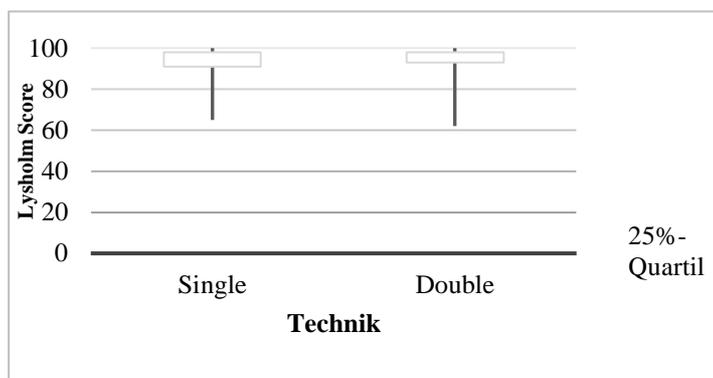


Abbildung 23: Boxplot des Lysholm Scores im Vergleich SB- und DB-Technik 1 Jahr postoperativ

Tabelle 7: Wertetabelle des Lysholm Scores im Vergleich SB- und DB-Technik 1 Jahr postoperativ

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	93,61	93,11
Standardabweichung	3,79	4,23
Minimum	65	62
Maximum	100	100
Median	95	95
25%-Quartil	91	93
75%-Quartil	98	98

Tabelle 8: Ergebnisse Lysholm Score der SB- und DB-Gruppe 1 Jahr postoperativ

Lysholm Score (Punkte) 1 Jahr postoperativ	Single-Bundle-Anzahl	Double-Bundle-Anzahl
95-100 (exzellent)	19 (61,3%)	13 (68,4%)
84-94 (gut)	10 (32,3%)	4 (21%)
65-83 (zufriedenstellend)	2 (6,4%)	1 (5,3%)
0-64 (schlecht)	0 (0%)	1 (5,3%)

In beiden Gruppen wurden im Lysholm Score, also bei der Funktionsfähigkeit und subjektiven Einschätzung des operierten Kniegelenkes (siehe Lysholm Score im Anhang) überwiegend 95-100 Punkte (exzellent) erzielt. Dieses wird auch in der Abbildung 23 deutlich.

3.3.2 Marshall Score

Bei maximal 50 erreichbaren Punkten in diesem Score erstreckte sich die Spanne der Ergebnisse von 30 bis 50 Punkten in der SB-Technik sowie von 39 bis 50 Punkten in der DB-Technik. Die mittlere Punktzahl in der Single-Bundle-Technik belief sich auf 45,94 ($\pm 2,94$) und in der Double-Bundle-Technik auf 46,37 ($\pm 1,74$).

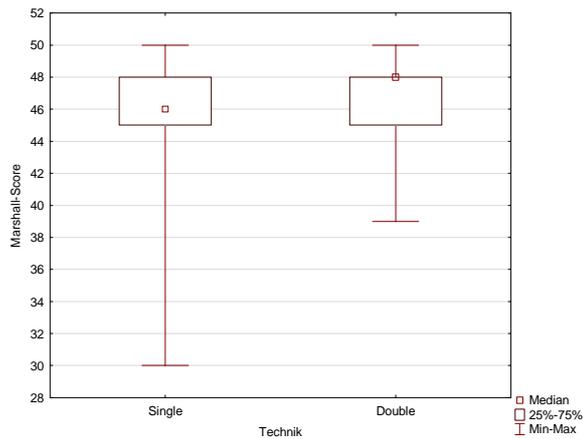


Abbildung 24: Boxplot des Marshall Scores im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 9: Wertetabelle des Marshall Scores im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	45,94	46,37
Standardabweichung	2,94	1,74
Minimum	30	39
Maximum	50	50
Median	46	48
25%-Quartil	45	45
75%-Quartil	48	48

Die Abbildung 24 zeigt, dass die meisten Patienten beider Gruppen Punktzahlen im Mittel um 46 Punkte im Marshall Score erlangt haben (siehe Marshall Score im Anhang). Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,61 (nicht signifikant).

3.3.3 Tegner Aktivitätsscore

Die Abbildung 25 zeigt, dass vor der Operation sowohl die SB-Gruppe als auch die DB-Gruppe ein höheres sportliches Niveau hatte, als ein Jahr nach der Operation. Veranschaulicht konnten 45 % von 64,5 % der Patienten mit SB-Ersatzplastik wieder ihr hohes sportliches Niveau (7-10) ein Jahr postoperativ erreichen. Auch in der DB-Gruppe konnten 36,9 % von 53 % mit initial hohem sportlichen Niveau dieses ein Jahr postoperativ wiedererlangen. Jeweils 2 Patienten aus jeder Gruppe fielen in ein niedriges sportliches Niveau (0-3) ein Jahr postoperativ. Der p-Wert im Mann-Whitney U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,85 (nicht signifikant).

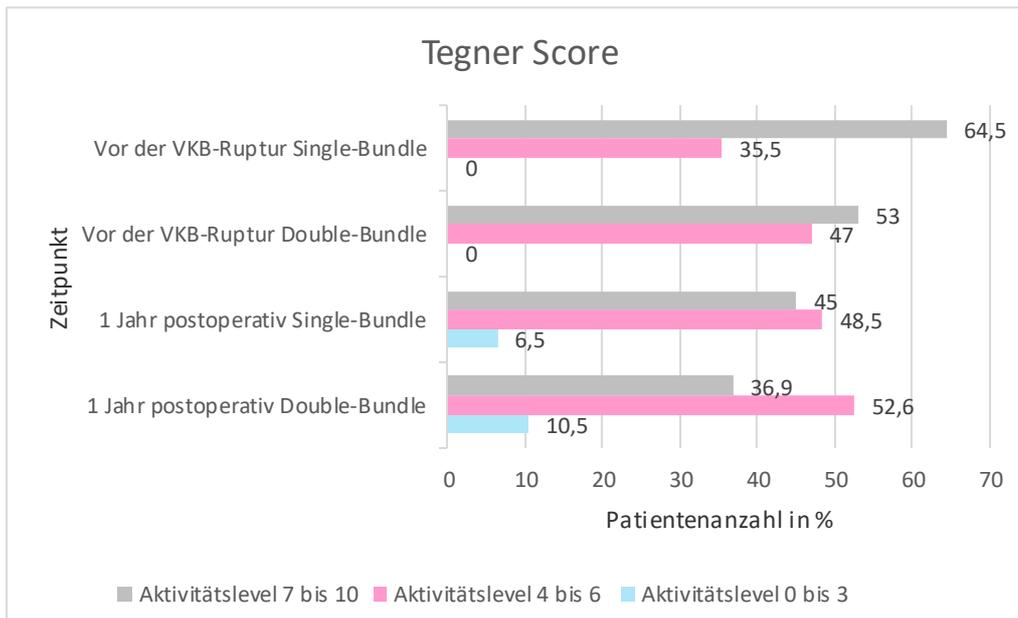


Abbildung 25: Tegner Score im Vergleich SB- und DB- vor der VKB-Ruptur und 1 Jahr postoperativ

Tabelle 10: Ergebnisse Tegner vor der Kreuzbandruptur und 1 Jahr postoperativ

Aktivitätslevel im Tegner-Score	Single-Bundle-Anzahl	Double-Bundle-Anzahl
vor der Kreuzbandruptur		
0-3	0 (0%)	0 (0%)
4-6	11 (35,5%)	9 (47%)
7-10	20 (64,5%)	10 (53%)
1 Jahr postoperativ		
0-3	2 (6,5%)	2 (10,5%)
4-6	15 (48,5%)	10 (52,6%)
7-10	14 (45%)	7 (36,9%)

3.3.4 Visuelle Analogskalen für Schmerz und Funktion

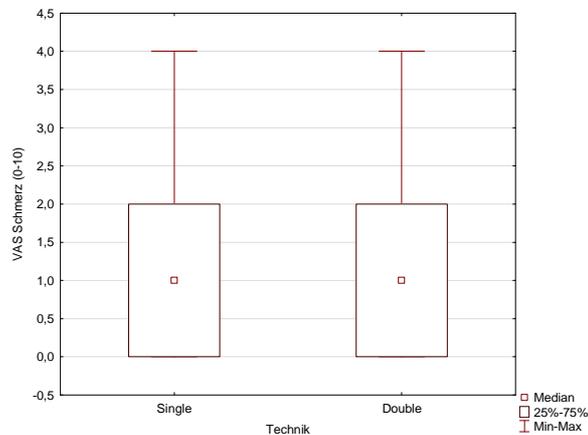


Abbildung 26: Boxplot der VAS für Schmerz im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 11: Wertetabelle der VAS für Schmerz im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	1	1
Standardabweichung	0	0
Minimum	0	0
Maximum	4	4
Median	1	1
25%-Quartil	0	0
75%-Quartil	2	2

Auf der VAS für Schmerz gab es die möglichen Werte von null (kein Schmerz) bis zehn (maximales Schmerzempfinden). Der Mittelwert betrug in der Untersuchung jeweils eins auf der VAS für Schmerz bei der SB- und der DB-Rekonstruktion. Von einzelnen Patienten beider Gruppen wurde ein maximaler Wert von vier angegeben. Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,96 (nicht signifikant).

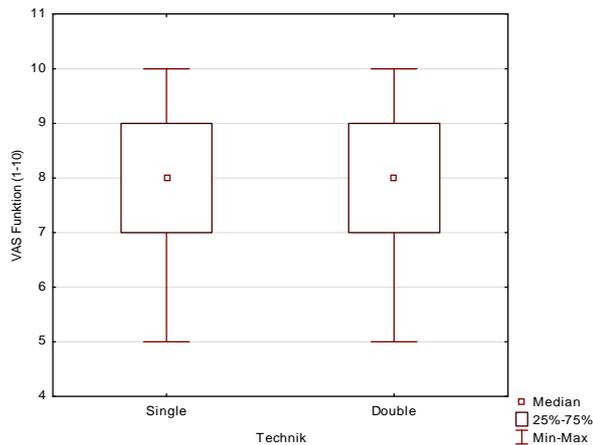


Abbildung 27: Boxplot der VAS für Funktion im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 12: Wertetabelle der VAS für Funktion im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	8	7
Standardabweichung	2	2
Minimum	5	5
Maximum	10	10
Median	8	8
25%-Quartil	7	7
75%-Quartil	9	9

Auf der VAS für Funktion ergab sich im Mittel beim Single-Bundle ein Wert von 8 (± 2) und beim Double-Bundle ein Wert von 7 (± 2). Zehn bedeutete volle Funktionsfähigkeit und null ein kompletter Funktionsverlust. Einige Patienten in beiden Gruppen gaben eine volle Funktionsfähigkeit ihres Kniegelenkes an und der geringste Wert in beiden Gruppen war fünf. Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,79.

3.3.5 IKDC Score

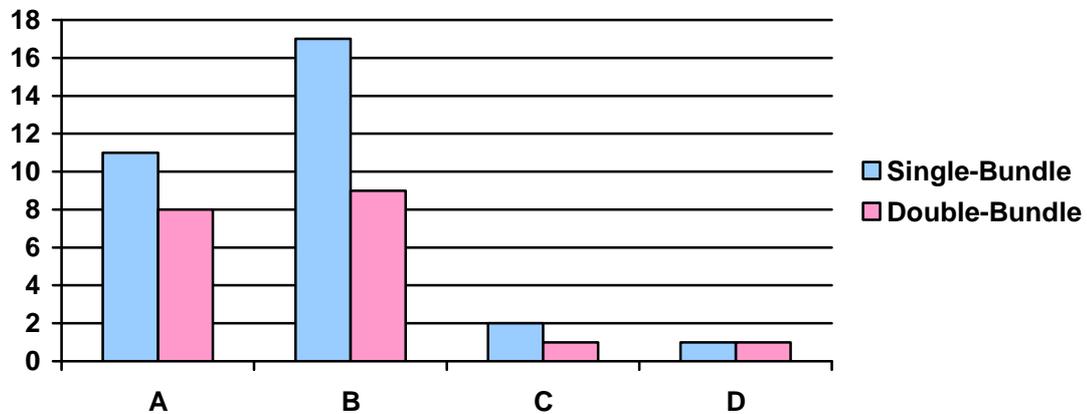


Abbildung 28: Patientenverteilung (Anzahl, vertikale Achse) im IKDC Score in den Gruppen A-D (horizontale Achse) unterteilt in die zwei Techniken (blau = SB und rot = DB)

In die Erhebung des IKDC Scores flossen die subjektive Beurteilung durch den Patienten, Symptome, die Untersuchungsergebnisse der Bänder und der Bewegungsumfang ein. Die Gesamtbewertung des IKDC Scores gliederte sich in A: normal, B: fast normal, C: abnormal und D: stark abnormal. Im Single-Bundle-Kollektiv erreichten elf Patienten (35,5 %) die Gruppe A, 17 Patienten (55 %) die Gruppe B, zwei Patienten (6,5 %) die Gruppe C und ein Patient (3%) die Gruppe D. Im Double-Bundle-Kollektiv erreichten acht Personen (42,1 %) die Gruppe A, neun Patienten (47,3 %) die Gruppe B und jeweils ein Patient (je 5,3%) die Gruppen C und D. Die Bewertung A und B erreichten somit 90,3 % der SB-Gruppe und 89,4 % der DB-Gruppe. Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,72 (nicht signifikant).

3.3.6 KT-1000 Arthrometer

Bei einem Kraftaufwand von 67 N zur Messung der Seitendifferenz mit dem KT-1000 Arthrometer zeigte sich in der SB-Methode ein Mittelwert von 1,35 mm ($\pm 2,28$) und unter 89 N im Mittel ein Wert von 1,66 mm ($\pm 1,78$). In der DB-Technik ergab sich ein Mittelwert von 1,87 mm ($\pm 1,8$) unter 67 N und von 1,79 mm ($\pm 1,82$) unter 89 N. Im

Maximal-Manual-Drawer-Test lag in der SB-Technik der Mittelwert bei 1,75 mm ($\pm 1,94$) und in der DB-Technik bei 1,32 mm ($\pm 1,86$). Die p-Werte im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken lagen bei einem Kraftaufwand von 67 N bei 0,28, bei 89 N bei 0,78 und beim MMD bei 0,43 (nicht signifikant).

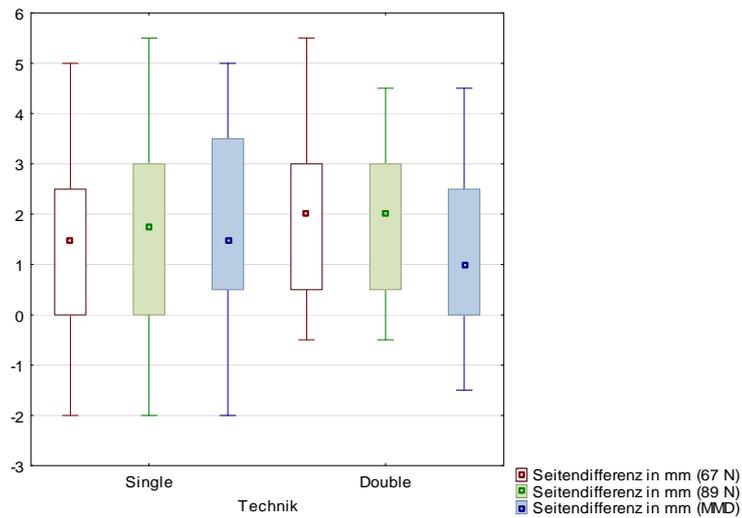


Abbildung 29: Boxplots der Seitendifferenzen in mm bei 67 N, 89 N und MMD im Vergleich SB und DB

Tabelle 13: Seitendifferenzen der KT-1000 Arthrometermessung bei 67 N, 89 N und im MMD in mm

Gruppe	67 N (SB)	67 N (DB)	89N (SB)	89N (DB)	MMD (SB)	MMD (DB)
Mittelwert	1,35	1,87	1,66	1,79	1,75	1,32
Standardabweichung	1,28	1,8	1,78	1,82	1,94	1,86
Minimum	-2	-0,5	-2	-0,5	-2	-1,5
Maximum	5	5,5	5,5	4,5	5	4,5
Median	1,5	2	1,75	2	1,5	1
25%-Quartil	0	0,5	-0,25	0,5	0	0
75%-Quartil	2,5	3	3	3	3,5	2,5

Tabelle 14: Verteilung (Anzahl) der Resultate der Seitendifferenzen der KT-1000 Arthrometermessung bei 67N, 89N und im MMD in der SB- und in der DB-Technik

KT-1000-Werte in mm	67 N (SB)	67 N (DB)	89 N (SB)	89 N (DB)	MMD (SB)	MMD (DB)
< 3	24	13	21	13	23	16
3-5	7	5	9	6	8	3
> 5	0	1	1	0	0	0

Die meisten Messungen in beiden Gruppen zeigten Werte von unter 3 mm Differenz zwischen dem operierten und nicht-operierten Knie auf, gefolgt von 3 bis 5 mm Differenz. Nur zwei Messungen zeigten Werte über 5 mm Differenz im Seitenvergleich.

3.3.6 Kraftmessung

Die Kraftmessung erfolgte mit dem computergestützten Multifunktionsdynamometer von Biodex. Es wurden in vier verschiedenen Durchgängen (Extension und Flexion unter 180 °/s und 60 °/s) mit jeweils zwei Wiederholungen Kraftdefizite (in %) zwischen beiden Kniegelenken ermittelt.

3.3.7.1 Kraftmessung der Extension (180 °/s)

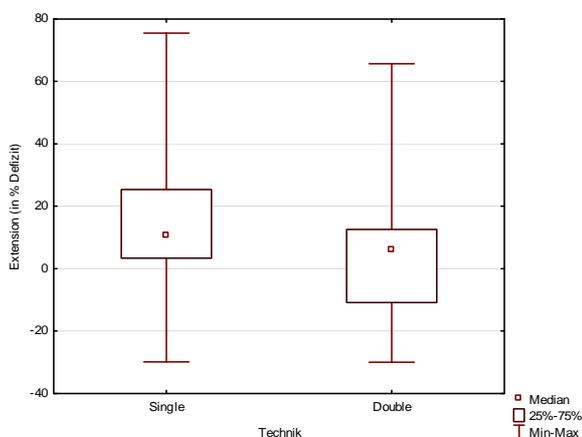


Abbildung 30: Boxplot des Kraftdefizites in Extension in % bei 180 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 15: Wertetabelle des Kraftdefizites in Extension in % bei 180 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	13,89	4,39
Standardabweichung	8,09	6,69
Minimum	-29,90	-30,05
Maximum	75,45	65,60
Median	10,6	6,20
25%-Quartil	3,35	-10,85
75%-Quartil	25,35	12,55

Die Kraftmessung mittels des Biodexgerätes zeigte in der Extension bei der Einbündel- methode ein Kraftdefizit im Vergleich zur Gegenseite im Mittel von 13,89 % ($\pm 8,09$) bei einer Winkelgeschwindigkeit von 180 °/s. Die Doppelbündeltechnik dabei ein Kraftdefizit im Mittel von 4,39 % ($\pm 6,69$) auf. Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,11 (nicht signifikant).

3.3.7.2 Kraftmessung der Extension (60 °/s)

Bei der SB-Technik zeigte sich bei der Kraftmessung der Extension unter einer Winkel- geschwindigkeit von 60 °/s ein Kraftdefizit von 17,35 % ($\pm 7,49$) im Mittel. In der DB- Technik fand sich ein durchschnittliches Kraftdefizit von 12,24 % ($\pm 6,53$).

Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,37 (nicht signifikant).

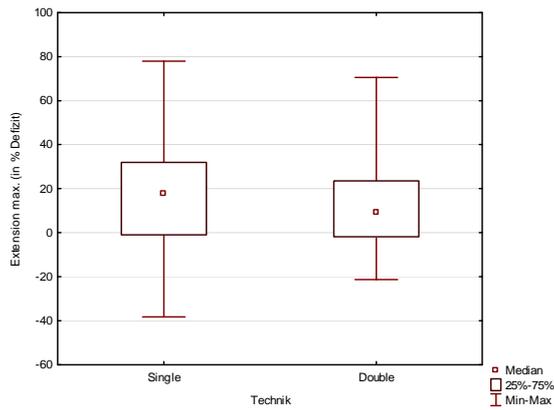


Abbildung 31: Boxplot des Kraftdefizites in Extension in % bei 60 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 16: Wertetabelle des Kraftdefizites in Extension in % bei 60 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	17,35	12,24
Standardabweichung	7,49	6,53
Minimum	-38,20	-21,25
Maximum	77,90	70,50
Median	17,90	8,85
25%-Quartil	-1,00	-1,95
75%-Quartil	31,85	23,55

3.3.7.3 Kraftmessung der Flexion (180 °/s)

Beim SB-Verfahren ergab sich bei der Kraftmessung der Flexion ein durchschnittliches Kraftdefizit von 3,76 % ($\pm 6,31$) bei 180 °/s Winkelgeschwindigkeit. Beim DB-Verfahren ergab sich unter gleichen Bedingungen ein Kraftdefizit im Mittel von -1 % ($\pm 5,58$). Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,37 (nicht signifikant).

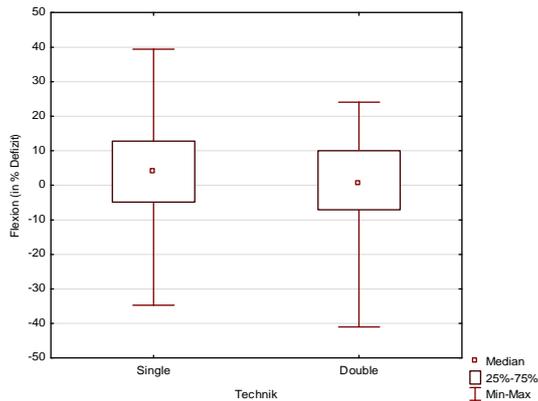


Abbildung 32: Boxplot des Kraftdefizites in Flexion in % bei 180°/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 17: Wertetabelle des Kraftdefizites in Flexion in % bei 180 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	3,76	-1
Standardabweichung	6,31	5,58
Minimum	-34,70	-41,00
Maximum	39,40	24,05
Median	4,10	0,60
25%-Quartil	-4,85	-7,05
75%-Quartil	12,80	10,05

3.3.7.4 Kraftmessung der Flexion (60 °/s)

In der Kraftmessung der Flexion bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60 °/s wurde ein Kraftdefizit von 8,79 % ($\pm 6,41$) in der SB-Technik gemessen. Die DB-Technik erbrachte ein durchschnittliches Kraftdefizit von 4,32 % ($\pm 5,04$). Der p-Wert im Mann-Whitney-U-Test bezogen auf die beiden Techniken war 0,25 (nicht signifikant).

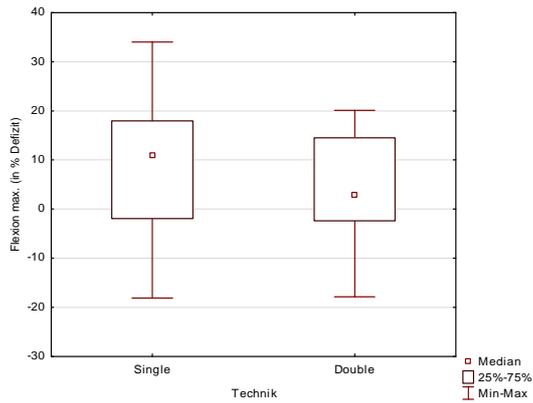


Abbildung 33: Boxplot des Kraftdefizites in Flexion in % bei 60 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Tabelle 18: Wertetabelle des Kraftdefizites in Flexion in % bei 60 °/s im Vergleich SB- und DB-Technik

Gruppe	Single-Bundle	Double-Bundle
Mittelwert	8,79	4,32
Standardabweichung	6,41	5,04
Minimum	-18,10	-17,85
Maximum	34,00	20,10
Median	10,97	2,85
25%-Quartil	-1,95	-2,40
75%-Quartil	17,95	14,50

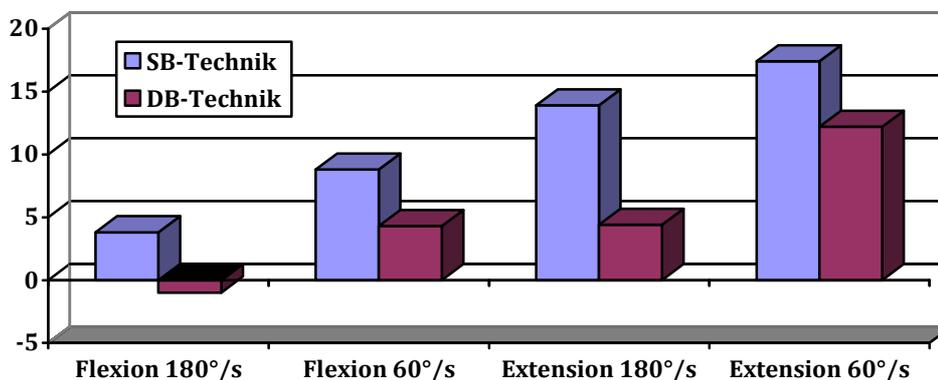


Abbildung 34: Kraftdefizite 1 Jahr postoperativ in % (vertikale Achse) im Vergleich zum gesunden Knie in Flexion und Extension mit verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten (horizontale Achse) in SB- und DB-Technik

4 Diskussion

Die zentrale Fragestellung dieser Studie war es herauszuarbeiten, ob die Lernkurve des Operateurs für die neue OP-Technik (in unserem Fall die DB-Technik) das klinische *Outcome* zunächst verschlechtert. Für die Einführung neuer Techniken im Bereich der Kreuzbandplastik im Allgemeinen ist bekannt, dass dieses zu höheren Revisionsraten führt, so zum Beispiel beim Wechsel vom Patellar- zum Hamstringersatz (Persson et al. 2014). Insgesamt machen frühe Revisionsraten circa 1% aus und sind daher lediglich in großen epidemiologischen Studien statistisch erkennbar, wie beispielsweise im *Danish Registry* (Rahr-Wagner et al. 2014). Die Ursache dieser leicht erhöhten Revisionsraten wird kontrovers diskutiert (Aglietti et al. 2004, Taylor et al. 2009, Barenius et al. 2010, Magnussen et al. 2011). Möglicherweise spielt hier das *bone-to-tendon*-Wachstum eine größere Rolle als der Faktor Operateur (Rahr-Wagner et al. 2014). Andere Studien zeigten, dass vor allem junge Patienten und eine hohe sportliche Aktivität vermehrt zu Revisionsoperationen führen (Andernord et al. 2015, Nelson et al. 2016). Eine Kohortenstudie aus den *Swedish and Norwegian Registries* ergab, dass ein junges Alter (13-19 Jahre), ein hoher BMI (25-30) und übergewichtige Frauen eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Revisionsoperation nach VKB-Plastik aufweisen (Snaebjörnsson et al. 2019). In einer großen Vergleichsstudie aus dem *Schwedish National Knee Ligament Register* von Björnsson et al. (Björnsson et al. 2015) mit 16281 Single-Bundle- und 510 Double-Bundle-Patienten wurden ähnliche Revisionsraten mit 2,1 % (SB) und 1,6 % (DB) beziffert. Mohtadi et al. (2016) konnten ebenfalls bei ihrer Untersuchung von 320 Patienten keine signifikanten Unterschiede der Rerupturrate in der Kontrolle nach 2 Jahren erfassen, genauso wie Yoon et al. acht Jahre postoperativ anhand von 377 Patienten (Yoon et al. 2019). Bei der Arbeit von Aglietti et al. (2010) entwickelten von den insgesamt 70 Patienten dieser Studie drei Patienten (2 SB, 1 DB) ein Jahr postoperativ eine Instabilität ohne Trauma und ein Patient (SB) zwei Jahre postoperativ eine traumatische Instabilität, ohne Revisionsoperationen. Eine Langzeitstudie über 4 bis 11 Jahre konnte unter 71 Patienten zwei insuffiziente DB-VKB-Plastiken, die nach erneuten Sportunfällen auftraten, also eine geringe Insuffizienzquote, zeigen (Volpi et al. 2019). Eine aktuelle große Studie belegte bei unsportlichen Personen ähnlich wie bei Athleten gleiche Revisionsraten der VKB-Rekonstruktion von 4 %. Als Hauptursache der Rerupturen wurde hier die fehlerhafte Tunnelpositionierung benannt (Nagaraj und Kumar 2019). Für die DB-Technik

zeigte eine Studie von Järvelä et al. (2017) eine signifikant geringere Rerupturrate nach einem Zeitraum von 10 Jahren postoperativ.

In der bisherigen Literatur finden sich nur wenige Untersuchungen, die den Faktor Operateur berücksichtigen. So wird in den Studien häufig nur beiläufig erwähnt, dass die Operateure erfahren seien oder im Beisein dieser operiert wurde (Yasuda et al. 2006, Muneta et al. 2007, Ibrahim et al. 2009, Aglietti et al. 2010, Araki et al. 2011, Volpi et al. 2019). Sehr oft ist unklar wie viele Kreuzbandoperationen die Operateure bis dato durchgeführt haben. Es gibt keine explizite Definition, welche Kriterien für einen erfahrenen Operateur sprechen. Epidemiologische Studien können als Hilfestellung zur Definition der „Erfahrenheit“ dienen. In einer umfangreichen retrospektiven Arbeit mit über 70000 VKB-Plastiken über einen Beobachtungszeitraum von neun Jahren wurde gezeigt, dass das Risiko einer erneuten stationären Aufnahme binnen 90 Tagen sowie einer erneuten Knieoperation binnen eines Jahres für *higher-volume surgeons* (hier definiert als >51 VKB-Rekonstruktionen/Jahr) deutlich sinkt. *Higher-volume hospitals* vermindern ebenfalls das Risiko für erneute VKB-Plastiken in diesem Zeitraum (>124 Operationen/Jahr) (Lyman et al. 2009). Die ersten zehn Karriere-VKB-Plastiken eines Chirurgen waren mit einem 5-fach höheren Risiko einer erneuten VKB-Plastik (im Vergleich zu dessen Operationen nach der 150. Karriere-VKB-Plastik) verbunden. Das Risiko sank auf das 3,7-Fache für die Karrierefälle 11- 60, auf das 3,0-Fache für die Karriereoperationen 61-120 und letztendlich auf das 1,4-Fache für die Fälle 121-150 (Oesterhelt et al. 2012). Unter diesen Aspekten kann der Operateur unserer Studie zweifelsfrei als „erfahren“ in der SB-Technik (>51 Operationen/Jahr, >3000 Karriere-Operationen insgesamt) an einem Spezialzentrum (*high-volume hospital* mit > 124 Operationen/Jahr) definiert werden.

Hinsichtlich des Wechsels von SB-Technik zur DB-Technik empfehlen Harner und Poehling den Operateuren, die geringere OP-Zahlen an VKB-Plastiken aufweisen, vorerst die althergebrachten OP-Methoden anzuwenden, da in der Literatur diese Technik mit Erfolgsraten von 80-90 % assoziiert ist (Harner und Poehling 2004). Die SB-Technik wird auch in der aktuellen Literatur immer noch als Goldstandard definiert (Volpi et al. 2019). Harner und Poehling warnten bei der DB-Technik vor dem Risiko einer Revisionsoperation sowie vor einer Einklemmung des Transplantates oder womöglich einer vermehrten Frakturrate der femoralen Kondyle durch Anlage zweier Tunnel (Harner und

Poehling 2004). Ein Wechsel der Operationstechnik könne höhere Kosten und eine längere Operationsdauer verursachen (van Eck et al. 2012) .

Für den geübten Operateur, insbesondere an einem Spezialzentrum, finden sich bisher kaum Empfehlungen, da hierzu die Datenlage gering ist. Speziell für diese Interessenspartei, die das Operationsspektrum durch die neue Technik sinnvoll erweitern können, ist dieser Sachverhalt wissenswert. Allein Snow und Stanish beschrieben die Lernkurve beim Wechsel von der SB- zur DB-Technik anhand von nicht-klinischen Parametern (Snow und Stanish 2010). Bei ihnen erhielten zehn Patienten durch einen in der SB-Technik erfahrenen Operateur eine VKB in DB-Technik. Es traten keine Komplikationen auf und die OP-Zeit vom ersten bis zum letzten Patienten halbierte sich nahezu. Diese Studie betrachtete jedoch nicht die klinischen Ergebnisse der Patienten. Das klinische *Outcome* der DB-Technik in der Erprobungsphase eines erfahrenen Operateurs wurde – soweit uns bekannt – bisher nicht untersucht und wird hier erstmalig vorgestellt. Die Ergebnisse unserer Arbeit mit tendenziell, jedoch nicht signifikanten, besseren Ergebnissen der DB- gegenüber der SB-Technik für klinische Leistungsdaten (VAS für Schmerz und Funktion, Tegner, IKDC, Lysholm und Marshall Score sowie vordere Stabilität) stimmen mit den Erkenntnissen in der Literatur überein. So wurden von Araki et al. gute Ergebnisse ein Jahr postoperativ in beiden OP-Techniken mit tendenziell biomechanischer Überlegenheit der DB-Technik über die SB-Technik ohne signifikanten Unterschied in der KT-1000 Arthrometermessung, im Lysholm Score und der Muskelkraft anhand von 20 Patienten demonstriert. Alle Patienten kehrten in ihr vorheriges Sportaktivitätslevel zurück (Araki et al. 2011). In einer größeren Studie konnten Ibrahim et al. mit 200 Patienten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Lysholm, Tegner und IKDC Score zwischen der DB- und SB-Technik feststellen. Sie wiesen jedoch signifikant bessere Ergebnisse im Pivot-Shift-Test, in der KT-1000 Arthrometermessung, der vorderen Schublade und im Lachman-Test im DB-Verfahren auf (Ibrahim et al. 2009). Eine Studie von Chowdhury et al. (2019) konnte anhand von 42 Patienten bei der Nachuntersuchung sechs Monate postoperativ keine signifikanten klinischen Unterschiede beider Techniken feststellen. Es zeigten sich jedoch tendenziell bessere Werte im Lysholm Score, Tegner Score, in der Rotationsstabilität und vorderen Stabilität sowie positivere Erkenntnisse in der vordere Schublade, im Pivot-Shift-Test und im Lachman-Test bei der DB-Technik gegenüber der SB-Technik. Eine Langzeitstudie mit Erhebung der Daten von 53 Patienten fünf Jahre postoperativ zeigte keine Unterschiede

im IKDC Score, der Laxitester-Messung und hinsichtlich der Arthroseentwicklung sowie der Tunnelerweiterung (Mayr et al. 2018). Eine bessere Kniestabilität der DB-Technik gegenüber der SB-Technik stellten Mascarenhas et al. (2015) in ihrer Metaanalyse vor, bei jedoch ähnlichen klinischen Ergebnissen und Rerupturraten beider Techniken. Bessere Werte in der vorderen Kniestabilität (n = 72) wiesen auch Yasuda et al. (2006) nach. Hamada et al. (2001) zeigten in ihrer Arbeit gute Ergebnisse beider Techniken im IKDC Score, der KT-Arthrometermessung und der Muskelkraftmessung auf und konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen aufweisen. Eine Studie acht Jahre postoperativ zeigte signifikant bessere Ergebnisse im subjektiven IKDC und Lysholm Score bei der DB-Technik auf, jedoch keine Differenzen im Tegner Score, der Stabilitätstestung sowie der Arthrose- und Rerupturrate (Yoon et al. 2019). Zwei Metaanalysen von 2018 mit einem Langzeitnachuntersuchungszeitraum von über fünf Jahren präsentierten keine signifikanten Unterschiede zwischen der SB- und der DB-Technik in den klinischen Parametern (IKDC Score, Lysholm Score, KT-1000 Arthrometer-Messung) (Chen et al. 2018, Dong et al. 2018). Der Pivot-Shift-Test wurde von Dong et al. (2018) ebenfalls als ähnlich zwischen beiden Techniken dargestellt. Zusätzlich zeigten Chen et al. (2018) keine signifikanten Unterschiede im Tegner Score und demonstrierten gleiche Rerupturraten beider Techniken.

In unserer Studie zeigten sich tendenziell bessere Werte in der Kraft (in %) bei der DB-Technik gegenüber der SB-Technik. Sehr gute Werte erreichte die DB-Technik im Vergleich zum gesunden Knie in Flexion unter 180 °/s mit -1 % (ohne Signifikanz) und somit einen marginal höheren Wert, also ein kräftigeres Kniegelenk als die gesunde Gegenseite. Bei allen Kraftmessungen (Extension und Flexion mit jeweils 180 °/s und 60 °/s) wies die DB-Technik etwas bessere Werte auf. Bis auf die Kraftdefizite bei der DB-Methode in Extension unter 60 °/s zeigten die Ergebnisse in der Kraft keinen Unterschied zur gesunden Gegenseite (zwischen 1-10 %). Dieses zeigte sich ebenfalls für die SB-Technik in der Flexionsmessung. Die Extensionsmessung der SB-Technik ergab, dass das operierte Knie laut Bewertungsschema des Herstellers eine weitere Behandlung zur Wiedererlangung der muskulären Leistungsfähigkeit benötigte (11-25 %). Es wurden in unseren Messungen keine signifikanten Funktionseinschränkungen (Defizit > 25 %) in beiden Gruppen festgestellt. In mehr und mehr Studien findet die Kraftmessung Anwendung, da sie eine gute Methode ist, um ebenfalls das klinische *Outcome*

darzustellen und eine gute Muskelkraft wohl protektiv vor Rerupturen wirkt (Bourne et al. 2019). Eine bessere Beugekraft einer Methode wurde auch von Kouloumentas et al. 2019 in einer Vergleichsstudie zweier SB-Techniken unter 180 °/s gezeigt. Nach einer VKB-Rekonstruktion demonstrierten Bourne et al. ein geringeres Niveau an exzentrischer Kniebeugekraft im Vergleich zur gesunden Seite und einer gesunden Kohorte bei Profifußballerinnen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist die Kniebeugestärke ein wichtiger, beeinflussbarer Risikofaktor um erneut eine VKB-Ruptur zu erleiden und diese vielleicht zu verhindern (Bourne et al. 2019). Mehrere Studien weisen daher auf eine Optimierung des postoperativen Trainings und der Rehabilitationsprogramme hin (Asaeda et al. 2019, Beischer et al. 2019, Bourne et al. 2019, Buckthorpe 2019, Volpi et al. 2019). Der Einfluss der Stärkung der Knieextension und -flexion ist wichtig um die Kniekinematik gerade während des Laufens, speziell bei Frauen, postoperativ wiederherzustellen (Asaeda et al. 2019).

In unserer Studie erhielten die Patienten eine standardisierte Nachbehandlung mit direkt postoperativer Forcierung der Beweglichkeit mittels Motorschiene, Teilbelastung 10-20 kg und Limitierung der Flexion auf 90 ° bis zur 5. Woche. Danach wurden die Wiederherstellung der Vollbelastung, ein einfaches Koordinations- und Stabilisationstraining und der Muskelaufbau erarbeitet. Ab der 7. Woche folgte ein multidirektionales Koordinationstraining und behutsames Joggen. Ab der 12. Woche wurde in eine offene Bewegungskette übergegangen. Um wieder eine gute Kraftentwicklung und gute Ergebnisse postoperativ zu erreichen weisen einige Studien auf die notwendige Intensivierung der Rehabilitation hin (Volpi et al. 2019). Beischer et al. betonen die Wichtigkeit einer vorhandenen symmetrischen Muskelfunktion nach VKB-Ersatz bevor eine Rückkehr zum Sport erfolgt, um ein erneutes VKB-Trauma zu vermeiden. Sie stellten in ihrer Studie fest, dass die symmetrische Kniekraft in Extension und Flexion vier Monate nach der VKB-Rekonstruktion mit der symmetrischen Muskelfunktion bei jungen Athleten ein Jahr postoperativ korreliert (Beischer et al. 2019). Es konnte festgestellt werden, dass 35-45 % der Patienten nicht zu ihrem präoperativen Sportniveau zurückkehrten (Buckthorpe 2019). In unserer Studie kehrten circa 10-20 % nicht in ihren vorherigen Sportlevel zurück. Trotz Optimierung der OP-Techniken und einem besseren biomechanischen Verständnis ist die Rerupturrate unbefriedigend. Um dieses zu verbessern konzentrierte sich Buckthorpe auf die Rehabilitation und ein spezielles Training, um wieder zur präoperativen sportlichen Aktivität zurückzukehren. Diese Studie forciert die

neuromuskulären Funktionsdefizite, inklusive der Kraft, die Bewegungsabläufe, sport-spezifische Konditionierung und die Trainingsbelastung (Buckthorpe 2019).

Insgesamt wird nach der DB-Rekonstruktion eine bessere Rotationsstabilität und eine scheinbar verminderte vordere Instabilität gegenüber der SB-Rekonstruktion beschrieben (Kongtharvonskul et al. 2013, van Eck et al. 2012, Zhu et al. 2013, Chowdhury et al. 2019). Unsere Studie belegt, dass auch bei der Erstanwendung der anatomisch korrekteren DB-Technik durch einen in der SB-Technik erfahrenen Operateur, gute und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können. Eine weitere interessante Erkenntnis unserer Studie ist, dass erstmalig mit dem durchgeführten isokinetischen Krafttest für die Patienten mit DB-Ersatz tendenziell bessere Ergebnisse demonstriert wurden. Wahrscheinlich liegt dies darin begründet, dass bei einer besseren Rotationsstabilität auch eine bessere Kraftentwicklung möglich ist, die möglicherweise wichtig ist um Rerupturen zu verhindern (Bourne et al. 2019). Es ist anzunehmen, dass in der Nachbehandlung auch der Muskelaufbau bei höherer Kniestabilität effektiver erfolgen konnte. Dafür ist nach gut praktizierter Operation wohl ein forciertes Rehabilitationsprogramm notwendig, um eine symmetrische Beinmuskelfkraft zu trainieren. Dezierte Studien zu diesem Thema in Bezug auf die VKB-Plastik im DB-Verfahren fehlen noch.

Die Limitierungen unserer Studie können zum einen in der Probandenanzahl von 50 Patienten gesehen werden, welche eher gering ist. Zum anderen sind die beiden Patientengruppen unterschiedlich groß - 31 Personen in der SB-Gruppe und 19 Personen in der DB-Gruppe. Der zentrale Aspekt unserer Studie lag in der Betrachtung der Lernkurve eines Operateurs in Bezug auf die DB-Technik und somit kamen nur die ersten Patienten in Betracht, die zum OP-Termin dieser unterlagen. Snow und Stanish (2010) zeigten bereits anhand nicht-klinischer Parameter, dass die Lernkurve steil ist und sich zügig einem *steady state* annähert. Die Anzahl der Patienten in der DB-Gruppe war damit methodisch begrenzt. Hingegen bestand für die Patienten, die mit der SB-Technik operiert wurden waren als Vergleichsgruppe keine numerische Begrenzung, da der *steady state* bei dem erfahrenen Operateur für diese Technik bereits erreicht war. Hier konnte eine größere Zahl an Patienten in die Untersuchung eingehen und somit eine höhere statistische Güte der Vergleichsgruppe erreicht werden.

Als weiteres kann der mittelfristige Nachbeobachtungszeitraum von einem Jahr kritisch gesehen werden. Es lässt sich so keine Aussage über die klinische Entwicklung zu verschiedenen Zeitpunkten sowie nach mehreren Jahren postoperativ treffen. Im Rahmen

der Lernkurve wurden in dieser Studie nach einem Jahr gleich gute Ergebnisse nach beiden Rekonstruktionstechniken mit tendenzieller (jedoch nicht-signifikanter) Überlegenheit der DB-Technik erreicht. Im Langzeitverlauf sind auch keine deutlichen Abweichungen dieses Trends zu erwarten, insbesondere in Kenntnis der guten Ergebnisse der DB-Technik in anderen Langzeitstudien (Koga et al. 2015, Sun et al. 2015). Volpi et al. (2019) registrierten 4-11 Jahre postoperativ ebenfalls nur gute klinische Ergebnisse nach der DB-Rekonstruktion (unter Verwendung des Lachman-Tests, des Tegner-Lysholm Scores und des IKDC Scores) und eine hohe Rückkehrquote in den präoperativen Sportlevel.

5 Zusammenfassung

Das gerissene vordere Kreuzband kann sowohl im Rahmen der Ersatzplastik in SB- als auch in DB-Technik ersetzt werden. Ein eindeutiger klinischer Nutzen der aufwendigeren DB-Technik konnte bisher nicht bewiesen werden. Fragestellung der Studie war es deshalb, ob im Rahmen der Lernkurve der DB-Technik nicht schlechtere klinische Ergebnisse gegenüber der SB-Technik produziert werden.

Es wurden deshalb die ersten 19 Patienten, die von einem erfahrenen Operateur in der DB-Technik versorgt wurden, mit 31 Patienten verglichen, die vom selben Operateur eine Kreuzbandplastik in SB-Technik erhalten hatten.

Es konnte erstmalig gezeigt werden, dass im Rahmen der Lernkurve mit der DB-Technik keine signifikanten Unterschiede zur traditionellen SB-Technik in den klinischen Ergebnissen zu beobachten sind. Insgesamt wurden gute Ergebnisse in beiden Operationstechniken im Rahmen der Nachuntersuchung ein Jahr postoperativ erhoben. Weder im Lysholm, Marshall, Tegner Score noch im IKDC-Evaluationsblatt gab es signifikante Unterschiede zwischen den beiden Techniken bei insgesamt guten Ergebnissen. Im Lysholm Score ergaben sich Punktwerte von $93,61 \pm 3,79$ (SB) und $93,11 \pm 4,23$ (DB). Der Marshall Score zeigte Punktwerte von $45,94 \pm 2,94$ (SB) und $46,37 \pm 1,74$ (DB). Im Tegner Score befanden sich vor dem Unfall 0 % in den Leveln 0-3, 35,5 % (SB) und 47 % (DB) in den Leveln 4-6, 64,5 % (SB) und 53 % (DB) in den Leveln 7-10. Ein Jahr postoperativ waren in den Aktivitätsleveln 0-3 jeweils zwei Patienten (6,5 % SB und 10,5 % DB), 48,5 % (SB) und 52,6 % (DB) in den Leveln 4-6, sowie 45 % (SB) und 36,9 % (DB) in den Leveln 7-10 zu finden. Der IKDC Score ergab 90,3 % (SB) und 89,4 % (DB) der Patienten in den Leveln A und B. Die Visuellen Analogskalen für Schmerz und Funktion unterschieden sich zwischen den beiden Gruppen kaum. Die VAS für Schmerz wurde im Mittel mit eins in beiden Gruppen angegeben. Die VAS für Funktion im Mittel mit 8 ± 2 in der SB-Technik versus im Mittel mit 7 ± 2 in der DB-Technik. Die anteriore tibiale Translation war bei beiden Techniken gering messbar. Die KT-1000 Arthrometermessung ergab einen Mittelwert im Seitenvergleich bei der SB-Technik bei 67 N von 1,35 mm ($\pm 2,28$), bei 89 N von 1,66 mm ($\pm 1,78$) und bei MMD von 1,75 mm ($\pm 1,94$). Bei den Patienten, die mit der DB-Technik operiert wurden waren ergaben sich im Mittel Werte von 1,87 mm ($\pm 1,8$) unter 67 N, 1,79 mm ($\pm 1,82$) unter 89 N und 1,32 mm ($\pm 1,86$) unter MMD. Die Patienten mit DB-Ersatz

wiesen etwas kleinere Kraftdefizite in Extension und Flexion gegenüber dem gesunden Knie als beim SB-Ersatz auf. Die gemittelten Defizite im Vergleich zur gesunden Seite in der SB-Technik beliefen sich auf 13,89 % ($\pm 8,09$) unter 180 °/s Extension, 17,35 % ($\pm 7,49$) unter 60 °/s Extension, 3,76 % ($\pm 6,31$) unter 180 °/s Flexion und 8,79 % ($\pm 6,41$) unter 60 °/s Flexion. Die gemittelten Kraftdefizite der DB-Technik waren 4,39 % ($\pm 6,69$) % unter 180 °/s Extension, 12,24 % ($\pm 6,53$) unter 60 °/s Extension, -1 % ($\pm 5,58$) % unter 180 °/s Flexion und 4,32 % ($\pm 5,04$) unter 60 °/s Flexion. Ein statistisches Signifikanzniveau wurde nicht erreicht.

In der Literatur steht oft das klinische *Outcome* beim Wechsel einer Operationstechnik zu einer anderen, wie auch von der SB- zum DB-Technik im Fokus. Uns war es wichtig den Operateuren eine Hilfestellung zu geben, ob ein Wechsel auf die DB-Technik für sie ethisch vertretbar ist, um nicht deutlich schlechtere klinische Ergebnisse in ihren ersten Karriere-Operationen zu verursachen. Die klinischen Ergebnisse präsentierten sich in unserer Studie wie auch in anderen Vergleichsarbeiten als gut. Revisionsraten unterschieden sich bei beiden Techniken nicht wesentlich. Verschiedene Ursachen für Rerupturen kamen neben der verwendeten OP-Technik als mögliche Faktoren in Betracht, wie ein junges Alter, ein hoher BMI oder der postoperative Muskelaufbau. Auch auf eine spezielle Art der Rehabilitation sollte Wert gelegt werden.

Es lässt sich schlussfolgern, dass geübte Kreuzbandchirurgen in der SB-Technik auch gute Ergebnisse für ihre Erstoperationen in der DB-Technik erzielen können. Wir untermauern mit unseren Ergebnissen die Annahme, dass sich die Lernkurve der Doppelbündeltechnik bei erfahrenen Kreuzbandchirurgen im Wesentlichen auf die operativen Abläufe beschränkt, sich das klinische *Outcome* der Erstoperierten aber nicht verschlechtert. Die bekannten gleichwertigen klinischen Ergebnisse nach DB-Technik gegenüber der SB-Technik konnten in unserer Studie reproduziert werden.

6 Anhang

Abbildung A.1: Nachuntersuchungsbogen Vordere Kreuzbandplastik

Präoperative Daten

Code für Patient:

Datum der Untersuchung:

Zeit-OP-Untersuchung:

Größe:

Gewicht:

BMI:

Beruf:

Unfall:

am:

Unfallursache:

Alltag

Verkehr

Kontaktsport

Nicht-Kontaktsport ohne Rotation

Nicht-Kontaktsport mit Rotation

Arbeit

OP

am:

Operateur:

Zeit-Unfall-OP:

akut (0-2 Wochen)

subakut (2-8 Wochen)

chronisch (>8 Wochen)

Seite

rechts

links

Gegenseite

normal

verletzt

Vorher bereits Beschwerden?

ja

nein

Veränderungen wegen Knie?

ja

nein

Medizinische relevante Grunderkrankungen:

Abbildung A.2: Erhebungsbogen Nachbehandlung, KT 1000- und Umfangsmessung

Postoperative Daten

Nachbehandlung:

Tage Teilbelastung:

Beginn KG: Einheiten:

Beginn KG mit Gerät: Einheiten:

EAP Wo?

Reha

KT 1000

Passive Drawer Test

	67N	89N	67N	89N	67N	89N
rechts						
links						

	67N Mittel	89N Mittel	Δ 67N	Δ 89N
rechts				
links				

Manual Maximum Drawer

	Mittel	Δ
rechts		
links		

Muskelumfangmessung

	medialer Gelenkspalt + 10 cm	Δ	medialer Gelenkspalt + 20 cm
rechts			
links			

Abbildung A.3: Nachuntersuchung VKB-Plastik: Lyholm und Marshall Score 1. Teil

<u>Kriterien</u>	<u>Lyholm</u>	<u>Ist</u>	<u>Marshall</u>	<u>Ist</u>	
Hinken 5	kein	5	Run in place	ja	1
	leicht oder periodisch	3		nein	0
	deutlich	0	Einbeinsprung		2
Hilfsmittel 5	ohne	5	mit Einschränkungen		1
	Sock/Gehhilfe	3	unmöglich		0
	Belastung unmöglich	0	Entengang		2
			mit Einschränkungen		1
		unmöglich		0	
Treppensteigen					
10	keine Probleme	10	Schwierigkeit	ja	0
	leichte Probleme	6		nein	1
	Stufe für Stufe	2			
	unmöglich	0			
Hocke 5	keine Probleme	5	halbe Hocke	ja	1
	leichte Probleme	4		nein	0
	nicht über 90°	2	ganze Hocke	ja	1
	unmöglich	0		nein	0
Gehen/Laufen/Springen					
Instabilität 30	<i>never giving way</i>	30			4
	selten bei Belastung	25	nur bei Belastung		2
	häufig bei Belastung	20			
	gelegentlich im Alltag	10	im Alltag		1
	häufig im Alltag	5			
	bei jedem Schritt	0			0
Schmerz	kein	30		ja	0

30	inkonstant und leicht bei		nein	1
	Extrembelastungen	25		
	deutlich bei <i>giving way</i>	20	Clicking-numbness	ja 0
	deutlich bei Belastung	15		nein 1
	bei > 2 km Gehstrecke	10		
	bei < 2 km Gehstrecke	5		
	ständig und stark	0		

Schwellung	keine	10	ja	0
30	bei <i>giving way</i>	7	nein	1
	bei Extrembelastung	5		
	bei Normalbelastung	2		
	konstant	0		

Oberschenkelatrophie

5	keine	5		2
	1-2 cm	3		1
	> 2 cm	0		0

Sport-/Arbeitsfähigkeit

	nein			0
	Umschulung			1
Tage bis zur Sportfähigkeit	mit Einschränkung			2
	ohne Einschränkung			3

LYSHOLM SUMME = 100

Zwischensumme Marshall

Abbildung A.4: Nachuntersuchung Marshall Score 2. Teil

Druckschmerz	ja	0			
	nein	1			
Gelenkerguss	ja	0	gering	mäßig	stark
	nein	1			
Weichteilschwellung	ja	0	gering	mäßig	stark
	nein	1			
Crepitation	ja	0			
	nein	1			
<hr/>					
Muskelkraft	normal			3	
	abgeschwächte Flexion oder Extension			2	
	abgeschwächte Flexion und Extension			1	
	sehr schwach			0	
<hr/>					
Bewegungsausmaß	normal		3		Neutral-Null-Methode
	limitierte Flexion oder Extension		2		rechts:
	limitierte Flexion und Extension		1		links:
	< 90°		0		
<hr/>					
Stabilität		LCL	MCL		ACL PCL
normal		5	5	normal	5 5
leicht instabil in Flexion		4	4	leicht instabil (Anschlag)	4 4
moderat instabil in Flexion		3	3	moderat instabil (Anschlag)	3 3
instabil in Flexion und Extension		2	2	instabil in Neutralposition (NP)	2 2
grob instabil		0	0	instabil in NP und Rotation	0 0

MARSHALL SUMME = 50

Abbildung A.5: Nachuntersuchung Tests und VAS

Stabilität	0 mm	3-5 mm	6-10 mm	11-15 mm
LCL	0	+	2+	3+
MCL	0	+	2+	3+
ACL				
Lachman-Test	0	+	2+	3+
Vordere Schublade	0	+	2+	3+
PCL				
Pivot-Shift	0	+	2+	3+

Steinmann I _____

Steinmann II _____

Applay _____

Payr _____

Zohlen _____

Sonstiges: _____

VAS SCHMERZ (0-10):

0 = kein Schmerz

VAS FUNKTION (10-0):

10 = gesund

Abbildung A.6: Tegner Score

		Ist	prä OP
Wettkampfsport (Fußball, national-internat. Elite)	10		
Wettkampfsport			
Fußball, niedrigere Klassen	9		
Eishockey			
Wrestling			
Gymnastik			
Wettkampfsport			
Bandy	8		
Squash / Badminton			
Leichtathletik (Sprünge)			
Skiabfahrt			
Wettkampfsport			
Tennis	7		
Leichtathletik (Lauf)			
Motocross / Speedway			
Handball			
Basketball			
Breitensport			
Fußball	7		
Bandy / Eishockey			
Leichtathletik (Sprünge)			
Marathonlauf / Orientierungslauf			
Breitensport	6		
Tennis / Badminton			
Handball			
Basketball			
Skifahren			
Jogging (mind. 5x pro Woche)			
Arbeit			
Schwerarbeit (Bauarbeiter)	5		
Wettkampfsport			
Radfahren	5		
Skilanglauf			
Breitensport			
Jogging auf <u>unebenem</u> Boden (mind. 2x pro Woche)	5		
Arbeit			
mittelschwere Arbeit (LKW-Fahrer)	4		
Breitensport			
Radfahren	4		
Skilanglauf			
Jogging auf <u>ebenen</u> Boden (mind. 2x pro Woche)			
Arbeit			
leichte körperliche Arbeit	3		
Wettkampf- und Breitensport			
Schwimmen			
Laufen im Wald möglich			
Arbeit			
leichte Arbeit	2		
Gehen auf unebenem Grund möglich, jedoch nicht im Wald			
Arbeit			
Sitzende Tätigkeit	1		
Gehen auf unebenem Grund noch möglich			
Berentet aufgrund von Knieproblemen (erwerbsunfähig)	0		

7 Literaturverzeichnis

- Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Sakai Y, Kuriwaka M, Fujihara A (2003): Harvesting hamstring tendons for ACL reconstruction influences postoperative hamstring muscle performance. *Arch orthop Trauma Surg* 123, 460-465
- Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Kuriwaka M, Ito Y (2004): Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multistranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br* 86, 515-520
- Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F (2004): Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 86, 2143-2155
- Aglietti P, Giron F, Losco M, Cuomo P, Ciardullo A, Mondanelli N (2010): Comparison between single-and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blinded clinical trial. *Am J Sports Med* 38, 25-34
- Andernord D, Desai N, Bjornsson H, Ylander M, Karlsson J, Samuelsson K (2015): Patient predictors of early revision surgery after anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 16,930 patients with 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 43, 121-127
- Araki D, Kuroda R, Kubo S, Fujita N, Tei K, Nishimoto K, Hoshino Y, Matsushita T, Matsumoto T, Nagamune K, Kurosaka M (2011): A prospective randomised study of anatomical single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: quantitative evaluation using an electromagnetic measurement system. *Int Orthop* 35, 439-446
- Asaeda M, Deie M, Kono Y, Mikami Y, Kimura H, Adachi N (2019): The relationship between knee muscle strength and knee biomechanics during running at 6 and 12 month after anterior cruciate ligament reconstruction. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol* 16, 14-18
- Barenius B, Nordlander M, Ponzer S, Tidermark J, Eriksson K (2010): Quality of life and clinical outcome after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon graft or quadrupled semitendinosus graft: an 8-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 38, 1533-1541

Beischer S, Hamrin Senorski E, Thomee C, Samuelsson K, Thomee R (2019): Knee strength, hop performance and self-efficacy at 4 months are associated with symmetrical knee muscle function in young athletes 1 year after an anterior cruciate ligament reconstruction. *BMJ Open Sport Exerc Med* 5, e000504

Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T (1997): Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 10, 14-21

Bjornsson H, Andernord D, Desai N, Norrby O, Forssblad M, Petzold M, Karlsson J, Samuelsson K (2015): No difference in revision rates between single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparative study of 16,791 patients from the Swedish national knee ligament register. *Arthroscopy* 31, 659-664

Bourne MN, Bruder AM, Mentiplay BF, Carey DL, Patterson BE, Crossley KM (2019): Eccentric knee flexor weakness in elite female footballers 1-10 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport* 37, 144-149

Buckthorpe M (2019): Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med* 49, 1043-1058

Chen H, Chen B, Tie K, Fu Z, Chen L (2018): Single-bundle versus double-bundle autologous anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of randomized controlled trials at 5-year minimum follow-up. *J Orthop Surg Res* 13, 50

Chowdhury AZ, Ali MH, Faisal MA, Kundu IK, Arifeen KN, Mahmood CI, Rana MM, Buyan JH (2019): Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Autologous Hamstring Double Bundle Graft Compared With Single Bundle Graft Procedures. *Myensingh Med J* 28, 126-136

Dong Z, Niu Y, Qi J, Song Y, Wang F (2018): Long term results after double and single bundle ACL reconstruction: Is there any difference? A meta – Analysis of randomized controlled trials. *Acta Orthop Traumatol Turc* 53, 92-99

Ebert A, Frosch KH (2016): Vordere Kreuzbandplastik: Riskiert der Operateur beim Wechsel von Single-Bundle- auf Double-Bundle-Technik zunächst schlechtere klinische Ergebnisse im Rahmen der Lernkurve? *Z Orthop Unfall* 154, 449-456

Feiring DC, Ellenbecker TS, Derscheid GL (1990): Test-retest reliability of the Biodex isokinetic dynamometer. *J Orthop Sports Phys Ther* 11, 298-300

Fink C, Hoser C, Benedetto KP (1993): Sportfähigkeit nach vorderer Kreuzbandruptur. *Akt Traumatol* 23, 371-375

Frosch KH, Habermann F, Fuchs M, Michel A, Junge R, Schmidtmann U, Stürmer KM (2001): Ist die erweiterte ambulante Physiotherapie (EAP) nach vorderer Kreuzbandersatzplastik indiziert? Ein Vergleich von Kosten und Nutzen. *Unfallchirurg* 104, 513-518

Frosch KH, Floerkemeier T, Abicht C, Adam P, Dathe H, Fanghänel J, Stürmer KM, Kubein-Meesenburg D, Nägerl H (2009): Eine neuartige Knieendoprothese mit physiologischer Gelenkform. Teil 1: Biomechanische Grundlagen und tribologische Untersuchungen. *Unfallchirurg* 112, 168-175

Gabriel MT, Wong EK, Woo SLY, Yagi M, Debski RE (2004): Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res* 22, 85-89

Girgis FG, Marshall JL, Monajem A (1975): The Cruciate Ligaments of the Knee Joint. Anatomical, Functional and Experimental Analysis. *Clin Orthop Relat Res* 106, 216-231

Hamada M, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Miyama T, Shiozaki Y, Mae T (2001): Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endoButton femoral fixation: A prospective study. *Arthroscopy* 17, 801-807

Harner CD, Poehling GG (2004): Double bundle or double trouble? *Arthroscopy* 20, 1013-1014

Hefti F, Müller W (1993): Heutiger Stand der Evaluation von Kniebandläsionen. Das neue IKDC-Knie-Evaluationsblatt. *Orthopäde* 22, 351-362

Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH (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, 512-520

Ibrahim SA, Hamido F, Al Misfer AK, Mahgoob A, Ghafar SA, Alhran H (2009): Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring double bundle graft compared with single bundle procedures. *J Bone Joint Surg Br* 91, 1310-1315

Järvelä S, Kiekara T, Suomalainen P, Järvelä T (2017): Double-Bundle Versus Single-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Randomized Study With 10-Year Results. *AM J Sports Med* 45, 2578-2585

Järvelä T, Moisala AS, Sihvonen R, Järvelä S, Kannus P, Järvinen M (2008): Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring autografts and

bioabsorbable interference screw fixation: prospective, randomized, clinical study with 2-year results. *Am J Sports Med* 36, 290-297

Koga H, Muneta T, Yagishita K, Watanabe T, Mochizuki T, Horie M, Nakamura T, Otabe K, Sekiya I (2015): Mid- to long-term results of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: randomized controlled trial. *Arthroscopy* 31, 69-76

Kohn D, Schneider G, Dienst M, Rupp S (2002): Diagnostik der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31, 719-730

Kongtharvonskul J, Attia J, Thamakaisorn S, Kijkunasathian C, Woratanarat P, Thakkestian A (2013): Clinical outcomes of double- vs single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of randomized control trials. *Scand J Med Sci Sports* 23, 1-14

Kouloumentas P, Kavroudakis E, Charalampidis E, Kavroudakis D, Triantafyllopoulos GK (2019): Superior knee flexor strength at 2 years with all-inside short-graft anterior cruciate ligament reconstruction vs a conventional hamstring technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 3592-3598

Lange S, Bender R, Ziegler A (2007): Äquivalenzstudien und Nicht-Unterlegenheitsstudien. *Dtsch Med Wochenschr* 132, e53-e56

Lobenhoffer P (1999a): Kniebandverletzungen. I. Anatomie, Biomechanik, Diagnostik, Indikationsstellung. *Chirurg* 70, 219-230

Lobenhoffer P (1999b): Kniebandverletzungen. Teil II. Operative Therapie bei vorderer und hinterer Knieinstabilität. *Chirurg* 70, 326-338

Lobenhoffer P, Agneskirchner JD (2005): Vorderes Kreuzband - was ist gesichert? *Arthroskopie* 18, 11-14

Lyman S, Koulouvaris P, Sherman S, Do H, Mandl LA, Marx RG (2009): Epidemiology of anterior cruciate ligament reconstruction: trends, readmissions, and subsequent knee surgery. *J Bone Joint Surg Am* 91, 2321-2328

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, 150-154

Magnussen RA, Carey JL, Spindler KP (2011): Does autograft choice determine intermediate-term outcome of ACL reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19, 462-472

Marshall JL, Fetto JF, Botero PM (1977): Knee ligament injuries: a standardized evaluation method. *Clin Orthop Relat Res* 115-129

Mascarenhas R, Cvetanovich GL, Sayegh ET, Verma NN, Cole BJ, Bush-Joseph C, Bach BR, Jr. (2015): Does Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Improve Postoperative Knee Stability Compared With Single-Bundle Techniques? A Systematic Review of Overlapping Meta-analyses. *Arthroscopy* 31, 1185-1196

Mayr HO, Bruder S, Hube R, Bernstein A, Suedkamp NP, Stoehr A (2018): Single-Bundle Versus Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-5-Year Results. *Arthroscopy* 34, 2647-2653

Mohtadi N, Chan D, Barber R, Paolucci EO (2016): Reruptures, Reinjuries, and Revisions at a Minimum 2-Year Follow-up: A Randomized Clinical Trial Comparing 3 Graft Types for ACL Reconstruction. *Clin J Sport Med* 26, 96-107

Muneta T, Koga H, Morito T, Yagishita K, Sekiya I (2006): A retrospective study of the midterm outcome of two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled semitendinosus tendon in comparison with one-bundle reconstruction. *Arthroscopy* 22, 252-258

Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I (2007): A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy* 23, 618-628

Nagaraj R, Kumar MN (2019): Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Nonathlete Population. *Indian J Orthop* 53, 154-159

Nägerl H, Kubein-Meesenburg D, Cotta H, Fanghänel J (1993): Biomechanische Prinzipien in Diarthrosen und Synarthrosen. Teil III: Mechanik des Tibiofemoralgelenkes und Rolle der Kreuzbänder. *Orthop Unfall* 131, 385-396

Nelson IR, Chen J, Love R, Brent RD, Gregory BM, Tadashi TF (2016): A comparison of revision and rerupture rates of ACL reconstruction between autografts and allografts in the skeletally immature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24, 773-779

Odensten M, Gillquist J (1985): Functional Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament and a Rationale for Reconstruction. *J Bone Joint Surgery* 67, 257-262

Oesterhelt A, Marx R, Ghomrawi H, Do H, Nguyen J, Lyman S, Ghomrawi H (2012): Free Papers: "Practice Makes Perfect" in ACL Reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20, 5-100

- Persson A, Fjeldsgaard K, Gjertsen JE, Kjellsen AB, Engebretsen L, Hole RM, Fevang JM (2014): Increased risk of revision with hamstring tendon grafts compared with patellar tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 12,643 patients from the Norwegian Cruciate Ligament Registry, 2004-2012. *Am J Sports Med* 42, 285-291
- Petersen W, Tillmann B (2002): Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 31, 710-718
- Petersen W, Zantop T (2006): Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament with Regard to Its Two Bundles. *Clin Orthop* 454, 35-47
- Pinczewski LA, Deehan DJ, Salmon LJ, Russell VJ, Clingeleffer A (2002): A Five-Year Comparison of Patellar Tendon Versus Four-Strand Hamstring Tendon Autograft for Arthroscopic Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Am J Sports Med* 30, 523-536
- Putz R, Mühlhofer H, Ercan Y (2007): Bänder des Kniegelenks. *Orthopäde* 36, 612-619
- Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Pedersen AB, Lind M (2014): Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population-based cohort study: results from the danish registry of knee ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 42, 278-284.
- Siebold R, Branch TP, Freedberg HI, Jacobs CA (2011): A matched pairs comparison of single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions, clinical results and manual laxity testing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19, 4-11
- Snaebjörnsson T, Svantesson E, Sundemo D, Westin O, Sansone M, Engebretsen L, Hamrin-Senorski E (2019): Young age and high BMI are predictors of early revision surgery after primary anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study from the Swedish and Norwegian knee ligament registries based on 30,747 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 3583-3591
- Snow M, Stanish WD (2010): Double-bundle ACL reconstruction: how big is the learning curve? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18, 1195-1200
- Strobel MJ (2007): Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit der Einbündeltechnik. *Arthroskopie* 20, 121-131
- Strobel M, Stedtfeld HW, Eichhorn HJ: Diagnostik des Kniegelenkes; 3. Auflage; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1995

Sun R, Chen BC, Wang F, Wang XF, Chen JQ (2015): Prospective randomized comparison of knee stability and joint degeneration for double- and single-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23, 1171-1178

Taylor DC, DeBerardino TM, Nelson BJ, Duffey M, Tenuta J, Stoneman TD, Sturdivant RX, Mountcastle S (2009): Patellar tendon versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial using similar femoral and tibial fixation methods. *Am J Sports Med* 37, 1946-1957

Van Eck CF, Kopf S, Irrgang JJ, Blankevoort L, Bhandari M, Fu FH, Poolman RW (2012): Single-bundle versus double-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis--does anatomy matter? *Arthroscopy* 28, 405-424

Volpi P, Quaglia A, Carimati G, Galli M, Papalia R, Petrillo S (2019): Double bundle anterior cruciate ligament reconstruction: Failure rate and patients-reported outcomes at 4-11 years follow up. *J Orthop* 16, 224-229

Von Meyer H (1853): Die Mechanik des Kniegelenks. *Arch Anatom Physiol Wiss Med* 497-547

Wetz HH, Jacob HAC (2001): Funktionelle Anatomie und Kinetmatik des Femurotibialgelenks. Forschungsergebnisse von 1836 -1950. *Orthopäde* 30, 135-144

Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo S L-Y (2002): Biochemical Analysis of an Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 30, 660-666

Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H (2006): Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 22, 240-251

Yoon KH, Kim JS, Kim SJ, Park M, Park SY, Park SE (2019): Eight-year results of transtibial nonanatomic single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: Clinical, radiologic outcomes and survivorship. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 27, 2309499019840827

Zantop T, Petersen W (2007): Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 20, 94-104

Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W (2007): The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med* 35, 223-227

Zantop T, Kubo S, Petersen W, Musahl V, Fu FH (2007): Current Techniques in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy* 9, 938-947

Zhu Y, Tang RK, Zhao P, Zhu SS, Li YG, Li JB (2013): Double-bundle reconstruction results in superior clinical outcome than single-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21, 1085-1096