

Aus der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Vivantes Humboldt - Klinikum

DISSERTATION

Vergleichende Untersuchungen nach Rekonstruktion
des vorderen Kreuzbandes in Single-Bundle-,
Double-Bundle- und Transfix AM – Technik

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charite – Universitätsmedizin Berlin

von

Alexandra Gast

aus Berlin

Datum der Promotion: 04.06.2021

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

A.	Abbildungs-/Tabellenverzeichnis.....	IV
B.	Abkürzungsverzeichnis.....	VI
C.	Abstrakt/Abstract.....	VII
1.	Einleitung.....	1
1.1.	Epidemiologische Daten.....	1
1.2.	Kniebinnenproblematik.....	1
2.	Anatomie des vorderen Kreuzbandapparates	4
3.	Historie – Entwicklung der Versorgungsstrategien.....	7
4.	Aktuelle Konzepte der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes..	11
5.	Biomechanische Untersuchungen.....	14
6.	Klinische Studien.....	16
7.	Wissenschaftliche Fragestellung und Nullhypothese.....	21
8.	Material und Methoden.....	22
8.1.	Untersuchte Patientenpopulation.....	22
8.1.1.	Zusammensetzung der Patientengruppen nach Geschlecht.....	23
8.1.2.	Alter des Patientenkollektivs zum Unfallzeitpunkt.....	23
8.2.	Operationstechniken.....	24
8.2.1.	Single-bundle-Technik (femoral Transfix AM, tibial bioabsorbierbare Schraube).....	24
8.2.2.	Single-bundle-Technik (femoral Retrobutton über AM-Portal, tibial bioabsorbierbare Schraube).....	25
8.2.3.	Double-bundle-Vierkanaltechnik (femoral 2x Retrobutton, tibial 2x bioabsorbierbare Schraube).....	26
8.3.	Rehabilitation.....	27
8.4.	Standardisierte Nachuntersuchung.....	28
8.4.1.	Klinische Untersuchung und Scores.....	28
8.4.2.	Radiologische Auswertung.....	33
8.4.3.	Statistische Methodik.....	40
9.	Ergebnisse.....	41
9.1.	Intervall zwischen Unfall und Operationszeitpunkt.....	41
9.2.	Intervall zwischen Operation und Nachuntersuchung.....	41
9.3.	Seite der Verletzung.....	41
9.4.	Unfallmechanismus.....	42
9.5.	Arthroseggrad prä- und postoperativ.....	43

9.6.	Bewegungsausmaß prä- und postoperativ.....	43
9.7.	Vorderer Schubladentest prä- und postoperativ, Hinterer Schubladentest	47
9.7.1.	Außenrotationstest.....	48
9.8.	Lachman Test prä- und postoperativ.....	49
9.8.1.	Rolimeter Test prä- und postoperativ.....	50
9.9.	Pivot shift Test prä- und postoperativ.....	51
9.9.1.	Reverse Pivot shift Test.....	53
9.10.	Tegner Score vor dem Unfall und postoperativ.....	53
9.11.	Lysholm Score vor dem Unfall und postoperativ.....	55
9.11.1.	Lysholm Score-Subkriterien.....	57
9.12.	Marshall Score postoperativ.....	57
9.13.	One leg hop Test postoperativ.....	58
9.14.	Voroperationen.....	58
9.15.	Begleitpathologien.....	59
9.15.1.	Meniskusschaden.....	59
9.15.2.	Knorpelschaden.....	61
9.15.3.	Andere Begleitpathologien.....	62
9.16.	Rupturform des VKB und Lokalisation.....	62
9.17.	Bündelbeteiligung.....	64
9.18.	Komplikationen/ Revisionseingriffe.....	64
9.19.	Heel hight difference.....	66
9.20.	Differenz Muskelumfang.....	66
9.21.	IKDC - Kniefunktion, Aktivitätslevel, Symptome, Ligamentuntersuchung	67
9.22.	IKDC - Anschlag.....	70
9.23.	IKDC – gesamt.....	70
9.24.	IKDC - Kompartimentbefunde.....	71
9.25.	IKDC - Transplantatentnahmemorbidität.....	72
9.26.	IKDC - Röntgenbefunde.....	72
9.27.	Röntgenbildbeurteilung - Bohrkanallage – numerischer Vergleich	72
9.28.	Röntgenbildbeurteilung – Button – numerischer Vergleich.....	75
9.29.	Zusammenhangsuntersuchungen.....	75
9.29.1.	Zusammenhang OP-Technik und Bandstabilität (VSL, Lachman Test, Pivot shift Test)	75
9.29.2.	Zusammenhang OP-Technik und Komplikationen.....	76
9.29.3.	Zusammenhang Komplikationen und Voroperationen.....	76
9.29.4.	Zusammenhang Alter bei Unfall und Muskelumfangsdifferenz.....	76
9.29.5.	Zusammenhang Alter bei Unfall und Voroperationen.....	76

9.29.6. Zusammenhang Alter bei Unfall und Rissform des VKB.....	76
9.29.7. Zusammenhang Alter bei Unfall und Transplantatentnahmemorbidität.....	76
9.29.8. Zusammenhang Alter und Lysholm, Tegner und Marshall Score postoperativ, IKDC	77
9.29.9. Zusammenhang Intervall Unfall-Operation und Aktivitätslevel postoperativ...	77
9.29.10. Zusammenhang Unfallmechanismus und Aktivitätslevel postoperativ.....	77
9.29.11. Zusammenhang Score Werte (Tegner, Lysholm, Marshall Score, IKDC Bogen) und Begleitpathologien.....	77
9.29.12. Zusammenhang Muskelumfangsdifferenz und One leg hop Test.....	78
9.29.13. Zusammenhang Muskelumfangsdifferenz und Lysholm, Tegner und Marshall Score postoperativ, IKDC.....	78
9.29.14. Zusammenhang Voroperationen und Lysholm, Tegner und Marshall Score postoperativ, IKDC.....	78
9.29.15. Zusammenhang Buttonlage und Lysholm, Marshall Score postoperativ und IKDC gesamt.....	79
9.29.16. Zusammenhang Bohrkanallage und Lysholm, Tegner, Marshall Score postoperativ und IKDC gesamt.....	79
10. Diskussion.....	81
10.1. Kritische Betrachtung.....	93
10.2. Zusammenfassung / Klinische Relevanz.....	94
11. Literaturverzeichnis.....	97
12. Anhang.....	110
Anhang 1 Lysholm Score.....	110
Anhang 2 Tegner Score.....	111
Anhang 3 Score nach Marshall et al.....	112
Anhang 4 IKDC – Evaluationsblatt.....	114
Anhang 5 Radiologische Klassifikation der Gonarthrose (Kellgren u. Lawrence)	115
13. Eidesstattliche Versicherung.....	116
14. Lebenslauf.....	117
15. Danksagung.....	118

A. Abbildungs-/ Tabellenverzeichnis

Abb. 1	Patientenpopulation.....	22
Abb. 2	Durchschnittsalter.....	23
Abb. 3	Operationstechniken, Fa. Arthrex.....	27
Abb. 4	Röntgenbildausmessung nach Aglietti.....	34
Abb. 5	Röntgenbildausmessung nach Harner.....	35
Abb. 6	Röntgenbildausmessung nach Stäubli.....	36
Abb. 7	Röntgenbildausmessung femoral frontal.....	37
Abb. 8	Röntgenbildausmessung tibial frontal.....	38
Abb. 9	Röntgenbildausmessung Retrobuttonabstand zur lateralen femoralen Kortikalis.....	39
Abb. 10	Seite der Verletzung.....	42
Abb. 11	Extension präoperativ.....	45
Abb. 12	Extension postoperativ.....	45
Abb. 13	Flexion präoperativ.....	46
Abb. 14	Flexion postoperativ.....	46
Abb. 15	VSL präoperativ.....	48
Abb. 16	VSL postoperativ.....	48
Abb. 17	Lachman Test präoperativ.....	49
Abb. 18	Lachman Test postoperativ.....	50
Abb. 19	Pivot shift Test präoperativ.....	52
Abb. 20	Pivot shift Test postoperativ.....	53
Abb. 21	Tegner Score vor dem Unfall.....	54
Abb. 22	Tegner Score postoperativ.....	54
Abb. 23	Lysholm Score vor dem Unfall.....	56
Abb. 24	Lysholm Score postoperativ.....	56
Abb. 25	Marshall Score postoperative.....	58
Abb. 26	Knorpelschäden intraoperativ.....	61
Abb. 27	VKB-Rupturform.....	63
Abb. 28	Lokalisation VKB-Ruptur.....	63
Abb. 29	Bündelbeteiligung.....	63
Abb. 30	Tibialer Schraubenbruch mit intraartikulärer Lage, MRT 5 Mo. nach Primärversorgung DB anatomisch.....	66
Abb. 31	IKDC gesamt.....	71
Abb. 32	DB anatomisch-Messung nach Aglietti.....	74
Abb. 33	DB anatomisch-Messung nach Harner.....	74
Tab. 1	Patientenverteilung nach Geschlecht.....	23
Tab. 2	Nachbehandlungsschema.....	28
Tab. 3	Intervall Unfall-Operation.....	41
Tab. 4	Intervall Operation-Nachuntersuchung.....	41
Tab. 5	Seite der Verletzung.....	42
Tab. 6	Unfallmechanismus.....	42
Tab. 7	Rolimetertest prä- und postoperativ.....	51
Tab. 8	Lysholm Score-Subkriterien.....	57
Tab. 9	One leg hop Test postoperativ.....	58
Tab. 10	Voroperationen.....	59
Tab. 11	Begleitpathologien.....	59
Tab. 12	Meniskusschaden.....	60
Tab. 13	Meniskustherapie-insgesamt.....	60
Tab. 14	Komplikationen/ Revisionseingriffe.....	65
Tab. 15	Differenz Muskelumfang.....	66
Tab. 16	IKDC-Kniefunktion subjektiv.....	68
Tab. 17	IKDC-Aktivitätslevel.....	68
Tab. 18	IKDC-Fehlen von Symptomen.....	69
Tab. 19	IKDC-Extension/Flexion postoperativ.....	69
Tab. 20	IKDC-Anschlag.....	70
Tab. 21	IKDC-Gruppenqualifikation gesamt.....	70

Tab. 22 IKDC-Kompartimentbefunde.....	71
Tab. 23 IKDC-Transplantatentnahmemorbidität.....	72
Tab. 24 IKDC-Röntgenbefunde.....	72
Tab. 25 Röntgenbildbeurteilung-Lage Bohrkanäle.....	73
Tab. 26 Buttonabstand zur Kortikalis.....	75
Tab. 27 Zusammenhang Scores und Begleitpathologien.....	77
Tab. 28 Zusammenhang Scores und Buttonlage zur Kortikalis.....	79
Tab. 29 Zusammenhang aller Scores und Bohrkanallage.....	80

B. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	= Abbildung
AM	= antero-medial
AL	= antero-lateral
a.p.	= anterior-posterior
ca.	= zirka
CT	= Computertomographie
div.	= diverse
DB	= Double-Bundle-Technik
et al.	= und andere
G	= Gracilis
ggf.	= gegenfalls
HSL	= Hintere Schublade
K-Draht	= Kirschner Draht
KT 1000	= Knie Tensiometer 1000
L	= Länge
lat.	= lateral
med.	= medial
Ø	= Mittelwert statistisch
min.	= Minuten
Mo.	= Monat
MRT	= Magnetresonanztherapie
MTT	= Medizinische Trainingstherapie
PCS	= prospective comparative study
PL	= postero-lateral
POP	= P CL O riented P lacement
RCT	= randomized controlled trial
SB	= Single-Bundle-Technik
STT	= Semitendinosus
STT/G AM	= Semitendinosus/Gracilis Single-Bundle-Technik AM Portal
STT/G TF	= Semitendinosus/Gracilis Single-Bundle-Technik TransFix AM
STT/G DB	= Semitendinosus/Gracilis Double-Bundle-Technik
Tab.	= Tabelle
TT	= transtibial
TP	= transportal
u.a.	= unter anderem
v.Chr.	= vor Christus
VSL	= Vordere Schublade

C. Abstrakt

Das Ziel dieser Studie ist der Vergleich des Outcomes dreier unterschiedlicher Operationstechniken zur Versorgung von Patienten mit vorderer Kreuzbandruptur in Relation zur Kniestabilität und unterschiedlichen Scores. Genutzt wurden der Lysholm Score, der IKDC-Evaluationsbogen (subjektiver und objektiver Teil), der Marshall Score, der Tegner Score, Pivot shift und Lachman Test und eine Untersuchung mit dem Rolimetertestgerät. Vervollständigt durch die radiologische Ausmessung der tibialen und femoralen Bohrkanallage. Alle ermittelten Daten wurden statistisch aufgearbeitet. Die Hypothese war, dass die anatomische Doppelbündelrekonstruktion die der anatomischen Einzelbündelversorgung überlegen ist. Es wurden dazu 78 Patienten, welche sich zwischen 2006 und 2010 einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion unterzogen hatten, untersucht. 25 Patienten unterzogen sich einer Versorgung mittel der TransFix AM-Technik, 28 Patienten unterzogen sich der anatomischen SB-Technik und 25 Patienten der DB-Technik. Die genutzten Hamstringssehnen wurden femoral mit dem TransFix Pin oder einem Retrobutton fixiert, tibial erfolgte eine Fixation mit bioabsorbierbaren Interferenzschrauben. Die Zusammensetzung des Patientenalters liegt zwischen 13 und 71 Jahren, das Follow-up bewegt sich zwischen 67 und 113 Monaten.

Die Auswertung der Untersuchungen konnte keine wesentlichen statistischen Unterschiede zwischen den drei Gruppen darlegen. Zur Zeit sind viele unterschiedliche Techniken zur Rekonstruktion der vorderen Kreuzbandverletzung möglich, jedoch in der vorliegenden Studie ist keine Technik deutlich überlegen. Es empfiehlt sich ein individuelles Vorgehen unter Berücksichtigung aller patientenspezifischer Faktoren, um die optimale Wiederherstellung des VKB durchzuführen.

Abstract

The aim of this study is the comparison of clinical outcomes of three different techniques for reconstruction in patients with anterior cruciate ligament injury in relation to knee stability and different scores, using Lysholm score, International Knee Documentation Committee (IKDC) forms (subjective and objective parts), Marshall Score, Tegner score, Pivot shift test, Lachman test, and rolimeter control and the assessment of the X-rays with the placement of tibial and femoral tunnels. All results underwent a statistical analysis. The hypothesis was anatomic double-bundle ACL reconstruction is better than anatomic single-bundle reconstruction. A total number of 78 patients were evaluated with ACL reconstruction between 2006 till 2010. 25 patients underwent TransFix AM ACL replacement, 28 patients underwent anatomic single-bundle technique and 25 patients underwent anatomic double-bundle reconstruction surgery. The hamstrings tendon were fixed on the femoral site with TransFix pin or retrobutton and on the tibial site with a bioabsorbable interference screw. The patients age vary from 13 till 71 years. The follow-up ranging between 67 and 113 months. The evaluation revealed no essential significant difference between these three groups.

Today, many different techniques for reconstruction of the anterior cruciate ligament injury is available, whether none of the past reconstruction methods have shown to be superior to one another. All of them require individualized action between patient specific factors before the decision can be made of one of the possible ACL surgery.

1. Einleitung

1.1. Epidemiologische Daten

Aufgrund der Stellung des Kniegelenkes und einer nicht vorhandenen knöchernen Führung ist dieses Gelenk häufig von Verletzungen betroffen. Andererseits sind bestimmte Sportarten deutlich häufiger ursächlich aufgrund der Anfälligkeit des Kniegelenkes bei Rotationsbewegungen.

Hierzulande rechnet man mit einer Inzidenz von ca. 0,3 auf 1000 Einwohner pro Jahr, das heißt Verletzungen des Kniegelenkes stellen bis zu 30 Prozent aller Verletzungen im Sport dar (80), wobei eine ansteigende Tendenz zu verzeichnen ist. Sportliche Betätigung wird in der heutigen Gesellschaft von einerseits immer jüngeren Menschen als auch deutlich älteren durchgeführt, wie beispielsweise Tennis, Squash oder Skifahren.

Eine höhere Forderung des Patienten an gestiegene Lebensqualität und Aktivität bedingen, dass ein gerissenes vorderes Kreuzband heute eher operativ versorgt wird als noch vor einigen Jahren.

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist eine der häufigsten Bandverletzungen des Kniegelenkes (151). Bei Bandverletzungen ist das vordere Kreuzband 5-10mal häufiger als das hintere Kreuzband beteiligt.

Verletzungen des vorderen Kreuzbandes verursachen hohe Kosten für die Gesundheitssysteme. Ihre Anzahl wird aufgrund der demografischen Veränderungen künftig weiter zunehmen, so dass die Bedeutung eines effizienten Versorgungsregimes steigt.

1.2. Kniebinnenproblematik

In den vergangenen Jahren wurde zunehmend der operative Ersatz des vorderen Kreuzbandes vorgenommen. Längerfristig hat die operative Therapie hinsichtlich des Stabilitätsgewinns bessere Ergebnisse (9, 37). Vor 20-25 Jahren war dieser Eingriff sehr invasiv und immer mit einer Arthrotomie verbunden, wobei dadurch die Zeit bis zur vollen Rekonvaleszenz und damit die Wiederaufnahme der Arbeit und ggf. die Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten deutlich verlängert war.

In den ersten Monaten nach Ruptur und Ersatz des vorderen Kreuzbandes ist immer ein Kraftverlust durch Atrophie der Knieextensoren und Knieflexoren zu verzeichnen, wobei eine Arthrotomie noch verstärkend wirkte (53, 117).

Trotz der sich ständig erhöhenden Anzahl der Kreuzbandverletzungen und damit der stetig steigenden Zahlen an VKB-Ersatzplastiken nach primärer Ruptur muss man auch diejenigen Patienten erwähnen, welche trotz konservativer Behandlung der Verletzung eine subjektive Zufriedenheit haben. Davon ungeachtet folgen aufgrund der vergrößerten Instabilität innerhalb des Kniegelenkes eine hohe Anzahl von sekundären Meniskusläsionen. Diese finden sich nach einem Jahr bei 40%, nach fünf Jahren bei 60% und nach 10 Jahren eine 80% (84). Allerdings sind diese Veränderungen immer in Abhängigkeit zur Aktivität des Patienten zu betrachten.

Bei der Entstehung der Osteoarthrose ist die Meniskusläsion als ein prädisponierender Faktor anzusehen. Neumann et al. (103) zeigten in ihrer Studie, dass bei Veränderungen des Kniegelenkes, wie Osteoarthrose, zum Erhalt der Kniefunktion und Prävention der Arthrose eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erforderlich gewesen wäre. Jedoch ist die posttraumatische Osteoarthrose ein multifaktorielles Geschehen, die Meniskektomie eine der Grundlagen.

Zum anderen wurde nachgewiesen, dass frühe modifizierte Aktivitäten und neuromuskuläre Knierehabilitationen die Prävalenz radiologischer Zeichen einer Osteoarthrose verringern.

Es existieren unterschiedliche Einteilungen von Patienten mit VKB-Ruptur, u.a. die Einteilung in Copers und Non-Copers (70). Bei beiden liegt eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes vor. Copers erreichen ein stabiles Kniegelenk und eine vollständige sportliche Aktivität ohne chirurgische Intervention. Non-Copers weisen regelmäßige Giving-way-Episoden auf, ihnen ist es unmöglich, in jenes sportliche Level, welches vor dem Unfall bestand, zurückzukehren. Untersuchungen zeigten, dass Copers und Non-Copers unterschiedliche Gangbilder entwickeln (6).

Nach Fu und Schulte 1996 (38) sollte beim Vorhandensein folgender Kriterien eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durchgeführt werden: junger aktiver Patient, der das gleiche Aktivitätsniveau wie vor der Verletzung anstrebt, Patient mit funktioneller Instabilität im täglichen Leben, VKB-Ruptur in Kombination mit reparierbarer Meniskusverletzung, Kombinationsverletzung mit mindestens einer weiteren großen Bandstruktur (höhergradige Innenband- und Außenbandverletzungen sowie Rupturen des hinteren Kreuzbandes und postero-

laterale Läsionen). Diese Kriterien sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht mehr in dieser Form gegeben, lediglich begrenzen medizinische Kontraindikationen eine mögliche Rekonstruktion. Auch eine Altersgrenze ist nicht mehr vorgegeben (19). Sollte das entsprechende Kniegelenk sogar einen degenerativen Vorschaden aufweisen, spricht dies ebenso nicht gegen eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (118, 143).

Unabhängig vom therapeutischen Vorgehen ist in den ersten Monaten nach Verletzung des vorderen Kreuzbandes und derem erfolgten Ersatz ein Kraftverlust aufgrund der sich entwickelten Muskelatrophie nachweisbar (30, 74). Diese führt unweigerlich zur Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Ausdauer.

2. Anatomie des vorderen Kreuzbandapparates

Betrachtet man ein Kniegelenk von der rein mechanischen Seite, weist es mehrere Freiheitsgrade um die jeweilige Achse auf. Als erste zu nennen ist die Extension und Flexion, die Achse durch die Femurkondylen (quere Achse) als auch die AP-Translation, Innen- und Außenrotation um die Achse parallel zur Tibia (Drehachse), als auch eine geringe Ab- und Adduktion um die Längsachse zwischen den Femurkondylen (13).

Das Kniegelenk führt eine Roll-Gleitbewegung durch. Bei einer Flexion bis ca. 30° rollen die Gelenkflächen aufeinander, ab ca. 30° nimmt das Gleiten deutlich zu, insgesamt also eine vorhandene Kombinationsbewegung von Rollen und Gleiten und ist ab 60° die dominierende Bewegungsform.

Durch die Rollbewegung unterliegt das Gelenk einer AP-Translation (101).

Die anteriore Translation wird zum größten Teil durch das intakte vordere Kreuzband gemindert (28, 43, 75, 131). Würde lediglich das Femur eine Gleitbewegung auf dem Tibiaplateau vornehmen, behielte dieses seine anteriore Stellung und limitiere damit das Bewegungsausmaß des Gelenkes in Flexion.

Das vordere Kreuzband hat seinen Ursprung in der Fossa intercondylaris am dorsalen Bereich der Innenseite des lateralen Femurkondylus und zieht zur Area intercondylaris anterior tibiae, liegend vor dem Ansatz des Vorderhorns des Meniscus lateralis (134).

Histologische Untersuchungen wiesen nach, dass Synovialgewebe den größeren Teil des Footprints ausmacht (67). Es imponiert wie eine flache Struktur, bandähnlich (36). In den 80er Jahren eruierte man, dass die tibiale Insertionsstelle eine ovale Form besitzt, mit einem Längsdurchmesser von 18mm und einem Querdurchmesser von 11mm (106). Im zeitlichen Verlauf fanden Forscher heraus, dass der tibiale Footprint halbmondförmig ist (67) und im Mittel eine Länge von 14-29,3mm aufweist (79). Aufgrund des anatomischen Faserverlaufs und des jeweiligen Spannungszustandes werden zwei Hauptbündel unterschieden, wobei der Name aus der Insertionsstelle tibial begründet ist, das heißt das posterolaterale Bündel inseriert in der Nähe des hinteren Kreuzbandes im posterolateralen Ansatzgebiet des vorderen Kreuzbandes, das antero-mediale Bündel inseriert im Bereich des Vorderhorns des Außenmeniskus im antero-medialen Ansatzgebiet des vorderen Kreuzbandes (43, 45).

Aus diesen unterschiedlichen Faserverläufen resultiert ein unterschiedliches Spannungs-/Dehnungsverhalten während der vollständigen Extension hin bis zur vollen Flexion (4). Sakane et al. (115) berichten über ein zunehmendes Spannungsverhalten des PL-Bündels in extensionsnaher Stellung, die Anspannung des AM-Bündels weist seinen Höhepunkt in Flexionsstellung nach. In Flexionsstellung verhindert hauptsächlich das AM-Bündel eine vordere Schublade, das postero-laterale Bündel jedoch in Extensionsstellung. Beide Bündel verwringen sich während des Extensions-, Flexionsvorganges. In Extension liegt das vordere Kreuzband dem Dach der Fossa intercondylaris an, mit folgender zunehmender Beugung nimmt die Verwringung zu und gleicht damit die Spannungsunterschiede der einzelnen Anteile aus. Es gibt weiterhin Autoren, die das vordere Kreuzband nicht nur in zwei sondern in drei Bündel unterteilen: das antero-mediale Bündel in ein mediales und ein laterales Bündel, das postero-laterale Bündel als postero-laterales Bündel (41).

Die freie Länge des vorderen Kreuzbandes wird mit 31 bis 38 mm angegeben (87). Der Querschnitt des vorderen Kreuzbandes variiert von 7-17mm, das Mittel liegt bei 11mm (46). Der Querschnittsflächenmittelwert beträgt bei Frauen 36mm² und bei Männern 47mm² (8, 46).

Das vordere Kreuzband besteht grundsätzlich aus Bindegewebszellen (Fibrozyten, Fibroblasten) und extrazellulärer Matrix. Für die Zugfestigkeit ist das Kollagen verantwortlich, wobei das den Hauptanteil des Trockengewichtes ausmacht (70-80%). Das vordere Kreuzband besteht zum größten Teil aus Typ-I-Kollagenfasern (ca. 95%) und Subtypen Typ-III und Typ-V-Kollagen (beide gemeinsam ca. 5%) (46, 66). Die Kollagenfasern setzen sich aus Fibrillen zusammen, welche die kleinsten strukturellen Elemente sind (Durchmesser 30-175nm). Diese bilden Fibrillenbündel (1-20µm) und wird dann als Kollagenfaser bezeichnet (7). Proteoglykane (ca. 1% des Trockengewichtes), welche aus Glykosaminoglykanen und einem Proteinanteil bestehen, haben reduced and non-reduced cross links mit den Kollagenfibrillen und sind für die Belastbarkeit mitverantwortlich. Die funktionelle Bedeutung des Elastin (Elastinanteil ca. 5% des Trockengewichtes) ist unklar (7).

Das vordere Kreuzband wird überwiegend aus der Arteria genus media versorgt, welche aus der Arteria poplitea in Höhe der proximalen Anteile der Femurkondylen entspringt. Der distalere Anteil wird von den Arteriae genus inferiores versorgt

(111). In der das Kreuzband von ventral bedeckenden Synovialmembran bilden die Gefäße ein periligamentäres Netzgeflecht. Gefäßäste dringen horizontal in das vordere Kreuzband ein und sind an der Bildung endoligamentärer Gefäßgeflechte beteiligt. Die innerhalb des vorderen Kreuzbandes liegenden Gefäße verlaufen parallel zum Faserverlauf (112).

Relativ avaskuläre Zonen existieren im Bereich der Insertionszonen und der Faserknorpelzone im vorderen Anteil des distalen Drittels des vorderen Kreuzbandes. In voller Extension drückt sich, wie oben bereits erwähnt, das vordere Kreuzband an das Dach der Fossa intercondylaris. So dass durch eine ständige Druck- und Zugbelastung in diesem Bereich die synoviale Abdeckung durch eine Faserknorpelzone ersetzt wurde (111).

Die nervale Versorgung des vorderen Kreuzbandes erfolgt aus dem Nervus tibialis, wobei auch hier ein Verlauf ähnlich der arteriellen Versorgung vorliegt (11, 29). Die Nervenäste durchdringen die Gelenkkapsel ebenfalls von dorsal. Auch nach ihrem Beschreiber benannten nervale Strukturen wie Ruffini-Körperchen, Vater-Pacini-Körperchen als auch frei endende Nervenfasern sind dem vorderen Kreuzband angelagert (114, 155). Diesen Mechanorezeptoren wird eine propriozeptive Funktion zugeschrieben, die das vordere Kreuzband bei entsprechender Überbelastung vor Verletzung schützen soll. Grüber et al. (51) wies erstmals einen Reflexbogen nach, der eine Verbindung des vorderen Kreuzbandes und der ischiokruralen Muskulatur elektrophysiologisch darstellt.

3. Historie / Entwicklung der Versorgungstechniken

Die Kreuzbänder finden bereits in der Antike erste Erwähnung. Es lassen sich genaue anatomische Beschreibungen finden. Ein Zusammenhang zwischen Gelenkstabilität und Bandfunktion wurde von Hippokrates (460-370 v. Chr.) vermutet (108). Claudius Galen von Pergamon (199-129 v. Chr.) benannte die beiden Bänder Ligamenta genu cruciata, beschrieb deren Anatomie als auch seine damit verbundene stabilisatorische Funktion.

Nach Verstreichen doch recht langer Zeit wurde eine Arbeit der Gebrüder Weber aus Göttingen aus dem Jahr 1836 über eine genauere Biomechanik des Kniegelenkes unter Berücksichtigung des Roll- und Gleitmechanismus, der variablen Spannung und über die Bedeutung der Kreuzbänder bei der Stabilität dargelegt (140).

Robert Adams beschrieb den ersten klinischen Fall einer vorderen Kreuzbandruptur 1837 (2).

Aus dem Jahre 1850 wurde eine diagnostizierte Kreuzbandverletzung durch Gipsruhigstellung therapiert und folgend nur eine geringe Restbehinderung beschrieben (Stark 1850).

Erste operative Maßnahmen zur Wiederherstellung des Kreuzbandapparates wurden um 1900 vorgenommen. Mayo-Robson führte 1895 eine Kreuzbandnaht durch (93), die Veröffentlichung erfolgte 1903. Battle (12) beschrieb 1900 erstmalig eine Kreuzbandnaht, welche er 1898 durchgeführt hatte.

Allerdings stellte bereits Jones (69) im Jahr 1916 eine nicht befriedigende Versorgung des rupturierten Kreuzbandes fest, so dass die zuvor erfolgte Naht als nicht sinnvoll erachtet wurde. Die Kreuzbandruptur wurde trotz dieser Erkenntnis weiterhin mittels Naht versorgt.

Feagin und Curl (34) wiesen 1976 in ihrer Studie nach, dass bei 94% der operierten Kreuzbänder (Versorgung durch Naht, Nachuntersuchung fünf Jahre postoperativ) eine Instabilität wieder vorlag und bestätigten die durch Jones bereits 1916 getätigte Feststellung. 1917 wurde durch Hey-Groves die erste VKB-Ersatzplastik mit Fascia lata Streifen vorgenommen (56).

Im Jahr 1950 wurden von Lindemann (86) Untersuchungsergebnisse veröffentlicht, welche die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durch die Semitendinosus- als auch die Grazilissehne darstellten.

Der Vorreiter der später folgenden Brückner Plastik (15) wurde von Jones (68) entwickelt. Hierbei erfolgte die Nutzung eines distal gestielten Transplantates des mittleren Drittels des Ligamentum patellae unter Mitnahme eines Knochenblockes in kompletter Länge der Patella. Allerdings wurde dieses unterhalb des Hoffa Fettkörpers ohne tibialen Bohrkanal in den femoralen Bohrkanal gesetzt. Durch die unzureichende Länge dieser Plastik war weiterhin eine anatomische Rekonstruktion nicht gegeben.

Bei der Brückner Plastik (15) wurde ein freier mittlerer Patellarsehnenstreifen mit proximalen Knochenblock durch einen tibialen Bohrkanal durch das Gelenk in den entsprechenden femoralen Bohrkanal eingesetzt, teilweise mit zusätzlichem Knochenblock tibial.

Dandy führte 1980 die erste arthroskopisch assistierte Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durch (22).

Anfang der 80er Jahre erfolgte von Mott (99) erstmalig eine Beschreibung einer Zweibündel-Technik zur Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur in Anlehnung an die unterschiedliche Bündelanatomie des vorderen Kreuzbandes.

Die Weiterentwicklung der Operationstechniken erfolgte in unterschiedlichen Ansätzen. Genannt seien hier letztendlich die anatomische und nichtanatomische Einbündel- und Doppelbündelrekonstruktion, diese ebenfalls in Dreikanal- und Vierkanaltechniken.

Nicht nur die diversen Operationsverfahren sondern auch die genutzten Ersatzmaterialien durchliefen einen enormen Wandel. Anfänglich wurde eine primäre Bandnaht mittels Catgut (48) durchgeführt. Die Ergebnisse waren nicht zufriedenstellend. Es folgten synthetische Materialien wie Seidenfäden, welche mit Quecksilberoxycyanidlösung vorbehandelt waren (81), Nutzung von Kohlefaserbändern (23), Implantation von Kreuzbandprothesen wie Gore-Tex und Treviera.

Die Einführung der Kennedy Ligament Augmentation Device (Kennedy LAD; 3M, St.Paul, MN, USA) war eine wichtige Veränderung in der Geschichte der synthetischen Transplantate (83). Es enthielt ein 8mm Polypropylenband mit einer Zugfestigkeit von 1730 N und einer Steifheit von 56N/mm (96). Dies wurde in Ergänzung zur autologen vorderen Kreuzbandrekonstruktion oder nach primärer vorderer Kreuzbandrekonstruktion implantiert. Es wurde zum Schutz des vorderen Kreuzbandes oder des autologen Transplantates benutzt. Jedoch ist sein

mechanisches Profil schlechter als andere synthetische Bänder. In diesem chirurgischen Vorgehen („Augmentation“), können unterschiedliche autologe Gewebe, wie Bone-Tendon-Bone Transplantat, Hamstrings und Tractus iliotibialis genutzt werden. Bei der Zusammenstellung haben synthetische Komponenten die Aufgabe des Lastträgers, welche zur Heilung des „Neoligaments“ und Schutz des biologischen Transplantates vor schädlicher frühzeitiger Last beitragen (83).

In den 80er Jahren wurden synthetische Bänder eine attraktive Alternative zu biologischen Transplantaten. Synthetische Implantate waren aus den unterschiedlichsten Materialien wie Carbonfaser, Polypropylene, Dacron und Polyester. Entweder wurden sie als Prothese benutzt oder zur Augmentation für ein biologisches vorderes Kreuzbandtransplantat. Trotzdem waren mit jedem Material Nachteile verbunden wie Infektionen, Immunreaktionen, Risse, durch Abrieb induzierte Synovitis, chronischer Gelenkerguss, wiederkehrende Instabilität und Arthrose des Kniegelenkes (83). Das verstärkte Interesse an synthetischen Prothesen war nur kurzfristig, da kein idealer synthetischer Bandersatz im Vergleich zum humanen Gewebe gefunden wurde (83).

Zeitgleich wurde die Nutzung autogener, allogener und xenogener Sehnen- und Bandtransplantate von Interesse, da keine der synthetischen Materialien den Anforderungen an eine Ersatzplastik hinsichtlich der Komplexität des Bewegungsablaufes und der damit verbundenen Belastungsschwankungen gerecht wurde. Entsprechende Untersuchungen wurden 1988 von Koebe (76) dargestellt.

Bei der Transplantatwahl fällt die Entscheidung derzeit zu Gunsten von biologischen Transplantaten wie Bone-Tendon-Bone oder den Hamstringsehnen oder auch der Quadrizepssehne (27, 57) aus. Der Vollständigkeit halber werden auch allogene Transplantate als Primär- oder Revisionstransplantat eingesetzt, diese spielen klinisch eine untergeordnete Rolle. Nachteile sind lange Umbauzeiten, biomechanische Schwäche und potentielle Infektionsgefahr (83).

Ein weiteres Augenmerk wird auf die Fixationsmöglichkeiten des vorderen Kreuzbandes gerichtet, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Kniestabilität haben. Man unterscheidet dabei gelenkferne, nichtanatomische Fixation, gelenknahe, anatomische Fixation und die Zwischenstufe als semianatomische Fixation (141). Strobel und Zantop unterscheiden direkte extrakortikale (direkte Fixation am Knochen), indirekte extrakortikale (indirekte Fixation durch „linkage

material“), semigelenknahe (Verankerung innerhalb des Tunnels) und die gelenknahe Fixation („aperture fixation“) in Gelenkspalthöhe bzw. im gelenknahen Bohrkanal (125).

Auch die Operationstechniken wurden im Laufe der Zeit verändert. Der femorale Bohrkanal wird in zwei aktuellen Techniken angelegt – transtibial und über das antero-mediale Arthroskopieportal.

Zum jetzigen Zeitpunkt werden die meisten Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes arthroskopisch vorwiegend in Ein-Bündel-Technik als auch in Zwei-Bündel-Technik vorgenommen. Bei der Ein-Bündel-Technik wird das Transplantat durch einen Tunnel im Femur und durch einen Tunnel in der Tibia fixiert (124). Jedoch kann die Ein-Bündel-Technik nur eine anatomische Kompromisslösung sein und nicht die komplexe Bündelarchitektur des vorderen Kreuzbandes ersetzen (148).

Zur Vervollständigung wird die roboterassistierte und navigierte Kreuzbandchirurgie erwähnt, welche sich nicht durchsetzen konnte. Meuffel et al. fand heraus, dass die Tunnel bei der computerassistierten Operation nicht besser als bei der manuellen Methode platziert wurden (97). Zum gleichen Resultat führten die Untersuchungen von Ikuta et al. (62). Cheng et al. (16) verglichen ebenfalls klinische Resultate der computerassistierten und der manuellen Rekonstruktion ohne wesentliche klinische Unterschiede. Allerdings wies er nach, dass die Tunnelplatzierung mittels navigierter Operation korrekter ist, aber diese Prozedur die Operationszeit um 8-14 Minuten erhöht.

4. Aktuelle Konzepte der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Es gibt derzeit die unterschiedlichsten Rekonstruktionstechniken. Die Wiederherstellung der Primärstabilität ist die gemeinsame Zielstellung. Bereits 2001 schrieben Fu und Musahl (39) in einem Review Artikel über mehr als 20 unterschiedliche chirurgische Techniken, mit mehr als fünf unterschiedlichen Transplantaten und diversen möglichen Fixationsarten.

Um den physiologischen Bewegungsablauf des Kniegelenkes möglichst gut realisieren zu können, bedarf es eine soweit wie möglich anatomiegerechte vordere Kreuzbandplastik. Das bedeutet, dass der Tunnelpositionierung für das Transplantat eine zentrale Rolle zukommt. Die meisten Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes werden derzeit in Single-Bundle-Technik vorgenommen. Bei dieser Technik wird lediglich ein Bündel der anatomischen zwei Bündel des vorderen Kreuzbandes ersetzt. Nach derzeitigem Wissenstand von Anatomie und Biomechanik besitzen beide Bündel unterschiedliche Funktionen und Bedeutung, so dass diese Rekonstruktionsmethode ein Kompromiss darstellt und nicht die natürliche Anatomie wiederherstellen kann (21, 65, 120, 146). Bei der Technik wird das Transplantat in einem Tunnel von Femur und Tibia fixiert.

Wie bekannt, ist der femorale Bereich kein Insertionspunkt, sondern eine ovale bis halbmondförmige Insertionszone, die in Abhängigkeit von der Körpergröße variiert. Der Längsdurchmesser der femoralen Insertionszone ist abhängig vom Grad der Beugung, wobei dieser in 90° Flexion eine horizontale Lage besitzt, in vollständiger Extension eine vertikale Stellung hat. Die Linea intercondylaris und die Knorpel-Knochengrenze begrenzen die femorale Insertionszone. Die Position wird auch als „over the top“ Position beschrieben.

Die femorale Bohrkanalanlage kann derzeit in unterschiedlichen Techniken angelegt werden. Die transtibiale Technik wird heute nicht mehr empfohlen, da der femorale Bohrkanal von dem tibialen Bohrkanal abhängig ist und damit seine Lage nicht selbstbestimmend angelegt werden kann. Der resultierende femorale Kanal wird in der Regel zu steil bis hin zur nicht anatomischen „high noon“ Position fehlplatziert.

Die Outside-in- oder Inside-out Technik (transfemorale Bohrkanalanlage) erfordert eine zusätzliche laterale Inzision des Tractus iliotibialis. Die Bohrung erfolgt von

proximal lateral nach distal medial oder alternativ mit einem Retrodrill als Sackloch in das Femur. Es werden also femoraler und tibialer Tunnel unabhängig voneinander angelegt.

Bei der antero-medialen Portaltechnik erfolgt die femorale Bohrung durch das antero-mediale Portal. Trotz der Nachteile einer potenziellen Knorpelläsion am medialen Femurkondylus bei zu medialer Portallokalisation oder Läsion des Innenmeniskusvorderhorns wird diese Technik derzeit am häufigsten genutzt (95). Die Tunnelpositionierung femoral erfolgt im Zentrum der femoralen Insertionszone, um beiden Bündeln gerecht zu werden.

Die tibiale Tunnelpositionierung richtet sich ebenfalls nach dem tibialen Insertionsgebiet, welches eine halbmondförmige Fläche, resultierend aus den beiden Bündeln des vorderen Kreuzbandes, aufweist (36, 67). Bei der Single-Bundle-Rekonstruktion liegt der optimale Insertionspunkt zwischen hinterer Begrenzung Außenmeniskusvorderhorn und dem Beginn des hinteren Kreuzbandes, das heißt im Zentrum der Insertion. Auch bei der tibialen Bohrkanalanlage sind unterschiedliche OP-Techniken vorhanden. Da Ursprung und Insertion einen rund 3-fach größeren Querschnitt als die eigentliche Substanz des vorderen Kreuzbandes besitzen, ist nun bei größeren Insertionsarealen die Einzelbündelrekonstruktion lediglich ein Kompromiss hinsichtlich der Wiederherstellung der Anatomie des vorderen Kreuzbandes (153).

Um die Anatomie besser zu adressieren, entwickelte sich daraus die Doppelbündeltechnik, welche von Mott (99) 1983 zuerst beschrieben wurde. Die beiden funktionell unterschiedlich agierenden Bündel werden durch zwei unterschiedliche Transplantate ersetzt. Unabhängig von den ebenfalls unterschiedlichen Fixationsmethoden und der Transplantatwahl weist die Tunnelpositionierung femoral und tibial auch hier den zentralen Stellenwert auf. Bei der Doppelbündeltechnik besteht die Möglichkeit der Bohrkanalpositionierung in einer Dreikanaltechnik, das heißt zwei femorale und ein tibialer Kanal, als auch in einer Vierkanaltechnik mit jeweils femoral und tibial zwei Bohrkanälen. Die tibiale Insertionszone befindet sich zwischen medialer und lateraler Eminentia. Der Insertionsbereich des AM-Bündels ist die dorsale Begrenzung des Außenmeniskusvorderhorns, der des PL-Bündels wird dorsal durch den Vorderrand des hinteren Kreuzbandes festgelegt. Bei korrekter Lage beider Tunnel muss eine Knochenbrücke bestehen bleiben. Zur Positionierung der

beiden femoralen Bohrkanäle sind ein ausreichend großes Insertionsareal als auch gute Sichtverhältnisse in der Fossa erforderlich. Zur Lagebestimmung wurde in die Fossa intercondylaris ein Zifferblatt interpretiert. So wird bei einem rechten Kniegelenk die Lage des AM-Bündels bei 11:00 Uhr, die Lage des PL-Bündels bei 9:30 Uhr sowie für das linke Kniegelenk das AM-Bündel bei 1:00 Uhr, das PL-Bündel bei 2:30 Uhr definiert und empfohlen.

Weitere Studien zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes beschäftigen sich mit der „remnant preservation“ Technik. Mit dieser Technik sollen so viele Fasern des rupturierten vorderen Kreuzbandes erhalten werden wie möglich, damit die vorhandenen Mechanorezeptoren als auch die Gefäßversorgung der Reststrukturen die Einheilung des Sehnentransplantates positiv beeinflussen (55). Um ein Maximum an biomechanischer Funktion und klinischer Stabilität nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion zu erreichen, sollten die individuellen Insertionen des vorderen Kreuzbandes wieder hergestellt werden. Diese Vorgehensweise entspricht dem „concept of the complete footprint restoration“. Als Entscheidungshilfe zwischen der Einzelbündel- und der Doppelbündeltechnik dient die Fläche des Footprints, mit bis zu 14mm (small und intermediate) für die Einzelbündeltechnik, ab 15mm und mehr (intermediate und large) für die Doppelbündeltechnik (121). Zusammenfassend sind individuelle Besonderheiten, unterschiedliche chirurgische Techniken und Transplantate zu beachten (61, 116, 121).

Das vor Jahren noch empfohlene Ausschlusskriterium des höheren Alters (>40Jahre) zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes findet heute keine Anwendung mehr (113, 142). Sollten gleichzeitig zur Läsion/ Ruptur des vorderen Kreuzbandes eine symptomatische Osteoarthrose und Varusfehlstellung vorliegend sein, wird eine hohe tibiale Umstellungsosteotomie ein- oder zweizeitig dringend angeraten (113).

Ein weiteres Augenmerk muss auf den Operationszeitpunkt nach Verletzung gelegt werden. Eine frühzeitige Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, innerhalb der ersten acht Wochen, weist bessere Resultate in Bezug auf Kniekinematik und Funktion nach (104).

Im Vergleich zur früheren Auffassungen, die sportliche Aktivität bereits nach ca. 6 Monaten wieder aufzunehmen, besteht aktuell die Tendenz eher in einer größeren Zeitspanne bis zur Rückkehr zum Sport (50).

5. Biomechanische Untersuchungen

Wird ein humanes Ligament derart gedehnt, dass es die mögliche Kraft innerhalb der Fasern überschreitet, rupturiert es. Das entspricht dem Punkt der Reißkraft/-festigkeit. Die Steifigkeit eines Ligamentes ist mit deren Elastizität gleichzusetzen, das heißt der Zusammenhang von Spannung/Krafteinwirkung und Dehnung. Die Steifheit wird umso größer, je mehr Widerstand das Ligament der Verformung entgegenbringt (20).

Es konnte nachgewiesen werden, dass mit höherem Lebensalter eine geringere Reißkraft des vorderen Kreuzbandes vorliegt. In einem Alter von 22-35 Jahren besteht eine mittlere dynamische Reißfestigkeit von 2160 N (\pm 157N), in einem Alter zwischen 40- 50 Jahren bei 1503N (\pm 83N) und ab dem 60. Lebensjahr 658 N (\pm 129N) (145).

Andere Autoren konnten ähnliche Reißfestigkeiten des vorderen Kreuzbandes nachweisen, Engebretsen et al. 1725N (32), Noyes et al. 1725N (\pm 269N) (105).

Nach Woo et al. (145) beträgt die lineare Steifigkeit für das VKB 242 N/mm.

Suggs et al. untersuchte den Effekt der Transplantatsteifheit nach VKB-Rekonstruktion (VKB, BPTB 10mm, BPTB 14mm) als 3D-Computersimulation und konnte nachweisen, dass die Transplantatsteifheit einen direkten Einfluss auf die Kniebiomechanik besitzt, das heißt das Transplantat die strukturelle Steifheit beibehält und die Kinematik wiederhergestellt ist (126).

Gradikota et al. (49) untersuchte im Rahmen biomechanischer Studien die erreichte Stabilität (anterior, antero-posterior und Rotation) nach erfolgter Single-Bundle- und Double-Bundle-Versorgung. Die Analyse basierte auf definierten Kriterien von sieben in vitro und drei in vivo Studien. Die Hauptunterschiede der antero-posterioren Laxität basierten auf dem unterschiedlichen Flexionsgrad bei der Rekonstruktion (0°, 30°, 60° und 90°), wobei insgesamt die geringste Translation bei einem Beugegrad von 90° auftrat unabhängig von der Doppel- bzw. Einzelbündelversorgung. Zwischen neun Studien, welche die Rotationslaxität verglichen, berichteten vier davon, dass die Double-Bundle-Versorgung eine bessere Rotationskontrolle bietet. Die anderen fünf Studien konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Rekonstruktionsmethoden hinsichtlich der Rotationstabilität nachweisen.

In einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2010 von Kondo et al. (77) wurden biomechanische Vergleiche der Kniestabilität nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion zwischen Single-Bundle- (transtibial) und Double-Bundle-Technik auf a.p.-Translation, Rotationsstabilität und Pivot shift untersucht. Für diese kontrollierte Laborstudie wurden 8 Kadaverknie in sechs Freiheitsgraden und unterschiedlichen Lastbedingungen (90 N antero-tibial, 5 Nm interne und externe tibiale Rotation, simulierter Pivot shift) getestet. Es zeigte sich bei der anatomischen Doppelbündelversorgung eine signifikante Reduktion der Laxität bei Translation und Innenrotation in zwei genutzten statischen Tests und beim Pivot shift Test im Vergleich zur Einzelbündelversorgung.

In der von Kopf et al. (78) veröffentlichten Studie wird nachgewiesen, dass die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbades mit der transtibialen Methode versagt, da die korrekte Position des tibialen und femoralen Tunnels nicht zu erreichen ist.

6. Klinische Studien

Das Hauptaugenmerk der folgend aufgeführten Studien und Datenauswertungen liegt in der Auswertung von erreichter Stabilität nach erfolgter Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in SB- und DB-Technik.

72 Patienten wurden im Rahmen einer prospektiven vergleichenden Studie von Yasuda et al. (147) untersucht. Hierbei wurde eine Einteilung der zu Untersuchenden in drei Gruppen vorgenommen: erstens SB-Rekonstruktionstechnik, zweitens nichtanatomische DB-Technik, drittens anatomische DB-Technik. Die statistische Analyse zeigt einen signifikanten Unterschied in der Laxität zwischen den drei Gruppen. Am geringsten war diese bei der anatomischen DB-Technik, gefolgt von der SB-Technik. Zwischen anatomischer und nichtanatomischer DB-Technik gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Ergebnisse des Pivot shift Test der DB-Gruppe war deutlich der SB-Gruppe überlegen. Es lagen keine signifikanten Unterschiede in der Translation, Muskelkraft und im IKDC Evaluationsbogen vor, so dass hier von einer Überlegenheit der DB-Technik für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes auf der Basis der KT-2000 Untersuchung und im Seitenvergleich der Laxität ausgegangen werden muss.

Die prospektiv randomisierte Studie von Muneta et al. (100) wies nach, dass unter den Gegebenheiten einer vierfachen Semitendinosus-Rekonstruktion in DB-Technik bessere Ergebnisse in Bezug auf Translation und Rotationsstabilität zu objektivieren waren, jedoch sind keine ausreichenden subjektiven Unterschiede erkennbar.

Aglietti et al. (5) verglich beide Versorgungsmöglichkeiten in einer Studie von 2007 mit 75 Probanden (25 Probanden in SB-Technik mit einem transtibialen Kanal, 25 Probanden in DB-Technik mit einem Kanal transtibial, femoral zweien, 25 Probanden in DB-Technik im Outside-in Verfahren mit zwei Inzisionen). Im Ergebnis zeigten sich in der letzten Gruppe weniger Patienten mit einem positiven Pivot shift als in der erstgenannten Versorgungsgruppe. Die DB-Gruppe in Outside-in Technik mit zwei Inzisionen verbesserte die a.p.-Stabilität und verringerte den Pivot shift. Der subjektive IKDC zeigte deutlich bessere Resultate in der DB-Versorgung.

Järvela et al. (64) untersuchte in einer prospektiv randomisierten Studie mit zwei Jahresergebnissen die Rotationsstabilität bei DB- und SB-Technik versorgten Patienten. In dieser Studie wurden 77 Patienten in drei Gruppen hinsichtlich der Versorgungsmethode unterteilt, wobei erstens die DB-Technik mit bioabsorbierbarer Interferenzschraube, zweitens SB-Technik mit bioabsorbierbarer Interferenzschraube, drittens SB-Technik mit Metallschraubenverankerung operiert wurden. Die folgende Untersuchung wurde mit dem KT-1000 Arthrometer, dem IKDC als auch dem Lysholm Score ausgewertet. Auch in dieser Studie konnte das Ergebnis einer besseren Rotationsstabilität zu Gunsten der Versorgung in DB-Technik erbracht werden.

In einer prospektiv randomisierten Studie von Streich et al. 2008 (124) erfolgte die Untersuchung von insgesamt 50 Patienten, welche in SB-Technik mit 4fach Semitendinosussehe und in DB-Technik mit 2fach Semitendinosussehe versorgt wurden. Es lagen keine signifikanten Unterschiede im Seitenvergleich der anterioren Translation, gemessen mit dem KT-1000, zwischen beiden untersuchten Gruppen vor. Auch im Ergebnis der Untersuchung des Pivot shift Tests als Parameter für die Rotationsstabilität gab es keine Differenzen. Ebenfalls wurden keine Unterschiede bei der Auswertung des Lysholm Scores und des IKDC Evaluationssystem gefunden (124).

In einer veröffentlichten Studie von Siebold et al. (119) 2011 erfolgte der Vergleich zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in SB- und DB-Technik und deren klinische Ergebnisse und manuelle Stabilitätstests. Untersucht wurden 64 Patienten in einer retrospektiven Matched pair Analyse. Die Untersuchungen bezogen sich auf IKDC subjektiv, CKS (Cincinnati knee score), KOOS (Knee and Osteoarthritis outcome score) und der VAS. Den objektiven Teil des IKDC (Stabilitätsmessung) erfolgte durch einen blinden Kollegen. Patienten mit zu vielen Variablen, welche das statistische Ergebnis zu stark beeinflusst hätten, wurden ausgeschlossen. Das Ergebnis wies für die subjektiven Scores (subjektiver IKDC und VAS) bei der DB-Gruppe ein besseres Outcome nach, als das SB-Vergleichskollektiv. Auch bei den Stabilitätstests wie der Lachman Test, der vordere Schubladentest und der Pivot shift Test war die Gruppe der Doppelbündelversorgung mit deutlich besseren Ergebnissen. Insgesamt hat die VKB-Rekonstruktion in DB-Technik ein besseres subjektives Outcome und auch eine bessere objektive Stabilität im Vergleich zur SB-Versorgung.

Suomalainen P. et al. (129) führte eine prospektiv randomisierte 5-Jahresstudie durch, welche die SB- versus DB-Technik bei der VKB-Rekonstruktion verglich. Den Gruppen lagen unterschiedliche Fixationen (30 x SB mit bioabsorbierbaren Schrauben=SBB, 30 x SB mit Metallschrauben=SBM, 30 x DB mit bioabsorbierbaren Schrauben) zu Grunde. Parameter wie klinische Untersuchung, IKDC, Lysholm Score, KT-1000, Röntgenkontrolle wurden zur Auswertung herangezogen. Aufgrund eines Transplantatversagens mussten sich 11 Patienten (7 SBB, 3 SBM, 1 DB) einer chirurgischen Revision unterziehen. Von den letztendlich 90 Patienten wurden 65 in die Studie zur Untersuchung einbezogen (21 SBB, 24 SBM, 20 DB). Nach 5 Jahren konnten keinerlei signifikante Unterschiede beim Pivot shift und KT-1000 getestet werden. 20% der DB-Gruppe wiesen eine Osteoarthrose im medialen femoro-tibialen Kompartiment und 10% im lateralen auf, bei der SB-Gruppe 33 bzw. 18%, allerdings ohne signifikanten Unterschied. Auch bei den Kniescores konnten keine Signifikanzen gefunden werden. Lediglich die Untersuchung auf Transplantatversagen weist eine geringere Rate bei der DB-Gruppe nach.

Die Arbeitsgruppe um Tiamklang (135) wies Insuffizienzen beim Nachweis der relativen Effektivität der DB- und der SB-Versorgung bei der VKB-Ruptur beim Erwachsenen nach, jedoch eingeschränkt auf den Nachweis, dass DB bessere Resultate bei objektiven Untersuchungen der Kniestabilität und dem Schutz vor einer erneuten VKB-Ruptur oder neuer Meniskusverletzungen bietet.

Auf dem 28. AGA - Kongress 2011 in Regensburg stellten Achtnich et al. (1) eine Metaanalyse prospektiver Studien zum klinischen Vergleich der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nach Ruptur in Einzelbündel- und Doppelbündeltechnik vor. Neun Studien flossen in die Auswertung ein. Wie bereits in vorbeschriebenen Untersuchungen wurde die DB-Rekonstruktion hinsichtlich der AP-Stabilität in 5 Studien (Messung mittels KT-1000 Arthrometer) und die interessantere Rotationsstabilität in sechs Studien als signifikant bessere Versorgungstechnik dargestellt. Allerdings konnte in keiner Studie ein Unterschied in den klinischen subjektiven Scores dargestellt werden.

Petersen und Zantop (110) verglichen die DB- und SB-Rekonstruktionstechniken anhand von 11 prospektiven Studien, wobei in drei Studien kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die anteriore Translation (Messung KT 1000 Arthrometer) und der Rotationsstabilität (Erfassung durch Pivot shift Test)

bestand. Allerdings wurde in zwei dieser Studien eine nichtanatomische transtibiale Technik verwandt. Die Autoren kommen letztendlich zu der Auffassung, dass eine überwiegende Anzahl der im Labor ermittelten biomechanischen Vorteile der DB-Technik bestätigt werden konnten. Allerdings seien die Unterschiede beider Techniken so gering, dass sie die anatomische Einzelbündeltechnik derzeit als die Methode der Wahl betrachten.

2013 veröffentlichten Mai Xu et al. (90) die Ergebnisse im Rahmen einer Metaanalyse von 19 randomisierten Untersuchungen in Bezug auf die Wiederherstellung des vorderen Kreuzbandes in Einzel- und Doppelbündeltechnik. In objektiven Scores wurde insgesamt eine deutlich bessere Stabilität in a.p. Translation und bei Rotation gefunden, jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede in den subjektiven Scores wie Tegner, Lysholm und IKDC nachgewiesen werden.

Die Beeinflussung des funktionalen Ergebnisses und damit die Rückkehr in sportliche Aktivitäten durch die femorale Tunnelpositionierung untersuchte Fernandes et al. (35). Die anatomische und nichtanatomische Positionierung wurde in einer prospektiven Studie zwischen antero-medialem Footprint und hoher antero-medialer Positionierung betrachtet. Untersuchungsparameter waren IKDC (objektiv und subjektiv), Tegner- und Lysholm-Score, Rückkehr in den Sport und Komplikationen in einem 6- und 12-Monats-follow-up. Allerdings wurden in dieser Studie als Autograft einerseits Hamstrings und andererseits BPTB jeweils in SB-Technik transtibial genutzt. Femoral variierten die Tunnel durch eine entsprechende Lage im regulären Footprint (anatomisch) bzw. die hohe AM Position (nicht anatomisch). Die Studie gibt zu erkennen, dass zwischen anatomischer Tunnelpositionierung und Positionierung entlang der Blumensaat Linie Unterschiede vorliegend sind und die anatomische Lage des femoralen Tunnels eine schnellere Rückkehr zum Sport –Tegner Level vor dem Unfall - ermöglicht.

Eine prospektiv randomisierte Studie nach anatomischer SB- und DB-Rekonstruktion von Zeman et al. 2014 wies eine signifikant bessere Wiederherstellung der Stabilität in a.p. Translation und Rotation nach Doppelbündelversorgung nach (154). Diverse andere Studien weisen ein gleiches Resultat nach (85, 92).

Wider den bisher aufgeführten Studien verglichen Karikis et al. in ihrer Studie die anatomische Doppelbündeltechnik mit der nichtanatomischen Einzelbündeltechnik und stellten hinsichtlich der Stabilität bei a.p.-Translation und Rotation keine wesentlichen Unterschiede fest (71).

Zur Verbesserung der Bohrkanalplatzierung bei der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in anatomischer Doppelbündeltechnik bzw. zur Identifizierung des anatomischen Footprints benutzten Tensho et al. (133) eine CT-basierte Navigationstechnik unter Nutzung von Bezugspunkten. Präoperativ wurden 10 Bezugspunkte auf der Haut um das Kniegelenk platziert und mit Hilfe der CT eingescannt, um dann letztendlich über ein entsprechendes Computersystem die korrekte Platzierung zu ermitteln. Intraoperativ wurden die Zielgeräte für die Bohrkanalplatzierung nunmehr navigiert ausgerichtet und mit den vorab ermittelten Werten abgeglichen. Postoperativ wurden die Tunnelpositionen mittels 3D-CT kontrolliert. Wesentliche Abweichungen bestanden nicht. Daraus ergibt sich die präoperative Möglichkeit der korrekten Bohrkanalplanung femoral und tibial.

Zusammenfassend existieren derzeit die unterschiedlichsten:

Transplantate	(Hamstrings, BPTB, Quadrizepssehne, Allografts)
Bündeltechniken	(Einzelbündeltechnik, Doppelbündeltechnik) (Zweikanal-, Dreikanal-, Vierkanaltechnik)
Tunnellagen	(anatomisch, nicht anatomisch)
Bohrtechniken	(antegrad, retrograd, re-entry, femoral, all-inside)
Fixationstechniken	(Button, Schraube, Transfixationssysteme, implantatfrei)
Operationszeitpunkt	(primär, primär-sekundär, spät sekundär)
Begleitverletzungen	(Meniskus-, Knorpelschäden)
Rehabilitation	(Intensität, Zeitdauer, return to sport)

so dass letztendlich vergleichende Aussagen vorliegender Studien mit derart vielen Variablen schwer und kaum möglich sind.

7. Wissenschaftliche Fragestellung und Nullhypothese dieser Studie

Der chirurgische Therapieansatz der vorderen Kreuzbandruptur rückt immer weiter in den Vordergrund, auch bei nicht stark sportlich engagierten Patienten. Während als Transplantat entweder Hamstringssehnen (STT und G oder STT allein) oder mittleres Drittel der Patellarsehne hauptsächlich genutzt werden, ist die Transplantationstechnik der Hamstrings nicht eindeutig auf die Nutzung einer Technik orientiert.

Im Rahmen dieser Studie wird dargestellt, ob ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes in Single-Bundle-Technik (femoral Retrobutton/ tibial bioabsorbierbare Interferenzschraube, SB), Single-Bundle-Technik (femoral TransFix AM/ tibial bioabsorbierbare Interferenzschraube, SB TransFix AM) und in Double-Bundle-Technik (Vierkanaltechnik mit femoral zweimal Retrobutton/ tibial zweimal bioabsorbierbare Interferenzschraube, DB) bestehen. Es sollen die erreichten postoperativen Ergebnisse mit den Kriterien Stabilität, insbesondere bei Rotation und Belastbarkeit des Kniegelenkes, Rückkehr in sportliche Aktivität, subjektive Zufriedenheit festgestellt werden sowie die erzielten Ergebnisse in Evaluationsblättern und Scores dargestellt bzw. verglichen werden. Es werden damit nicht nur die Ergebnisse der drei OP-Techniken überprüft, sondern die einzelnen Verfahren miteinander bewertet.

Des Weiteren wird während des vorbeschriebenen Zeitraumes die Anzahl der vorgenommenen Revisionsoperationen erneut in Abhängigkeit von der OP-Technik untersucht.

Anhand der in der Literatur publizierten Daten wurde folgende Nullhypothese definiert:

Die Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur in Double-Bundle-Technik mit einem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Vierkanaltechnik ist subjektiv und klinisch den alternativ eingesetzten Single-Bundle-Techniken nicht überlegen.

8. Material und Methoden

8.1. Untersuchte Patientenpopulation

Im Rahmen dieser Studie wurden 78 Patienten untersucht, welche in folgende Gruppen eingeteilt wurden:

1) STT/G-4-fach Gruppe TransFix (n= 25): **TransFix AM = Gruppe 1**

VKB-Plastik mit Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Single-Bundle-Technik femoral mit TransFix AM und tibial mit bioabsorbierbarer Schraube.

2) STT/G-4-fach Gruppe AM (n= 28): **SB anatomisch = Gruppe 2**

VKB-Plastik mit Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Single-Bundle-Technik femoral mit Retrobutton (AM-Portal) und tibial mit bioabsorbierbarer Schraube.

3) STT/G-4-fach Gruppe DB (n= 25): **DB anatomisch = Gruppe 3**

VKB-Plastik mit Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Double-Bundle-Vierkanaltechnik femoral mit 2x Retrobutton und tibial 2x bioabsorbierbarer Schraube.

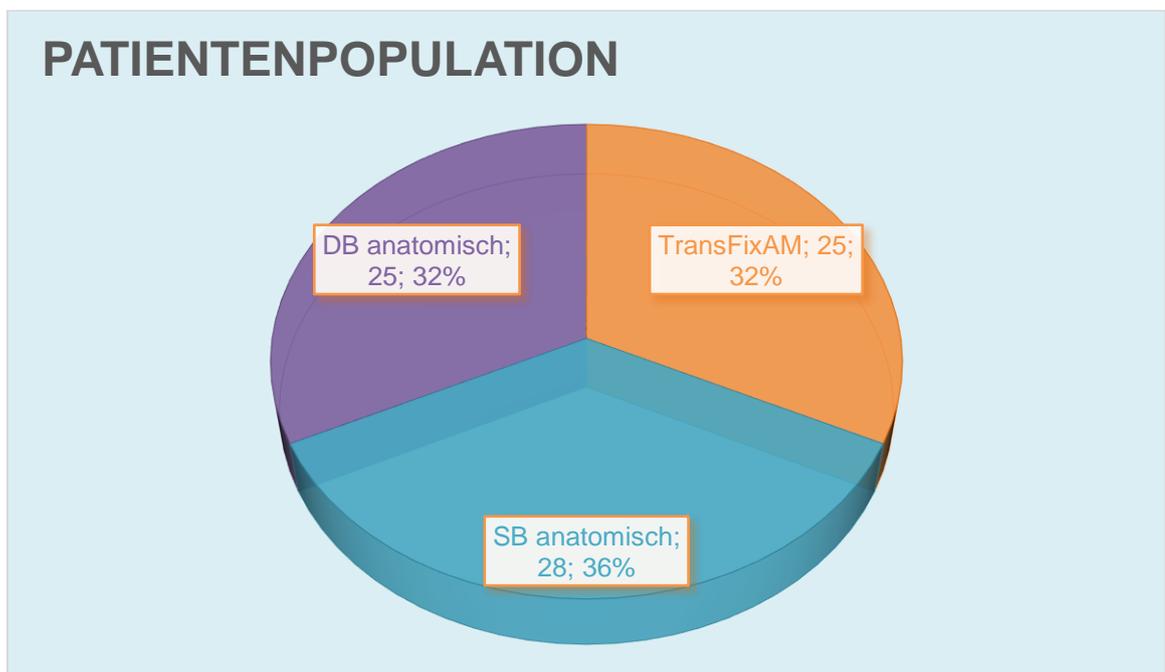


Abb. 1: Patientenpopulation Gruppe 1 TransFix AM, Gruppe 2 SB anatomisch, Gruppe 3 DB anatomisch

8.1.1. Zusammensetzung der Patientengruppen nach Geschlecht

Insgesamt bestand das untersuchte Gesamtkollektiv aus 29 Frauen (37,18 %) und 49 Männern (62,82 %).

Geschlecht	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Männlich	13 / 52%	17 / 60,71%	19 / 76%
Weiblich	12 / 48%	11 / 39,29%	6 / 24%

Tab. 1: Patientenverteilung nach Geschlecht

Das Geschlecht ist auf alle Gruppen gleich verteilt, es weicht nicht signifikant in der Häufigkeit voneinander ab ($p=0,205$).

8.1.2. Alter des Patientenkollektivs zum Unfallzeitpunkt

Zum Unfallzeitpunkt war das Durchschnittsalter der TransFix AM-Gruppe bei einem Mittelwert von $34,04 \pm 11,18$ Jahre (18 bis 49 Jahre). In der SB anatomisch-Gruppe war das Durchschnittsalter $27,43 \pm 14,01$ Jahre (13 bis 71 Jahre) und in der Gruppe DB anatomisch das Durchschnittsalter $34,32 \pm 9,88$ Jahre (18 bis 46 Jahre).

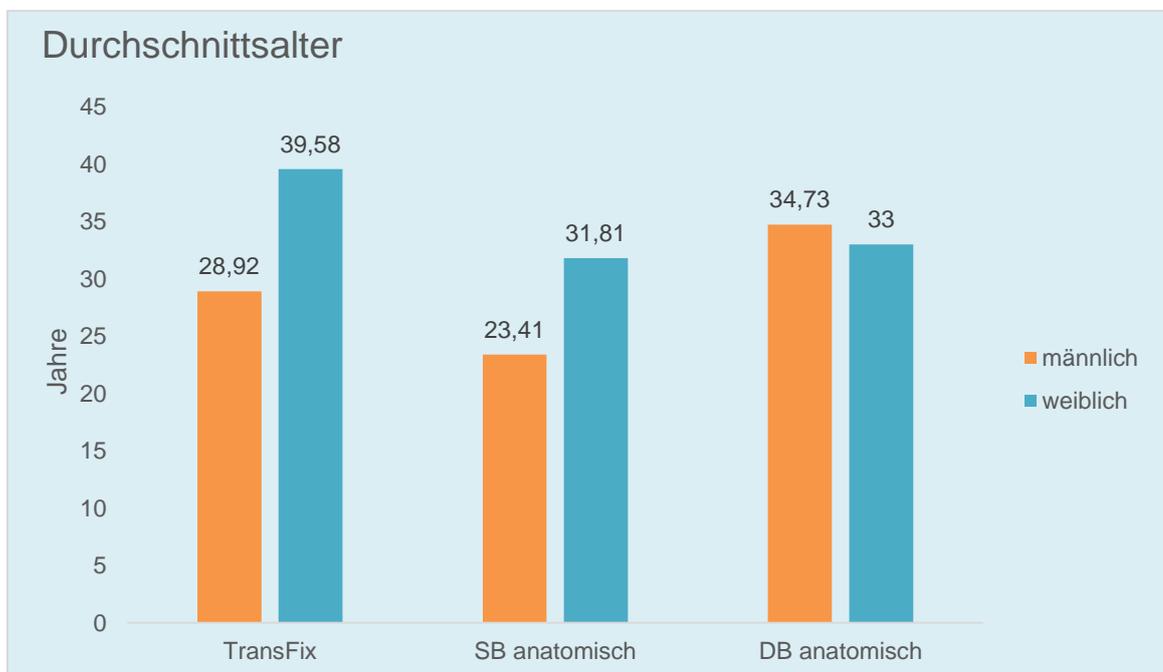


Abb. 2: Durchschnittsalter der männlichen und weiblichen Patienten

Die Unterschiede zwischen allen Patientenkollektiven sind statistisch nicht signifikant ($p=0,062$). Allerdings ist die Gruppe 2 (SB anatomisch) insgesamt jünger gegenüber beide anderen Gruppen.

8.2. Operationstechniken

Es folgt nunmehr die Vorstellung der gewählten Operationstechniken, welche in der Asklepios Klinik Birkenwerder im Zeitraum von 11/2006 bis 10/2010 durchgeführt wurden.

Lagerung und Vorbereitung werden in allen drei beschriebenen OP - Techniken gleich vorgenommen.

Patienten-time-out, Single shot Antibiose mit Cefuroxim 1,5 g, Patient befindet sich in Rücklage. Unter bereits vorliegender Narkose (Intubationsnarkose, Larynxmaske, Spinalanästhesie) wird das entsprechende Kniegelenk nochmals auf Stabilität und Beweglichkeit im Vergleich zur Gegenseite überprüft.

Das nicht zu operierende Bein wird in einer Beinschale unter entsprechendem Schutz des N. fibularis abgelegt. Anlage einer pneumatischen Oberschenkelblutleere (300mmHg) an das zu operierende Bein, der Oberschenkel wird in einem Beinhalter fixiert. Dadurch können Extensions- und Flexionsbewegungen durchgeführt werden. Nunmehr erfolgt die vorschriftsmäßige mehrfache Hautflächendesinfektion des ab Beinhalter distal befindlichen Beines, Abdeckung mittels Einmalabdeckmaterial.

8.2.1. Arthroskopische vordere Kreuzbandplastik mittels STT/G-4-fach Transplantat in Single-Bundle-Technik femoral TransFix AM und tibial mit bioabsorbierbarer Schraube

Zunächst Durchführen der diagnostischen Arthroskopie unter zuvor erfolgter Anlage des AL-Portales zur Inspektion des Gelenks, anschließend Anlage des AM-Portals. Es folgt ein gerader Hautschnitt medial der Tuberositas tibiae und ca. 5cm unter der Gelenklinie. Spaltung der Subkutis und der Sartoriusfascie. Präparation und Darstellung des Pes anserinus, Anschlingen der Hamstrings. Die Sehnenenden werden auf der Workstation getrimmt und mit einem Knoten armiert (Vicryl Naht #2). Diese ersten beiden Schritte (diagnostische Arthroskopie und

Transplantatentnahme/Vorbereitung) werden in allen drei OP-Techniken gleich vorgenommen.

Anschließend werden die Reste des vorderen Kreuzbandes mit dem Shaver entfernt und die femorale Insertion präpariert. Die over the top Position ist nun gut einsehbar. Einsetzen des tibialen POP Zielgerätes und Positionierung eines K-Drahtes an der tibialen Insertion. Der Draht wird nun entsprechend der Transplantatstärke überbohrt. Über das antero-mediale Portal erfolgt die Positionierung des femoralen Zielhakens. An isometrischer Lage wird ein K-Draht gebohrt und anschließend ein in entsprechender Stärke des Transplantats ein Bohrloch angelegt. Einführen des Trans-Fix Hook in den femoralen Kanal. Von antero-lateral wird über eine weitere Hautinzision ein Führungsdraht quer nach anteromedial gebohrt. Über den K-Draht mit Öse wird ein mobiler Nitinoldraht gezogen. Dieser Draht wird nun mit dem Hook durch das Gelenk nach extern gezogen und die vorbereiteten Sehnen mittig eingeschlagen. Dann werden die Sehnen in das femorale Bohrloch gezogen und der Nitinoldraht horizontal durchbewegt. Über den Draht wird dann ein bioresorbierbarer Cross pin eingebracht. Abschließend wird in 10° Beugung, hinterer Schublade und Innenrotation das distale Transplantatende mit einer bioresorbierbaren Interferenzschraube fixiert. Danach folgt die intraartikuläre Kontrolle des Transplantates (Eigenspannung, visuelle Kontrolle des Kniegelenkes unter Bewegung zum Ausschluss eines Impingements im Notchbereich). Einlage einer Redondrainage, schichtweiser Wundverschluß, Infiltration mit Bucain, steriler Verband.

8.2.2. Arthroskopische vordere Kreuzbandplastik mittels STT/G-4-fach-Transplantat in Single-Bundle-Technik femoral mit Retrobutton (femoral über das AM-Portal) und tibial mit bioabsorbierbarer Schraube

Zunächst Durchführen der diagnostischen Arthroskopie und Transplantatentnahme.

Anschließend werden die Reste des vorderen Kreuzbandes mit dem Shaver entfernt und die femorale Insertion präpariert. Die over the top Position ist gut einsehbar. Einsetzen des tibialen POP Zielgerätes und Positionierung des tibialen

Tunnels. Bohrung und Dilatation desselben. Über das antero-mediale Arthroskopieportal erfolgt die Positionierung des over the top Zielhakens an der 10.30 Uhr (rechtes Knie)/ 01.30 Uhr (linkes Knie) Position. Es wird mit dem 3mm Bohrer gebohrt und dann anschließend der Transplantatstärke erweitert. Das Transplantat wird mit dem Button eingezogen und der Button auf der femoralen Kortikalis geflippt. Mehrfaches Durchbewegen des Kniegelenkes und tibiale Fixierung bei 10° Flexion mittels bioabsorbierbarer Schraube. Kontrolle der optimalen Eigenspannung des Transplantates. Kontrolle der freien Beweglichkeit des Kniegelenkes und des Transplantates im Notchbereich.

Schichtweiser Wundverschluss, Infiltration mit Bucain, steriler Verband.

8.2.3. Arthroskopische vordere Kreuzbandplastik in Double-Bundle-Vierkanaltechnik mit STT/G-4-fach-Transplantat, Fixation mit 2x Retrobutton femoral und 2x bioabsorbierbarer Schraube tibial

Zunächst Durchführen der diagnostischen Arthroskopie und Transplantatentnahme.

Anschließend werden die Reste des vorderen Kreuzbandes mit dem Shaver entfernt und die femorale Insertion präpariert. Die over the top Position muss gut einsehbar sein. Einsetzen des tibialen POP Zielgerätes und Positionierung von zweier Kirschner Drähte, für tibialen AM- und PL-Tunnel. Überbohrung beider Kirschner Drähte entsprechend der Bündelstärke. Über den tibialen Bohrkana erfolgt die Positionierung des femoralen over-the-top Zielhakens an der AM-Position. Bohrung und Messung der Gesamtlänge und anschließend Erweiterung. Durchzug des Führungfadens. Anschließend wird über das AM-Portal die Unterstellung für den PL-Kanal plziert und ebenfalls überbohrt. Die Shuttlefäden werden nach extraartikulär gezogen. Folgend werden die Transplantate, zuerst das PL-Bündel, dann das AM-Bündel mit jeweils einem Button eingezogen. Die Button werden jeweils geflippt und die sichere Verankerung geprüft. Mehrfaches Durchbewegen des Kniegelenkes und Fixation tibial des AM-Bündels in 45° mit einer bioresorbierbaren Schraube und das PL-Bündel in 10° Flexion mit einer bioresorbierbaren Schraube. Kontrolle auf Eigenspannung des Transplantates, freier Kniegelenksbeweglichkeit, Kontrolle auf Impingement im Notchbereich. Infiltration mit Bucain, schichtweiser Wundverschluss, steriler Verband.

TransFix AM



SB anatomisch



DB anatomisch



Abb. 3: Operationstechniken, Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Arthrex, Naples, USA.

Die genutzten Fixationsmaterialien TransFix AM Cross Pin, bioabsorbierbare Schraube und der Retrobutton (closed loop) sind von der Firma Arthrex produziert.

8.3. Rehabilitation

Die Rehabilitation nach erfolgter VKB-Plastik nimmt den gleichen Stellenwert wie die eigentliche operative Versorgung ein. Sie setzt sich aus einem komplexen Programm über mehrere Wochen zusammen.

Schmerzlinderung, Beweglichkeit, Kraftentwicklung, propriozeptive Schulung einschließlich Koordination sind die Trainingsziele. Faktoren wie Zeitpunkt des Beginns, Dauer und Intensität der Behandlung sind auch zu berücksichtigen.

Zeitraum	Ziel	Belastung	Orthese	Methodik
Frühreha Woche 1-4	Passiv Extension/ Flexion 0/0/90°	Teilbelastung	0/0/60°	Patellamobilisierung Kryotherapie Elektrotherapie PNF Gangschulung
Woche 5-6	Aktiv 0/0/90°	Vollbelastung	0/0/90°	Training: ischiokrurale Muskulatur

				Propriozeption
Woche 7-12	Muskelaufbau	Vollbelastung	-	MTT(Kippelbrett, Trampolin) Fahrradergometer Aqua jogging
ab 4. Monat	Ausdauer Kraft Schnelligkeit Koordination	Vollbelastung	-	Lauftraining Sportspezifisches Training
ab 6. Monat	Wettkampfvorbereitung			

Tab. 2: Nachbehandlungsschema

8.4. Standardisierte Nachuntersuchung

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte durch eine unabhängige Person, welche den operativen Eingriff nicht durchgeführt hat.

Zur Evaluation wurden unterschiedliche objektive und subjektive Scores herangezogen.

Die Patienten wurden mit einer standardisierten Nachuntersuchung und nach ihrem Befinden im Rahmen der unten genannten Scores befragt. Tegner- und Lysholm-Score wurden prä- und postoperativ verglichen.

8.4.1 Klinische Untersuchung und Scores

Klinische Untersuchung:

- Lachman Test
- Vorderer Schubladen Test – AP-Translation
- Hinterer Schubladen Test
- Außenrotationsstest
- Pivot shift Test / Reversed Pivot shift Test
- Rolimeteruntersuchung
- Passive Beweglichkeit im Seitenvergleich
- One leg hop Test

Scores

- : Lysholm Score (Anhang 1)
- Tegner Score (Anhang 2)
- Modifizierter Marshall Score (Anhang 3)
- Standardevaluationsblatt des IKDC (Anhang 4)

Klinische Untersuchung:

Lachman Test

Stabilitätsprüfung in 30° Flexion des Kniegelenkes unter Durchführung einer ventralen Schubbewegung des Unterschenkels gegenüber dem Femur im Vergleich zur Gegenseite.

Befundung:

1- 2mm	negativ	= 0	normal	...stabil
3- 5mm	+	= 1	fast normal	...leichte Instabilität
6-10mm	++	= 2	abnormal	... mittelschwere Instabilität
>10mm	+++	= 3	stark abnormal	...schwere Instabilität

Vorderer Schublade Test – AP-Translation

Stabilitätsprüfung in 90° Flexion des Kniegelenkes unter Durchführung einer ventralen Schubbewegung des Unterschenkels gegenüber dem Femur im Vergleich zur Gegenseite

Befundung:

0- 2mm	negativ	= 0
3- 5mm	+	= 1
6-10mm	++	= 2
>10mm	+++	= 3

Hinterer Schublade Test

Stabilitätsprüfung in 90° Flexion des Kniegelenkes unter Durchführung einer dorsalen Schubbewegung des Unterschenkels gegenüber dem Femur im Vergleich zur Gegenseite

Befundung:

0- 2mm	negativ	= 0
3- 5mm	+	= 1
6-10mm	++	= 2

>10mm	+++	= 3
-------	-----	-----

Pivot shift Test

Dynamischer Subluxationstest unter geführter Innenrotation und Valgusstress; das Kniegelenk shiftet zwischen 20-30° Flexion bei vorderer Kreuzbandläsion.

Befundung:

seitengleich	normal negativ	0
fast normal	+	1
abnormal	++	2 Subluxation
stark abnormal	+++	3

Rolimeteruntersuchung

Mit dem Rolimeter™-Knietester von Aircast (Fa. DJO Global, Vista, USA) kann eine quantitative Beurteilung der vorderen Instabilität gewonnen werden (90).

Hierbei wird das maximale Bewegungsausmaß zwischen Patella und Tuberositas tibiae in 2mm Abständen gemessen. Die zu untersuchende Person befindet sich in Rückenlage und ca. 25° Knieflexion. Die quere leicht gebogene proximale Auflagefläche wird mittig auf die Patella positioniert, der distale Geräteteil mit dem Gummiband auf dem Unterschenkel fixiert. Der Stempel mit Querrillen im Abstand von 2mm wird zunächst an die Tuberositas angedrückt, mit der Rändelmutter fixiert und so der Stempel auf „0“ positioniert. Dann erfolgen Schubbewegung und Messung/Ablesung der Auslenkung des weißen Schiebers an der Skalierung. Es werden drei Messungen vorgenommen und daraus der Mittelwert verwertet.

Passive Beweglichkeit

Untersuchung des Bewegungsausmaßes nach der Neutral-Null-Methode im Seitenvergleich

One leg hop Test (24)

Dieser Test ist ein Funktionstest, um die Muskulatur von M.quadriceps und der Muskulatur der Hamstrings, welche posttraumatisch und postoperativ einer Schädigung unterliegen, zu beurteilen. Im Rahmen dieser indirekten

Eigenkraftmessung werden pro Bein drei Einbeinsprünge durchgeführt und die Distanzen von Großzehenspitze – Absprung - zu Großzehenspitze – Landung – gemessen und dann ein Vergleich zum anderen Bein vorgenommen.

Befundung:

normal	≥ 90%	3
fast normal	89 – 76 %	2
abnormal	75 – 50%	1
deutlich abnormal	< 50%	0

Scores:

Lysholm Score: (89), Anhang 1

Der eigentliche Score nach Lysholm und Gillquist aus dem Jahr 1982 dient der reinen subjektiven Bewertung in Hinsicht auf Funktionalität und damit Stabilität des Kniegelenkes.

Der Ursprung dieses Scores findet sich in der Larson-Knieskala von 1967 wieder, welche dann durch Oretorp 1979 weiterentwickelt wurde.

Der Lysholm Score ist der in der Vergangenheit am häufigsten genutzten Score zur Beurteilung von Knieinstabilitäten. 1985 wurde dieser nochmals von Tegner und Lysholm modifiziert.

Die zu beurteilenden acht Kriterien unterliegen einer unterschiedlichen Bewertung, wobei den Kriterien „Schmerz“ und „Instabilität“ die größte Wichtung gegeben werden. Insgesamt kann eine Punktzahl von 0 bis 100 erreicht werden, wobei für jede Funktion nur einmal Punkte vergeben werden dürfen, welche dann zum Abschluss eine Summe bilden. Diese Gesamtpunktzahl wird dann einer Ergebnisbewertung, wie folgt, gleich gesetzt:

Gesamtpunktzahl	Bewertung
98 – 100	exzellent
93 - 97	gut bis exzellent
82 - 92	mäßig bis gut
66 - 81	mäßig
≤ 65	schlecht

Tegner Score: (132), Anhang 2

Dieser Aktivitätsscore dient der standardisierten Untersuchung des Aktivitätsgrades und ist auf elf Level abgestuft. In diese Gruppierungen gehen Unterscheidungen zwischen sportlicher Aktivität, d.h. von Wettkampfsport internationaler Elite über Freizeitsport einschließlich ebenerdigen Spazierengehens bis zur Sportunfähigkeit und der Arbeitsbelastung, d.h. von Schwerarbeit bis leichter Arbeit ein. Der Patient muss sich für einen Aktivitätsgrad entscheiden. Der höchste Aktivitätsgrad entspricht 10 Punkten, der niedrigste 0 Punkte. Siehe Anhang 2. Das heißt Level 10 ist dem Höchstleistungssportler und Level 0 dem arbeitsunfähig – ursächlich das Kniegelenk- geschriebenen Patienten, dem ein normales Gehen nicht möglich ist.

Marshall Score: (91), Anhang 3

Der ursprüngliche Score nutzt zum größten Teil objektive Kriterien. Es sind 50 Punkte erreichbar. Dieser wurde dann durch Windsor et al. 1988 (144) durch funktionelle Tests ergänzt. Die hier verwendete Form befindet sich in Anhang 5.

Gesamtpunktzahl	Bewertung
41 – 50	exzellent
36 – 40	ausreichend (+)
31 – 35	ausreichend (-)
< 30	schlecht

Standardevaluationsblatt des IKDC: (33), Anhang 4

Dieses Standardevaluationsblatt bzw. standardisierter Knieevaluationsbogen wurde Ende der achtziger bis Ende der neunziger Jahre von einem internationalen Komitee repräsentativer Kniespezialisten entwickelt, um ein einheitliches und damit vergleichbares Fundament zur Ergebnisbeschreibung zu schaffen. Die ursprüngliche Form wurde in den folgenden Jahren immer weiter entwickelt.

Im Anhang befindet sich die in dieser Studie genutzte Form.

Diese weist eine Untergliederung in acht unterschiedliche Bereiche nach, wobei nur die Bereiche in die Gesamtbewertung eingehen:

1. Subjektive Beurteilung
2. Fehlen von signifikanten Symptomen bei höchstem Aktivitätsniveau
3. Bewegungsumfang
4. Untersuchung Bandapparat.

Erster und zweiter Bereich unterliegen der Bewertung des Patienten, die beiden letzten der Bewertung des Untersuchers. Alle Bereiche werden mit gleicher Beschreibung bewertet

normal	= A
fast normal	= B
abnormal	= C
stark abnormal	= D

wobei aus jedem der Bereiche 1 – 4 das schlechteste Resultat letztendlich das Gesamtergebnis darstellt.

Ergänzend werden folgende Bereiche dokumentiert:

5. Kompartimentale Befunde
6. Symptome Transplantatentnahmestelle
7. Röntgenbefunde
8. Funktioneller Test.

8.4.2. Radiologische Auswertung

Die radiologische Auswertung erfolgte durch die Messung der Bohrkanallage femoral und tibial anhand postoperativ angefertigter Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes in zwei Ebenen. Dazu wurde das klinikinterne IMPAX-Archivsystem, die angefertigten Röntgenaufnahmen (Philips Medical Systems DigitalDiagnostics) und dem dazugehörigen Messprogramm (Distanzmessung/Winkelmessung) genutzt.

Die radiologische Bestimmung der Bohrkanallage kann in den unterschiedlichsten Messmethoden durchgeführt werden. Die geläufigsten Methoden werden in dieser

Arbeit genutzt und nachfolgend erklärt (Vermessungstechnik nach Aglietti, Harner, Stäubli, Abstandsmessung Retrobutton zur Kortikalis).

Zur Komplettierung der radiologischen Befundung erfolgt die Beurteilung des Arthrosegrades (nach Kellgren und Lawrence, Anhang 5).

AGLIETTI et al. Femoral seitlich

Es wird eine Tangente entlang der Blumensaatlinie von der lateralen Femurkondyle von anterior (0%) nach posterior (100%) gezogen. Die optimale Lage des anteriore Randes des Bohrkanals befindet sich bei 65% der Länge der Tangente, beginnend anterior (4).



Abb. 4: Messung nach Aglietti, femoral seitlich

HARNER et al. Femoral seitlich

In der lateralen Projektion zeigt sich die Blumensaatlinie, welche eine Verdichtungslinie durch die Fossa intercondylaris des Femurs darstellt. Eine eingezeichnete Linie legt den anterioren (0%) und posterioren (100%) Umschlagpunkt der Notch fest. Die optimale Bohrkanallage befindet sich bei 80% der gemessenen Strecke von anterior nach posterior (52).



Abb. 5: Messung nach Harner, femoral seitlich

STÄUBLI et al.

Tibial seitlich

Zunächst wird die Länge des Tibiaplateaus ausgemessen, dann folgend die Lage der Bohrkanalmitte von ventral und daraus die prozentuale Lage der Bohrkanalmitte ermittelt (Norm 44%) (123).



Abb. 6: Messung nach Stäubli, tibial seitlich

A.P.-Projektion Femoral frontal

Es wurde bei dieser Messmethode der geschlossene Winkel zwischen der Tangente der beiden Femurkondylen, entspricht der Gelenklinie und dem Zentrum des femoralen Bohrkanals gemessen (25, 102).



Abb. 7: Messung femoral a.p.

A.P.- Projektion Tibial frontal

Bei dieser Messmethode wird zunächst das Tibiaplateau gemessen und dann von der Abstand von medialen Kortikalis zur Mitte des Bohrkanals (Norm 44%) (25,102).

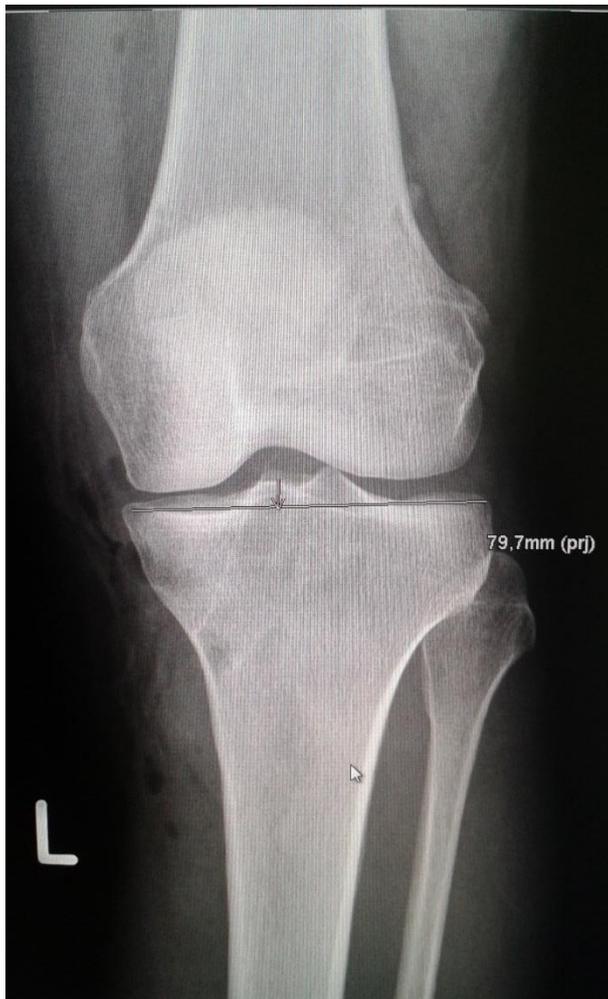


Abb. 8: Messung tibial a.p.

Abstand Retrobutton-Kortikalis

Abstand des genutzten Retrobuttons femoral zur Kortikalis in Millimeter (Auswertung der Röntgenbilder des Kniegelenkes in zwei Ebenen unter Ausmessung des größten Abstandes des Button / der Button zur Kortikalis).

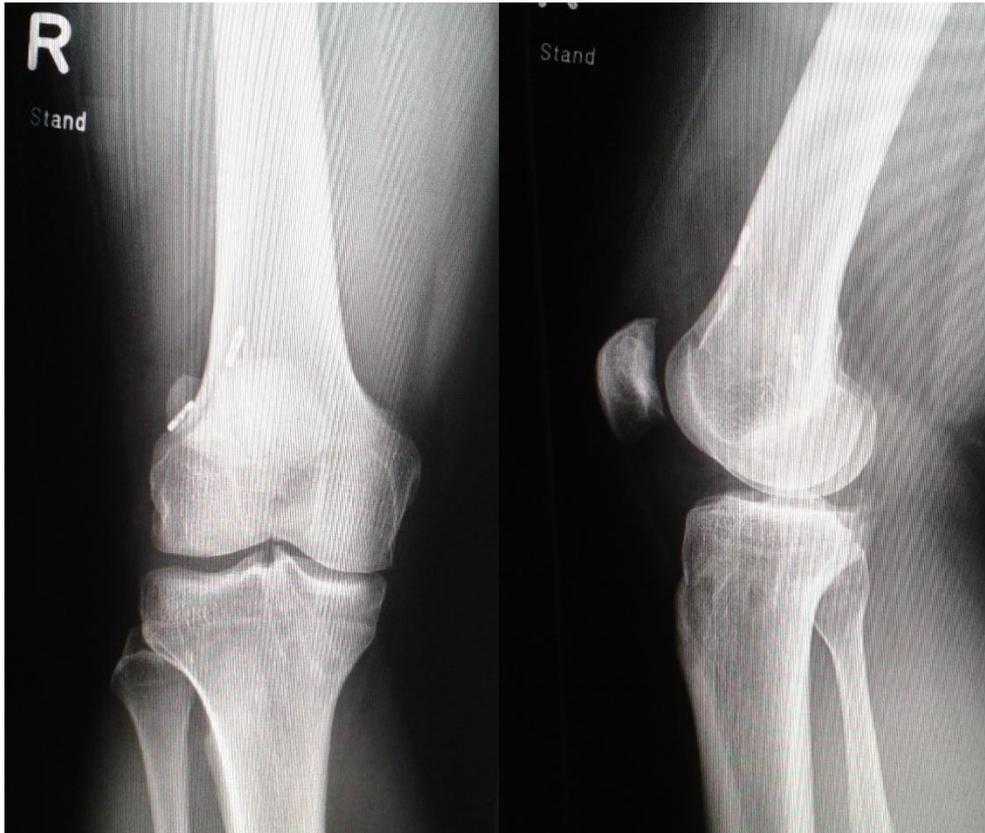


Abb. 9: Messung Retrobuttonabstand zur lateralen femoralen Kortikalis

Die Messtechnik nach Bernhard und Hertel wurde in diesen Untersuchungen nicht angewandt, da die Voraussetzung einer streng seitlichen Röntgenaufnahme – genaue Projektion der beiden Femurkondylen übereinander – nicht in allen Aufnahmen vorhanden ist und damit diese für diese Arbeit nicht auswertbar waren.

8.4.3. Statistische Methodik

Die ermittelten Daten wurden in das Statistikprogramm SPSS Version 20 eingefügt. Daraus folgend die Ermittlung einer Signifikanz durch entsprechende unterschiedliche Tests:

- Kolmogorow-Smirnov-Test (Normalverteilung)
- Chi-Quadrat-Test (Gruppenunterschiede)
- T-Test (gepaarte Stichproben parametrischer Proben – z.B. Alter)
- Mann-Whitney-U-Test (Gruppendifferenzanalyse nichtparametrischer Daten- z.B. Lysholm Score)
- Levene - Test (Kontrolle auf Gleichheit der Varianzen – Homogenität- unterschiedlicher Gruppen)
- Anova - Test (einfaktorielle Varianzanalyse in Hinblick auf die Unterscheidung der Mittelwerte mehrerer unabhängiger Gruppen, die durch eine Variable definiert ist)

Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit $p \leq 0,01$ angesetzt, so dass die Nullhypothese bei vorliegendem Signifikanzniveau von $p \leq 0,01$ zurückgewiesen wird.

9. Ergebnisse

9.1. Intervall zwischen Unfall und Operationszeitpunkt

Das Intervall zwischen Unfall- und Operationszeitpunkt der TransFix AM-Gruppe beträgt im Mittel $30,16 \pm 63,71$ Monate (1 bis 204 Monate), der Gruppe SB anatomisch $25,53 \pm 49,87$ Monate (1 bis 241 Monate) und der DB anatomisch-Gruppe $22,8 \pm 53,42$ Monate (1 bis 198 Monate).

	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Intervall Unfall-OP (Mo.)	30,16 \pm 63,71	25,53 \pm 49,87	22,8 \pm 53,42

Tab. 3: Intervall Unfall – Operation

Es ergibt sich kein statistischer Gruppenunterschied ($p=0,795$), was das Intervall zwischen Unfall- und Operationszeitpunkt angeht. Insgesamt wurde die operative Versorgung $26,14 (\pm 55,10)$ Monate, Minimum 1 Monat, Maximum 241 Monate, nach stattgehabtem Unfall vorgenommen.

9.2. Intervall zwischen Operationszeitpunkt und Nachuntersuchung

Der durchschnittliche Zeitraum zwischen operativem Eingriff und Nachuntersuchung der TransFix AM- Gruppe befand sich bei $95,24 \pm 9,52$ Monate (83 bis 113 Monate), der SB anatomisch – Gruppe $75,71 \pm 6,98$ Monate (67 bis 104 Monate) und des Kollektivs DB anatomisch $90,56 \pm 11,23$ Monate (70 bis 107 Monate).

	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Intervall OP- f/u (Mo.)	95,24 \pm 9,52	75,21 \pm 6,98	90,56 \pm 11,23

Tab. 4: Intervall Operation-Nachuntersuchung

Die statistische Auswertung wies signifikante Unterschiede der drei Gruppen nach ($p=0,009$). Die Gruppe 2 hat einen deutlich kürzeres Intervall zur Nachuntersuchung als die Patienten der beiden anderen Gruppen.

9.3. Seite der Verletzung

Seite	TransFix n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Rechts	7 / 28%	12 / 42,85%	18 / 72%

Links	18 / 72%	16 / 57,15%	7 / 28%
-------	----------	-------------	---------

Tab. 5: Seite der Verletzung

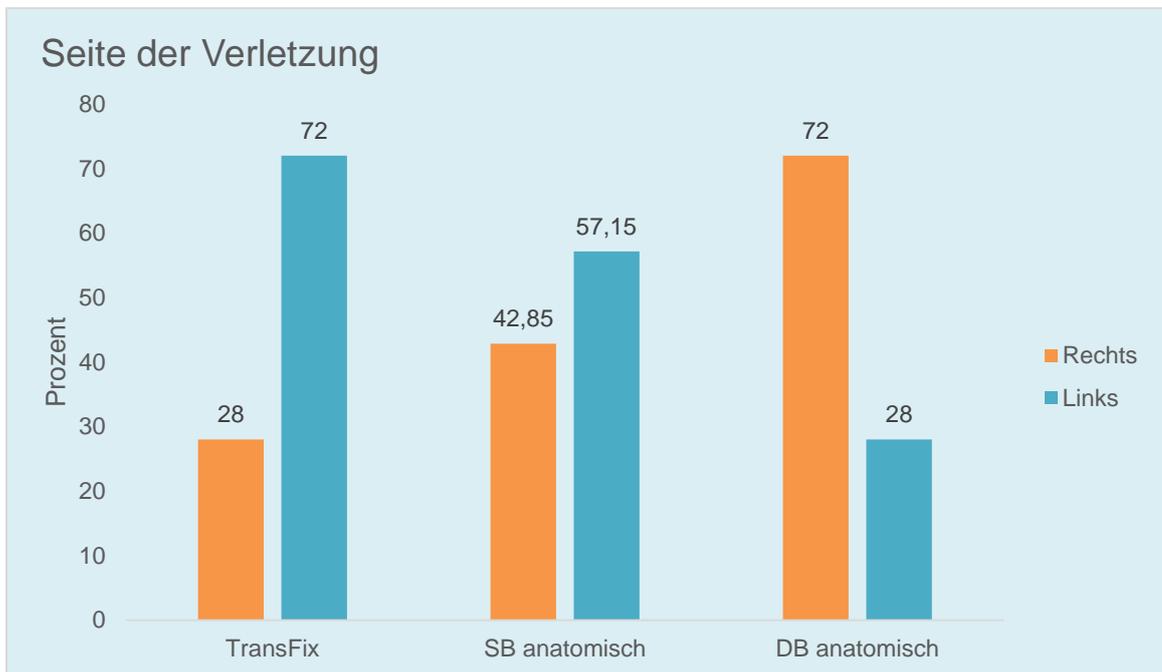


Abb. 10: Seite der Verletzung

Nach statistischer Auswertung unterscheiden sich die Gruppen signifikant hinsichtlich der verletzten Seite ($p=0,006$). So waren in der TransFix AM-Gruppe mehr linke und in der DB-Gruppe mehr rechte vordere Kreuzbänder lädiert.

9.4. Unfallmechanismus

Bei der Untersuchung des Unfallmechanismus wird zwischen Kontakt – und Nichtkontaktunfallgeschehen differenziert. Eingeschlossen sind jegliche Ballsportarten, Boxen, einfacher Sturz, Fehltritt, Hochsprung, Judo, Joggen, Rugby, Reiten, Klettern, Radsport, Kung Fu, Tanzen, Golf, Rehasport, Motocross, Gassirunde und Skifahren.

Letztendlich beruht der größere Anteil der Verletzungsursache auf Nichtkontaktbasis.

Unfallmechanismus Kontaktursache	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Ja	2 / 8%	5 / 17,85%	4 / 16%
Nein	23 / 92%	23 / 82,14%	21 / 84%

Tab. 6: Unfallmechanismus

Das Verhältnis Kontakt-/Nichtkontaktursache ist in allen drei Gruppen nicht signifikant ($p=0,557$).

9.5. Arthrosegrad prä- und postoperativ

Der präoperative Arthrosegrad der Gruppe TransFix AM bewegt sich zwischen Stadium 0 und 2, das Mittel lag bei 0,28; postoperativ zwischen Stadium 0 und 2. In Gruppe SB anatomisch bewegt sich der Arthrosegrad präoperativ zwischen Stadium 0 und 1 (Mittelwert 0,39); postoperativ ebenfalls.

Die Gruppe DB anatomisch weist ebenfalls prä- (Mittelwert 0,44) und postoperativ einen Arthrosegrad zwischen 0 und 2 nach.

Die Unterschiede sind nicht signifikant. Dieser Wert muss kritisch betrachtet werden, da nur eine geringe Fallzahl eine Röntgenuntersuchung in diesem Zusammenhang erhielt. Patienten, die keine Beschwerden aufwiesen, lehnten eine erneute Röntgenaufnahme ab, so dass Röntgenaufnahmen unterschiedlichen Zeitpunktes nach der Operation in die Bewertung einbezogen wurden.

9.6. Bewegungsausmaß prä- und postoperativ

Die Bewegungsausmaße lagen, immer nach der Neutral Null Methode gemessen, wie folgt präoperativ in der Gruppe TransFix AM Extension zwischen 0° und 10° (Mittelwert $1,2^\circ$), zwei Patienten wiesen ein Streckdefizit von 10° (8%) und zwei von 5° (8%) nach. Das bedeutet bei 21 Patienten, also 84%, liegt eine reguläre Extension mit 0° vor.

In der Gruppe SB anatomisch weist die untersuchte Extension Werte zwischen 0° und 40° (Mittelwert $3,035^\circ$) nach, ein Patient liegt mit 40° (3,57%) Defizit weit außerhalb der Gruppe, zwei Patienten haben ein Defizit von 10° (7,14%) und fünf mit 5° (17,85%). 71,42% sind Patienten mit regulärer 0° Extension.

Patienten der Gruppe DB anatomisch liegen zwischen 0° und 5° Extension (Mittelwert $0,4^\circ$), davon lediglich zwei Patienten mit einer Extension von 5° (8%), d.h. 23 Patienten weisen 0° (92%) nach.

Extensionsmessungen postoperativ in der Gruppe TransFix AM bewegen sich zwischen 0° und 5° (Mittelwert 0,6). 22 Patienten (88%) wiesen eine reguläre 0° Extension und 3 Patienten (12%) eine mit 5° defizitäre Extension auf. Alle

Patienten (28, 100%) Gruppe SB anatomisch weisen reguläre 0° Extension auf (Mittelwert 0). Auch die mit Double-Bundle rekonstruierte Patientenpopulation (N=25, 100%) – Gruppe 3 - besitzen eine regelrechte 0° Extension.

Nunmehr folgen Werte zur Untersuchung der Flexion präoperativ.

Die Patienten der TransFix AM versorgten Gruppe haben ein Flexionsausmaß zwischen 100° und 150° (Mittelwert 130°), 100° zwei Patienten (8%), 120° drei Patienten (12%), 130° der größte Anteil mit 13 Patienten (52%), 140° bei fünf Patienten (20%) und zwei Patienten (8%) mit 150°.

Bei Patienten der Gruppe SB anatomisch liegt das Flexionsverhalten zwischen 30° und 140°, Mittelwert 120°. Ein Patient 30° (3,57%), zwei Patienten 80° (7,15%), ein Patient 100° (3,57%), ein Patient 110° (3,57%), sieben Patienten 120° (25%), 130° bei 12 Patienten (42,85%) vier Patienten mit 140° Flexion (14,28%), Mittelwert 120° Flexion.

Die Ausgangswerte zur Flexion in der Gruppe DB anatomisch schwanken zwischen 100° und 150° (Mittelwert 126,4°). Die Population liegt nah beieinander. 100° Flexion haben 2 Patienten (8%), 110° ein Patient (4%), 120° neun Patienten (36%), 130° acht Patienten (32%), 140° zwei Patienten (8%) und mit 150° Flexion sind drei Patienten (12%) dazugehörig.

Postoperative Flexionsuntersuchungen zeigen Werte der Gruppe TransFix AM zwischen 125° und 140° (Mittelwert 129,6°), vier Patienten 125° (16%), 20 Patienten 130° (80%) und ein Patient 140° (4%).

Die Gruppe SB anatomisch setzt sich aus zwischen 125° und 130° gemessenen Flexionswerten zusammen (Mittelwert 129,28°), d.h. mit 125° vier Patienten (14,29%) und 24 Patienten mit 130° (85,71%).

Patienten der Gruppe DB anatomisch besitzen Flexionswerte, welche zwischen 120° und 140° befinden (Mittelwert 130°). Davon weist 120° ein Patient (4%), zwei Patienten 125° (8%), 20 Patienten 130° (80%), zwei Patienten 140° (8%).

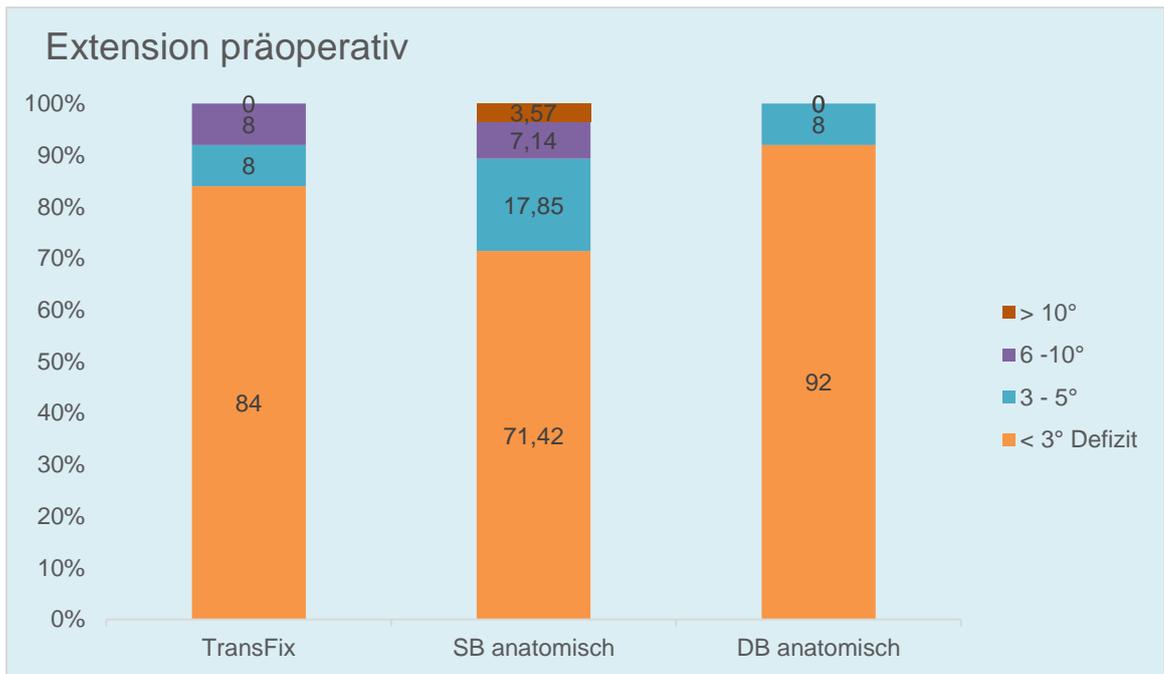


Abb. 11: Extension präoperativ

Die statistische Auswertung der präoperativen Extensionswerte kann keinen signifikanten Gruppenunterschied nachweisen ($p=0,422$).

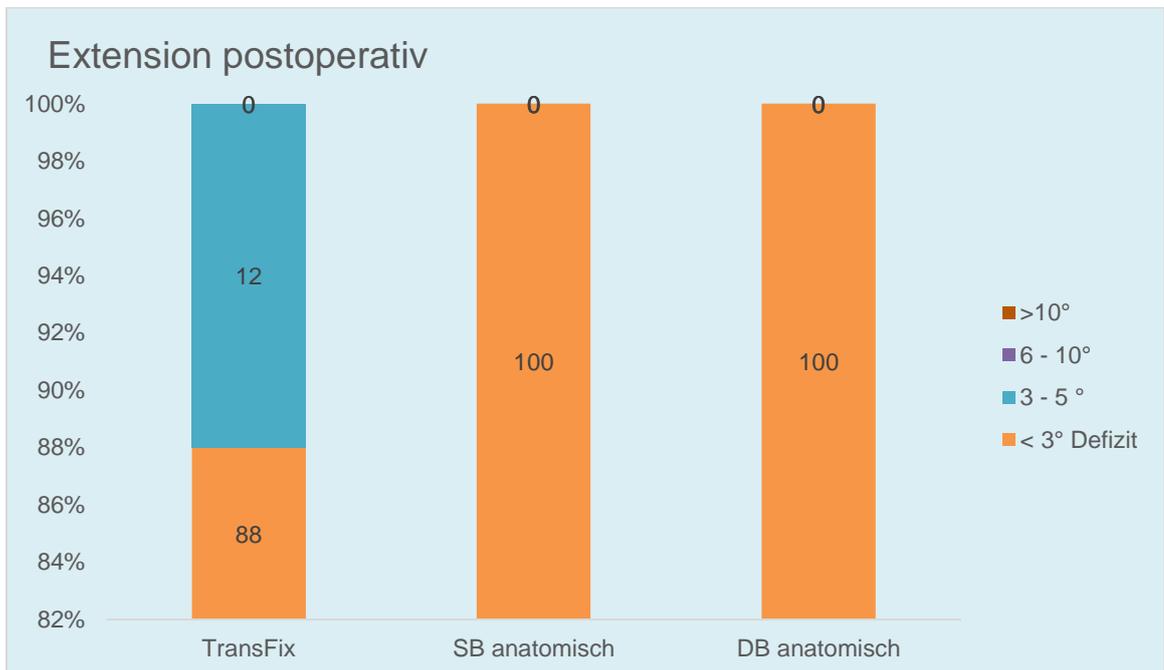


Abb. 12: Extension postoperativ

Auch postoperativ sind keine wesentlichen Gruppenunterschiede vorhanden ($p=0,060$).

Werden die Differenzen von prä- zu postoperativ ausgearbeitet, sticht jedoch die Gruppe SB anatomisch mit den größten mittleren Differenzen hervor. Diese

rekrutieren sich allerdings aus den schlechteren Ausgangswerten und haben dabei ebenfalls keine statistische Bedeutung ($p=0,073$).

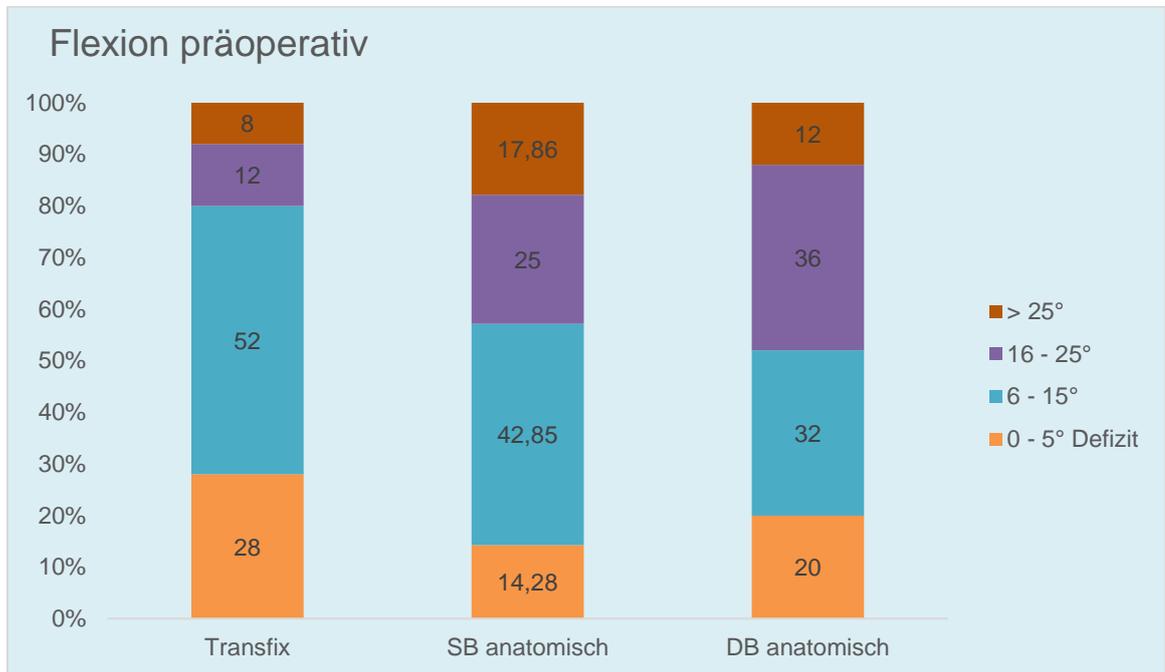


Abb. 13: Flexion präoperativ

Es liegen keine Gruppenunterschiede vor ($p=0,077$).

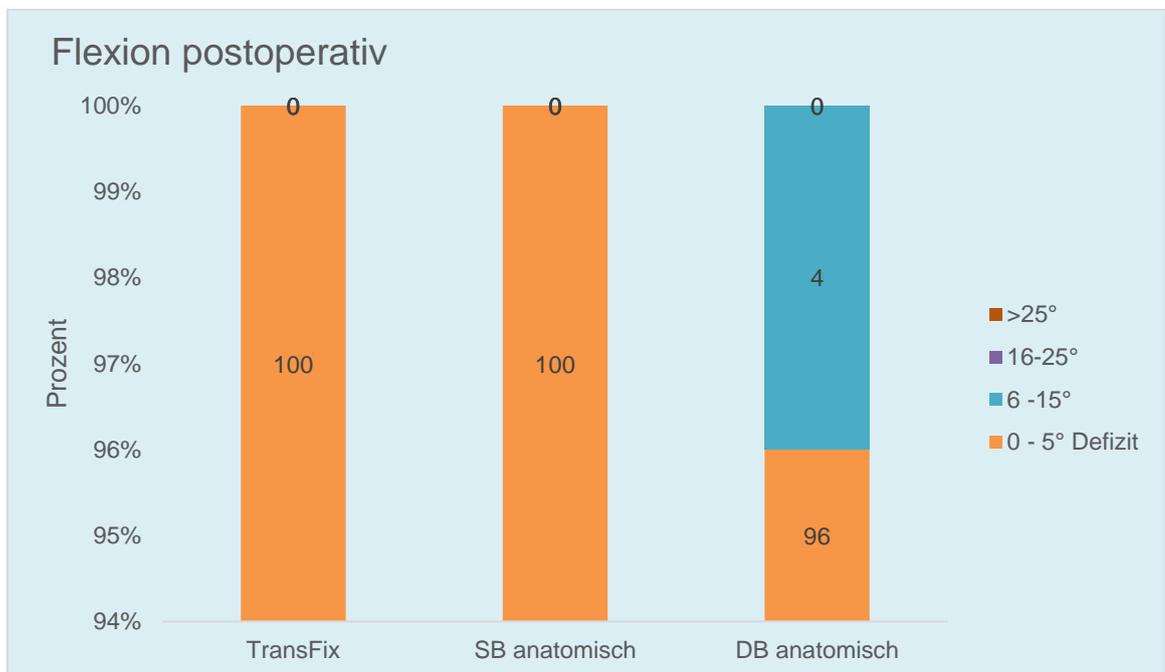


Abb. 14: Flexion postoperativ

Postoperativ liegen keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede vor ($p=0,321$).

Auch bei der statistischen Berechnung der Gruppendifferenzen von prä- zu postoperativ sind keine signifikanten Unterschiede vorhanden ($p=0,158$).

9.7. Vorderer Schubladentest prä- und postoperativ, hinterer Schubladentest

Zunächst die präoperativen Befunde des VSL-Testes.

Zwei Patienten der TransFix AM-Gruppe haben eine negative VSL (8%), 12 Patienten (+) (48%), neun Patienten (++) (36%) und zwei Patienten (+++) (8%).

Gruppe SB anatomisch setzt sich zusammen aus negativer VSL mit zwei Patienten (7,14%), sieben Patienten mit VSL (+) (25%), 18 Patienten mit VSL (++) (64,28%) und VSL (+++) mit einem Patient (3,57%).

In der Gruppe DB anatomisch befinden sich mit negativer VSL zwei Patienten (8%), VSL (+) acht Patienten (32%), VSL (++) 15 Patienten (60%). Kein Patient mit einer VSL (+++).

Innerhalb der Gruppen liegt kein signifikanter Unterschied vor ($p=0,418$).

Die postoperativen Werte der Gruppe TransFix AM setzen sich wie folgt zusammen. Lediglich ein Patient weist eine VSL von (+) auf (4%), alle anderen 24 Patienten liegen im Normbereich mit negativer VSL (96%).

Gruppe SB anatomisch mit 28 untersuchten Patienten haben 26 Patienten eine negative VSL (92,85%), ein Patient VSL (+) (3,57%) und ein Patient VSL (++) (3,57%).

In der Gruppe DB anatomisch mit 25 untersuchten Patienten weisen 22 Patienten eine negative VSL (88%) auf, VSL (+) weisen drei Patienten nach (12%).

Postoperativ liegt kein signifikanter Unterschied der Gruppen vor ($p=0,520$).

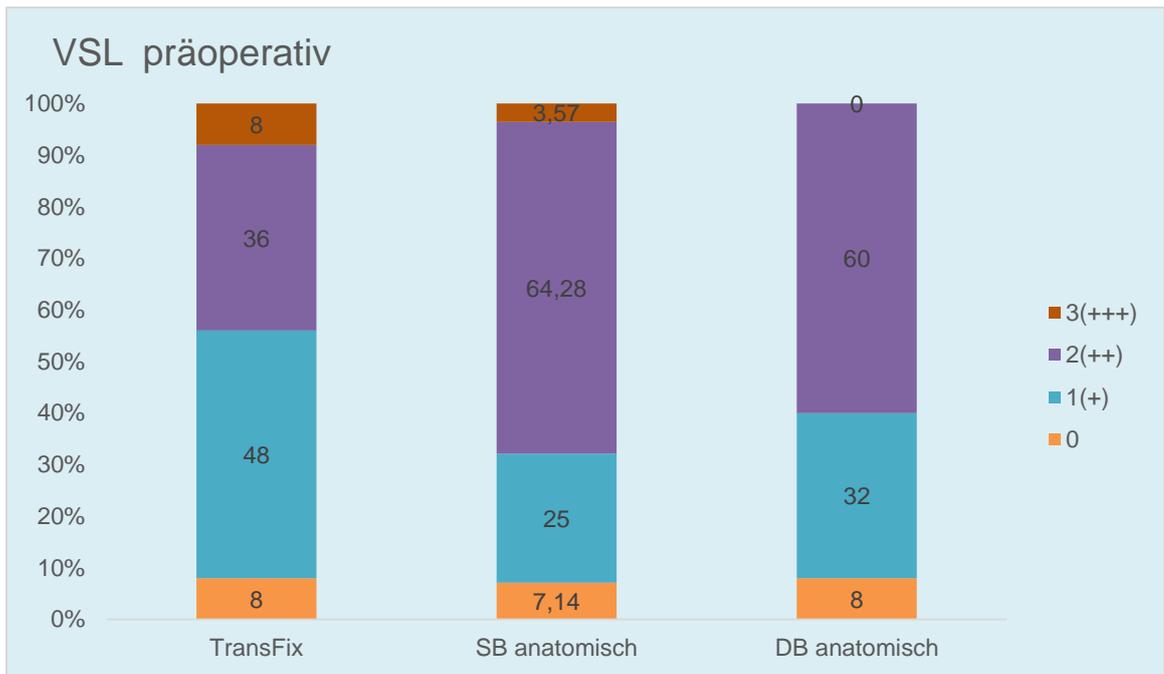


Abb. 15: VSL präoperativ

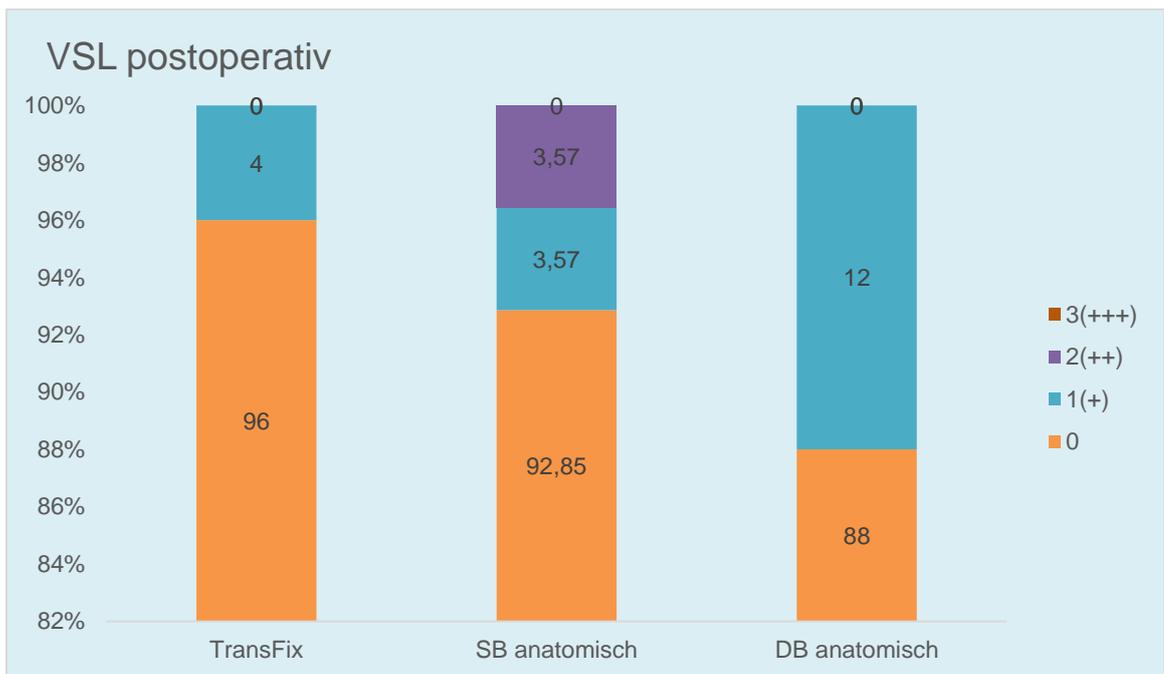


Abb. 16: VSL postoperativ

In allen drei Gruppen war weder prä- noch postoperativ ein hinterer Schubladentest positiv.

9.7.1. Außenrotationstest

Die Untersuchung in Valgus- und Varusrotationsstress ergaben ein negatives Testergebnis bei allen Patienten (Bauchlage, 30° und 90° Flexion).

9.8. Lachman Test prä- und postoperativ

Im präoperativen Lachman Test der Gruppe TransFix AM findet sich kein Patient mit negativem Lachman Test, 15 Patienten haben einen (+) Test (60%), 8 Patienten einen (++) (32%) und 2 Patienten sind (+++) (8%).

Gruppe SB anatomisch hat ebenfalls keinen Patienten mit negativem Lachman Test, 21 Patienten (75%) sind (+), 6 Patienten sind (++) (21,4%) und ein Patient ist (+++) (3,57%) positiv.

Auch in der Gruppe DB anatomisch ist kein negativer Lachman Test, (+) sind 12 Patienten (48%), (++) sind 13 Patienten (52%). Eine höhere Instabilität gibt es in dieser Gruppe nicht.

Mit $p=0,182$ findet sich keine Signifikanz unter den Gruppen.

Alle Patienten der Gruppe TransFix AM haben postoperativ einen negativen Lachman Test (100%).

Bis auf einen Patienten, der einen (++) positiven Lachman Test aufweist (3,57%), sind alle anderen 27 Patienten (96,42%) der Gruppe SB anatomisch negativ.

In der Gruppe DB anatomisch mit 25 Patienten haben 22 Patienten einen negativen Lachman Test (88%) und 3 Patienten einen (+) positiven Befund (12%).

Auch postoperativ liegt keine Signifikanz zwischen den Gruppen vor ($p=0,154$).

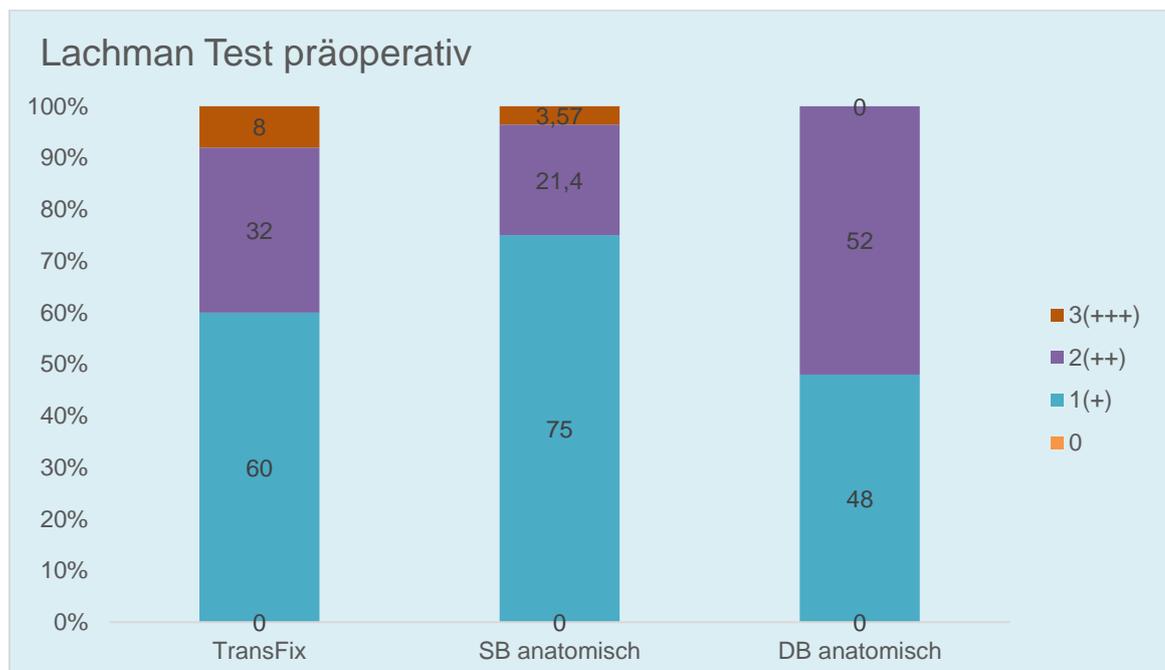


Abb. 17: Lachman Test präoperativ

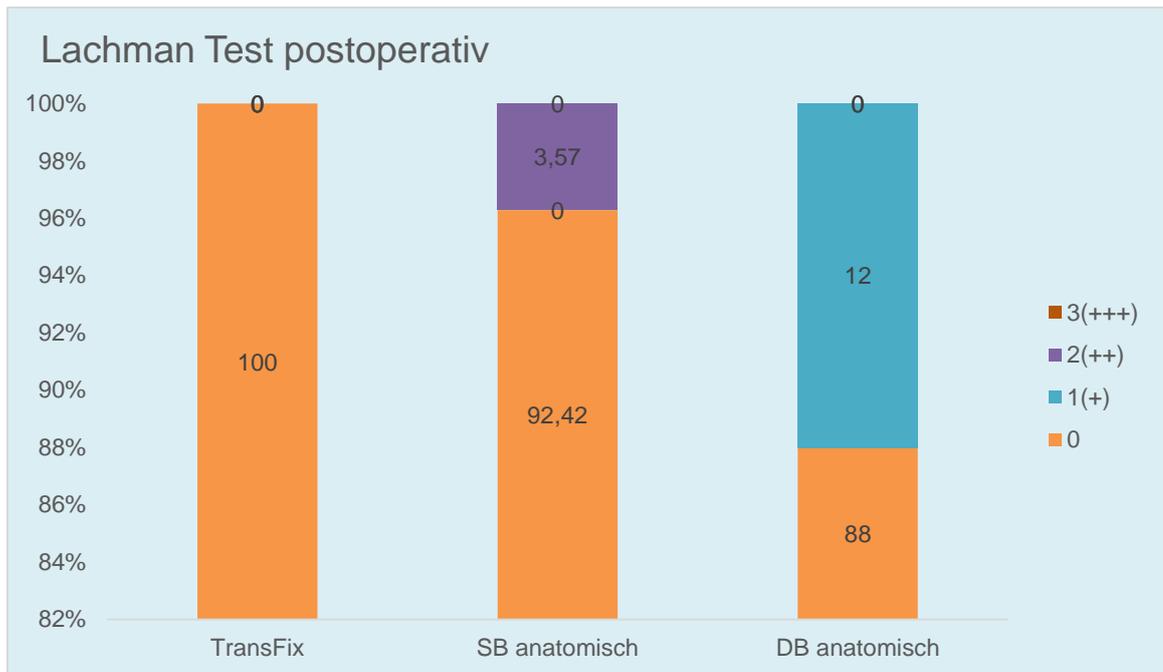


Abb. 18: Lachman Test postoperativ

Zieht man einen Vergleich von präoperativ zu postoperativ zwischen den Gruppen, findet sich ebenfalls keine Signifikanz ($p=0,208$), obwohl TransFix AM die größte Verbesserung aufweist, gefolgt von DB anatomisch und an letzter Position SB anatomisch.

9.8.1. Rolimeter Test prä- und postoperativ

In der Gruppe TransFix AM haben 5 Patienten (20%) einen Test von 6-10mm und 20 Patienten (80%) mehr als 10 mm. Postoperativ weisen 24 Patienten (96%) einen Test mit maximal 2mm nach und 1 Patient (4%) mit 3 mm.

Patienten der Gruppe SB anatomisch befinden sich präoperativ mit 5 Patienten (17,86%) zwischen 6 und 10mm, 23 Patienten (82,14%) mit mehr als 10mm. Postoperativ haben 26 Patienten (92,85%) maximal 2mm im Test, 1 Patient (3,57%) 4mm und 1 Patient (3,57%) 7mm.

Präoperativ finden sich 12 Patienten (48%) mit einem Test zwischen 6 und 10mm und alle anderen Patienten (52%) dieser Gruppe DB anatomisch mit mehr als 10mm. Postoperativ haben 22 Patienten (88%) 2mm im Test und 3 Patienten (12%) 3mm.

Rolimetertest in mm präoperativ	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
0- 2	0	0	0
3- 5	0	0	0
6-10	5 / 20%	5 / 17,86%	12 / 48%
>10	20 / 80%	23 / 82,14%	23 / 52%
postoperativ			
0- 2	24 / 96%	26 / 92,85%	22 / 88%
3- 5	1 / 4%	1 / 3,57%	3 / 12%
6-10	0	1 / 3,57%	0
>10	0	0	0

Tab. 7: Rolimetertest prä- und postoperativ

Es liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p=0,028$) präoperativ vor. Die Gruppe 3 hat jedoch deutlich mehr Patienten in diesem Test zwischen 6-10mm und damit deutlich weniger Patienten mit >10mm.

Die statistische Auswertung der Gruppen untereinander postoperativ kann keine signifikanten Unterschiede zeigen ($p=0,452$).

Betrachtet man nunmehr die Differenz der Gruppen von prä- zu postoperativ werden Gruppenunterschiede ($p=0,020$) annähernd deutlich. Die größte Verbesserung haben die TransFix AM- und die SB anatomisch-Gruppe. Jedoch sind die Ausgangswerte präoperativ der Gruppe DB anatomisch bereits besser, so dass diese Gruppe dadurch keinen so großen Unterschied zu postoperativ entwickeln kann.

9.9. Pivot shift Test prä- und postoperativ

Die präoperative Untersuchung des Pivot shift Tests der Gruppe TransFix AM zeigt 8 Patienten mit negativem Befund (32%), 14 Patienten mit einfach positivem Befund (56%), einem Patient mit zweifach positivem Befund (4%) und 2 Patienten mit dreifach positivem Ergebnis (8%).

Dazu Gruppe SB anatomisch neun Patienten mit negativem Pivot shift Test (32,14%), 15 Patienten (53,57%) mit einfach positivem Test, zweifach positiv zwei Patienten (7,14%) und ebenfalls zwei Patienten (7,14%) mit dreifach positivem Test.

In der Gruppe DB anatomisch zeigen 14 Patienten (56%) einen negativen Test, 9 Patienten (36%) sind einfach positiv und 2 Patienten sind dreifach positiv (8%). Die vorgenommene Signifikanzprüfung ist negativ ($p=0,487$).

Postoperativ haben alle Patienten Gruppe TransFix AM einen negativen Befund (100%).

Der Pivot shift Test der Gruppe SB anatomisch zeigt 24 Patienten (85,71%) mit negativem Befund, einfach positiv 3 Patienten (10,71%) und dreifach positiv einer (3,57%).

Die Kontrolluntersuchung der Gruppe DB anatomisch weist postoperativ 23 Patienten (92%) mit negativem Befund und zwei Patienten (8%) mit einfach positivem Befund nach.

Auch hier liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede vor ($p=0,332$).

Im Vergleich der Gruppen von prä- zu postoperativ weist die Gruppe TransFix AM die höchsten Verbesserungen auf, gefolgt von Gruppe SB anatomisch und dann Gruppe DB anatomisch.

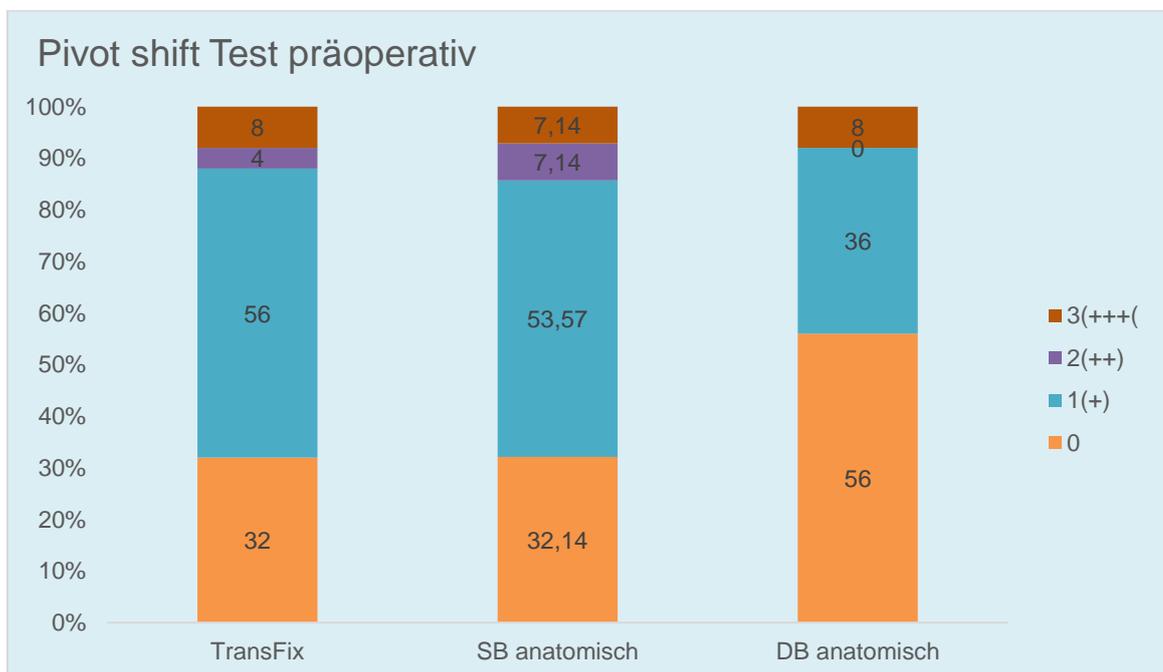


Abb. 19: Pivot shift Test präoperativ

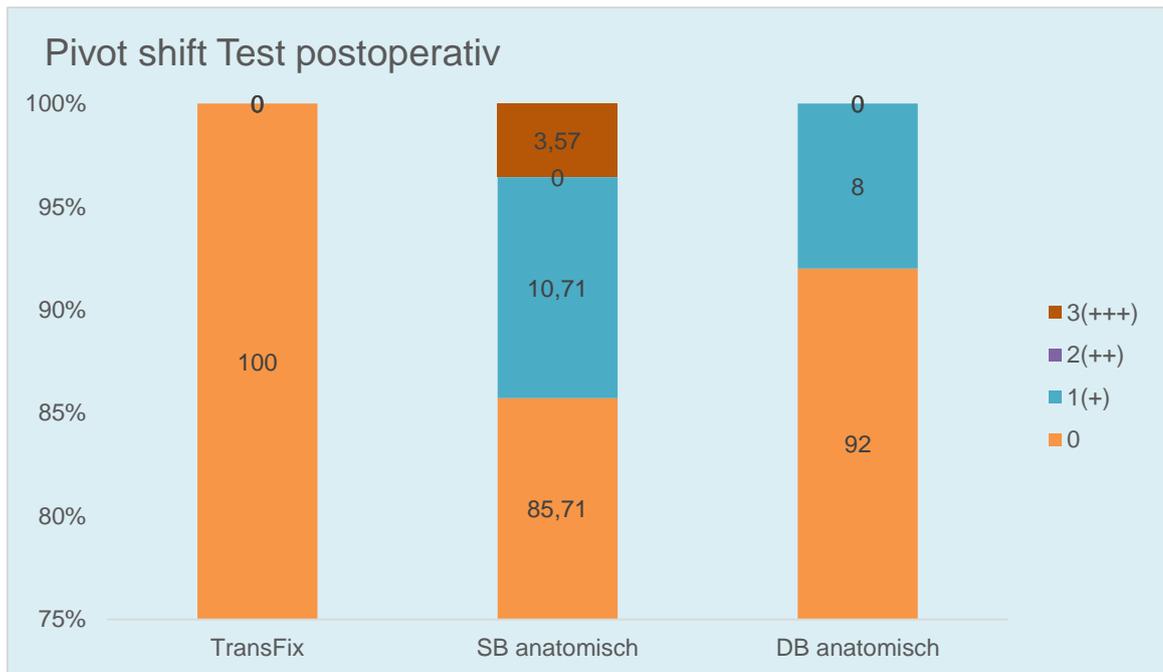


Abb. 20: Pivot shift Test postoperativ

9.9.1. Reverse-Pivot-Shift-Test

Bei allen Patienten wies dieser Test ein negatives Testergebnis auf.

9.10. Tegner Score vor dem Unfall und postoperativ

Der vor dem Unfall vorhandene Tegner Score der Gruppe TransFix AM weist eine Verteilung in den Aktivitätsniveaus von 2-7 auf, Mittelwert 5,04 ($\pm 1,207$).

Der prätraumatische Aktivitätsscore der Gruppe SB anatomisch hat eine Verteilung von 4-9 mit einem Mittelwert von 6,071 ($\pm 1,331$).

Patienten der Gruppe DB anatomisch liegen mit der Verteilung zwischen 3-8, Mittelwert 5,12 ($\pm 1,616$).

Es liegt keine Homogenität der Varianzen vor, so dass letztendlich durch Mehrfachvergleiche (hier Differenzen der Mittelwerte) ein Ergebnis vorliegt. Bei einem Signifikanzniveau von 0,05 unterscheidet sich die Gruppe SB anatomisch signifikant zu Gruppe TransFix AM ($p=0,024$) und Gruppe DB anatomisch ($p=0,040$). Nimmt man das Signifikanzniveau, wie anfänglich beschrieben von $p=0,01$ an, liegen hier ebenfalls keine Signifikanzen vor.

Die erreichten Aktivitätslevel verteilen sich postoperativ in Gruppe TransFix AM von 4-7, Mittelwert 5,24 ($\pm 1,128$).

In Gruppe SB anatomisch sieht die Verteilung in den Aktivitätslevel wie folgt aus 3-9, Mittelwert 5,67 ($\pm 1,541$).

Gruppe DB anatomisch weist eine Verteilung von 3-8, Mittelwert 5,04 ($\pm 1,594$).
Signifikante Gruppenunterschiede liegen nicht vor ($p=0,305$).

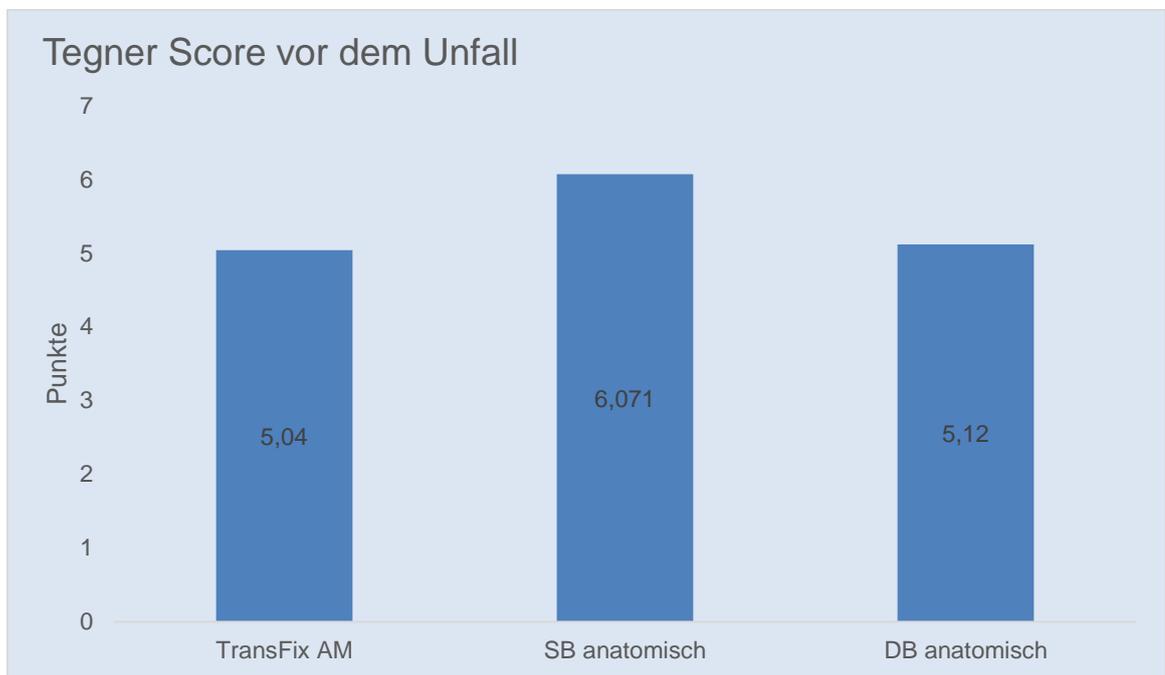


Abb. 21: Tegner Score vor dem Unfall

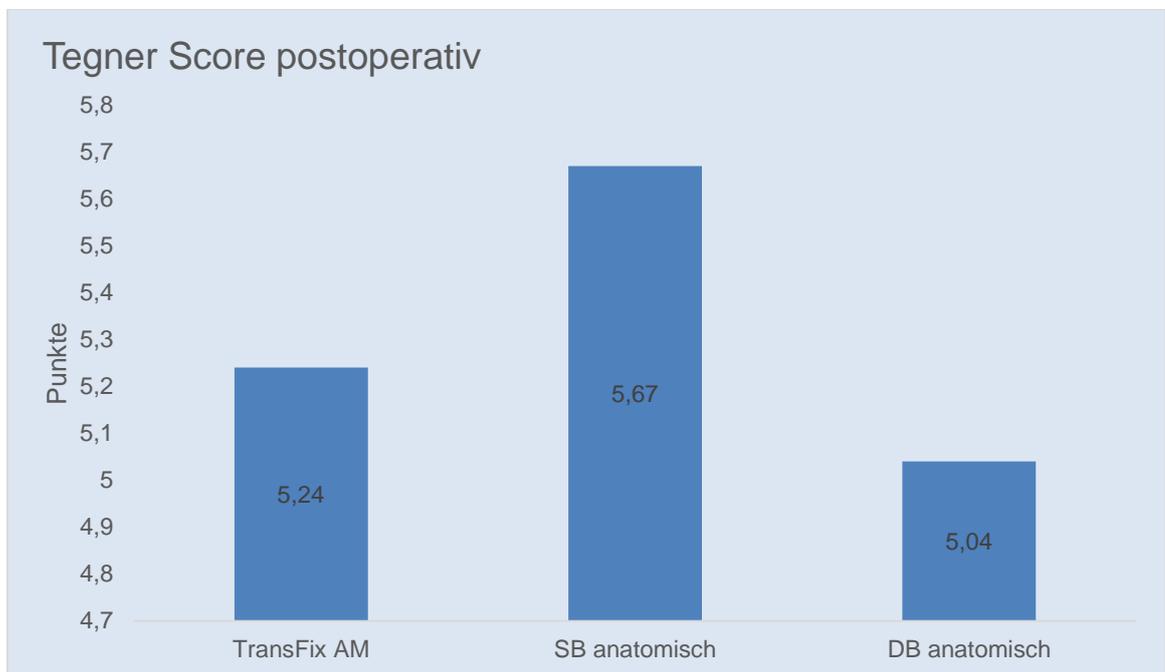


Abb. 22: Tegner Score postoperativ

Der Mittelwert des Gesamtkollektivs beträgt vor dem Unfall 5,44 ($\pm 1,456$) und postoperativ 5,33 ($\pm 1,447$).

Der Vergleich der Mittelwerte aller Gruppen vor dem Unfall und postoperativ miteinander weist keinen Gruppenunterschied nach. Die TransFix AM-Gruppe gegenüber der SB anatomisch-Gruppe haben ein Signifikanzniveau von $p=0,021$, so dass eine Tendenz erkennbar ist.

9.11. Lysholm Score vor dem Unfall, präoperativ und postoperativ

Die in der Gruppe TransFix AM vor dem Unfall vorliegende Lysholm Score Werte weisen eine Punktezahl von 54 – 100, Mittelwert 94 ($\pm 13,326$).

Die Patienten der Gruppe SB anatomisch erreichen Punkte von 92 – 100, Mittelwert 99,5 ($\pm 1,855$).

Die DB anatomisch Gruppe erreicht Punkte von 73 – 100, Mittelwert 94,48 ($\pm 10,132$).

Es liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede vor ($p=0,137$).

Die präoperative Punktevergabe der Gruppe TransFix AM lag zwischen 57-92, Mittelwert 76,76 ($\pm 11,340$).

In Gruppe SB anatomisch wurde Punkte zwischen 34-89 verteilt, Mittelwert 68,71 ($\pm 14,163$).

Und Gruppe DB anatomisch erreicht Punkte zwischen 49- 87, Mittelwert 73,84 ($\pm 8,528$).

Auch präoperativ finden sich keine Signifikanzen ($p=0,084$).

Die Punkteverteilung lag postoperativ in Gruppe TransFix AM zwischen 61 – 100, Mittelwert 91,44 ($\pm 11,314$).

In Gruppe SB anatomisch war die Punkteverteilung von 62 – 100, Mittelwert 89,60 ($\pm 10,038$).

Und in Gruppe DB anatomisch zwischen 78 – 100, Mittelwert 91,72 ($\pm 5,572$).

Mit einem nachgewiesenem Signifikanzniveau postoperativ von $p=0,341$ liegen keine Gruppenunterschiede vor.

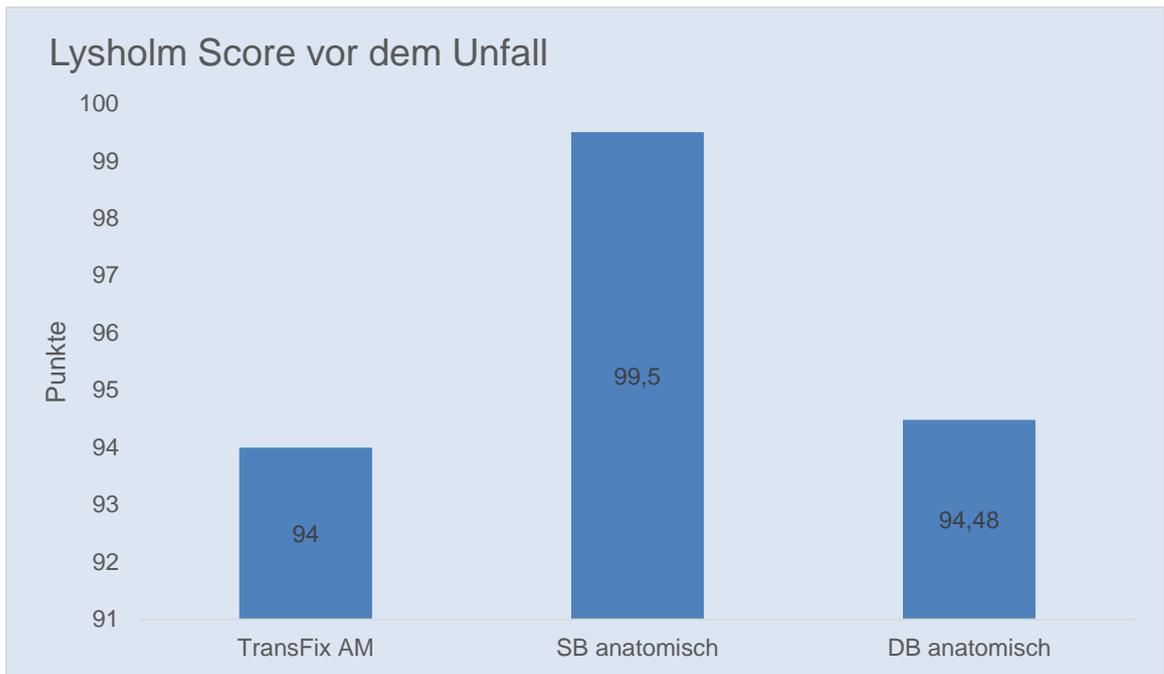


Abb. 23: Lysholm Score vor dem Unfall

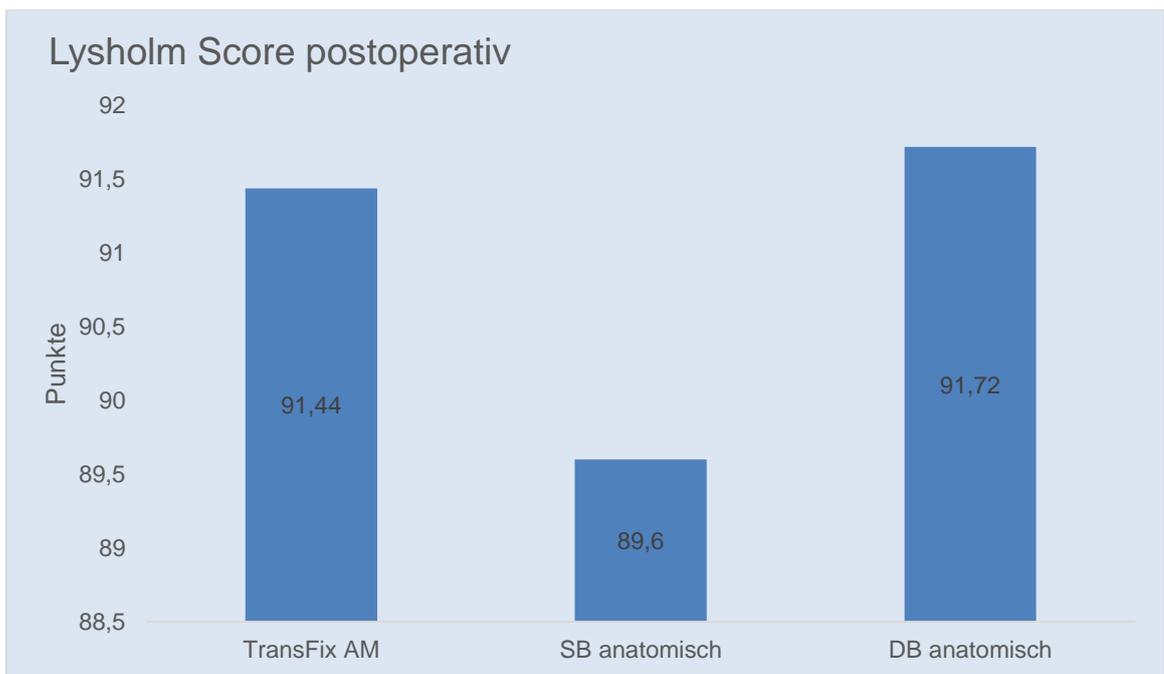


Abb. 24: Lysholm Score postoperativ

Untersucht man die Differenzen der Mittelwerte der drei Gruppen vor dem Unfall und postoperativ, ist auch keine Signifikanz nachweisbar ($p=0,030$). Sich anschließende Mehrfachvergleiche zeigen, dass das Niveau aus der Kombination der Gruppen TransFix AM mit Gruppe SB anatomisch und Gruppe SB anatomisch mit Gruppe DB anatomisch entsteht. Dabei ist die Differenz des Mittelwertes der Gruppe SB anatomisch prätraumatisch zu postoperativ deutlich höher.

Betrachtet man nun die Differenzen der Mittelwerte der Gruppen von präoperativ zu postoperativ liegen keine Gruppeneffekte vor ($p=0,156$).

9.11.1. Lysholm Score–Subkriterien (Hocken, Instabilität, Schmerz, Schwellung, Treppensteigen, Hinken, Gehhilfen) postoperativ

Die Auswertung der Subkriterien für die Beurteilung der Kniestabilität des Lysholm Scores werden nochmals separat betrachtet.

Die Gruppe SB anatomisch weist keinen statistisch signifikanten Unterschied zu den beiden anderen Gruppen bei dem Subscore „Hocken“ auf ($p=0,044$). Die Punktevergabe ist aber deutlich geringer.

Die Untersuchung „Instabilität“ findet sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,159$).

Ein signifikanter Unterschied der Gruppen hinsichtlich des Subscores „Schmerz“ liegt nicht vor ($p=0,814$).

Die Subkriterien „Treppensteigen“, „Schwellung“, „Hinken“ und „Gehhilfen“ werden für die einzelnen Gruppen unter Verwendung der Mittelwerte der erreichten Punkte tabellarisch aufgeführt.

Subkriterium	TransFix AM Mittelwert	SB anatomisch Mittelwert	DB anatomisch Mittelwert
Hocken	4,56	4,17	4,8
Instabilität	29,8	27,85	29
Schmerz	26,8	27,5	27,8
Schwellung	8,6	9,07	8,6
Treppensteigen	9,68	9	9,36
Hinken	2,24	3,78	3,88
Gehhilfen	5	4,78	4,6

Tab. 8: Lysholm Score Subkriterien

9.12. Marshall Score postoperativ

Die Punkteverteilung im Rahmen des Marshall Scores der Gruppe TransFix AM liegt zwischen 28 – 49, Mittelwert 44,16 ($\pm 5,328$).

Gruppe SB anatomisch weist Punkte zwischen 28 – 50 nach, Mittelwert 42,57 ($\pm 4,857$).

Die Punkteverteilung der Gruppe DB anatomisch hat Werte von 31 – 47, Mittelwert 41,68 ($\pm 4,375$).

Es liegen keine signifikanten Unterschiede vor ($p=0,196$).

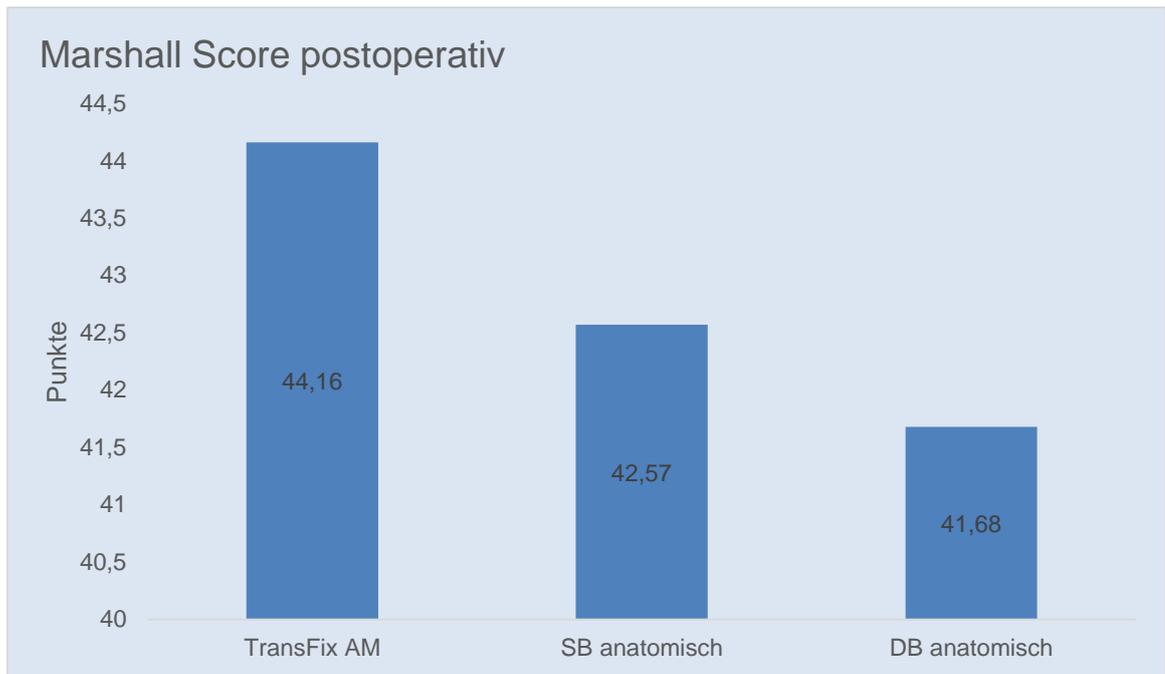


Abb.25: Marshall Score postoperativ

9.13. One leg hop postoperativ

One leg hop	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Normal	12/ 48%	17/ 60,7%	14/ 56%
Fast normal	9/ 36%	7/ 25%	4/ 16%
Abnormal	2/ 8%	3/ 10,7%	3/ 12%
Deutlich abnormal	2/ 8%	1/ 3,57%	4/ 16%

Tab. 9: One leg hop Test postoperativ

Die vorliegenden Unterschiede werden nicht signifikant ($p=0,652$).

9.14. Voroperationen

Um das gesamte Wertungsergebnis besser beurteilen zu können, werden die Voroperationen in das Ergebnis dieser Arbeit aufgenommen.

In der Gruppe TransFix AM hatten bereits 12 Patienten (48%) eine Operation vor der Kreuzbandplastik. Darunter befand sich dreimalig eine diagnostische Kniegelenksarthroskopie, viermal eine Arthroskopie mit Innenmeniskusläsion, einmalig mit Läsion des Außenmeniskus, zweimalig mit Läsion beider Menisci und zweimalig mit einer Chondromalazie des lateralen Femurkondylus.

In der Gruppe SB anatomisch befanden sich 11 Patienten (39,28%) mit Voreingriffen. Darunter dreimalig eine diagnostische Arthroskopie, Arthroskopie mit Innenmeniskusläsion dreimalig, mit Außenmeniskusläsion zweimalig,

kombinierte Innen- und Außenmeniskusläsion mit zweimalig und einmal eine Arthroskopie mit OATS.

In der Gruppe DB anatomisch befinden sich 10 Patienten (40%), die bereits eine Operation am Knie hatten. Davon nur eine diagnostische Arthroskopie mit zwei Patienten, mit Innenmeniskusläsion viermalig und mit Refixation des Innenmeniskus viermalig.

Insgesamt haben bereits 33 Probanden aller 78 untersuchten Patienten eine Voroperation gehabt.

Voroperationen	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Ja	12 / 48%	11 / 39,28%	10 / 40%
Nein	13 / 52%	17 / 60,72%	15 / 60%

Tab. 10: Voroperationen

Alle drei Gruppen unterscheiden sich untereinander nicht signifikant hinsichtlich der Anzahl ihrer Voroperationen ($p=0,782$).

9.15. Begleitpathologien

Unterhalb der Operation der vorderen Kreuzbandersatzplastik fanden sich Begleitpathologien in allen drei Gruppen.

Begleitpathologien	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Ja	12 / 48%	15 / 53,57%	14 / 56%
Nein	13 / 52%	13 / 46,43%	11 / 44%

Tab. 11: Begleitpathologien

Signifikanzen hinsichtlich der Anzahl an Begleitpathologien sind nicht vorhanden.

9.15.1. Meniskusschaden

Einen Innenmeniskusschaden weisen vier (16%) und einen Außenmeniskusschaden weisen ebenfalls vier Patienten (16%) der Gruppe TransFix AM auf. Bei zwei Patienten dieser vier bereits genannten waren beide

Menisci involviert. Insgesamt wurden eine partielle Resektion des Meniskus bei zwei Patienten (8%) und eine Refixation bei drei Patienten (12%) vorgenommen. In der Gruppe SB anatomisch haben neun Patienten (32,14%) einen Innenmeniskusschaden und drei Patienten (10,71%) einen Außenmeniskusschaden. Eine Läsion beider Menisci war hier nicht zu verzeichnen. Eine Refixation wurde in keinem Fall vorgenommen, 8 Patienten (28,57%) wurden mit einer partiellen Resektion therapiert.

Neun Patienten (36%) der Gruppe DB anatomisch haben einen Innenmeniskusschaden und vier Patienten (16%) einen Außenmeniskusschaden. Davon sind zwei Patienten mit beiden Menisci betroffen. In keinem Fall wurde eine Refixation vorgenommen werden, eine partielle Resektion wurde bei vier Fällen (16%) durchführt. Die Patienten mit beiden geschädigten Menisci erhielten für beide Menisci eine partielle Resektion.

Meniskusschaden	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Innenmeniskus	4 / 16%	9 / 32,14%	9 / 36%
Außenmeniskus	4 / 16%	3 / 10,71%	4 / 16%

Tab. 12: Meniskusschaden

Bei dem Kriterium Meniskusschaden liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede vor (Innenmeniskus $p=0,246$, Außenmeniskus $p=0,813$).

Meniskustherapie - insgesamt	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Partielle Resektion	2 / 8%	8 / 28,57%	4 / 16%
Refixation	3 / 12%	0	0

Tab. 13: Meniskustherapie insgesamt

Die Gruppenvergleiche der Meniskustherapie ist für die partielle Resektion nicht signifikant ($p=0,143$), auch zeigt sich keine Signifikanz bei der Therapie mit Refixation ($p=0,037$). Diese wurde jedoch nur in der Gruppe TransFix AM vorgenommen und in den anderen beiden Gruppen nicht. Und die Anzahl ist ebenfalls gering.

War lediglich nur ein minimaler Schaden eines Meniskus vorhanden, wurde dieser dokumentiert, jedoch eine Glättung nicht weiter zahlenmäßig als operative Intervention aufgeführt.

9.15.2. Knorpelschaden

Bei 7 Patienten (28%) der Gruppe TransFix AM zeigte sich ein Knorpelschaden retropatellär (zwischen I – IV°), bei 5 Patienten (20%) lag ein Knorpelschaden im Bereich des medialen (II – III°) und bei 3 Patienten (12%) (II°) im Bereich des lateralen Femurkondylus vor. Ein Schaden des medialen Tibiaplateaus wiesen 2 Patienten (8%) (II°) und im lateralen Tibiaplateau 1 Patient (4%) (II°) nach.

In Gruppe SB anatomisch hatte lediglich ein Patient (3,57%) einen II° retropatellären Schaden. Ein Knorpelschaden des medialen Femurkondylus hatten 5 Patienten (17,85%) (zwischen I-IV°), des lateralen Femurkondylus kein Patient (0%). Im Bereich des medialen Tibiaplateaus lag zweimal (7,14%) ein Knorpelschaden I° vor, lateral keine Schäden.

Retropatelläre Knorpelschäden fanden sich in Gruppe DB anatomisch nicht. Der mediale Femurkondylus war bei 6 Patienten (24%) (I – IV°) betroffen, der laterale gar nicht. Das mediale und laterale Tibiaplateau zeigte bei keinem Patienten (0%) dieser Gruppe eine Läsion.

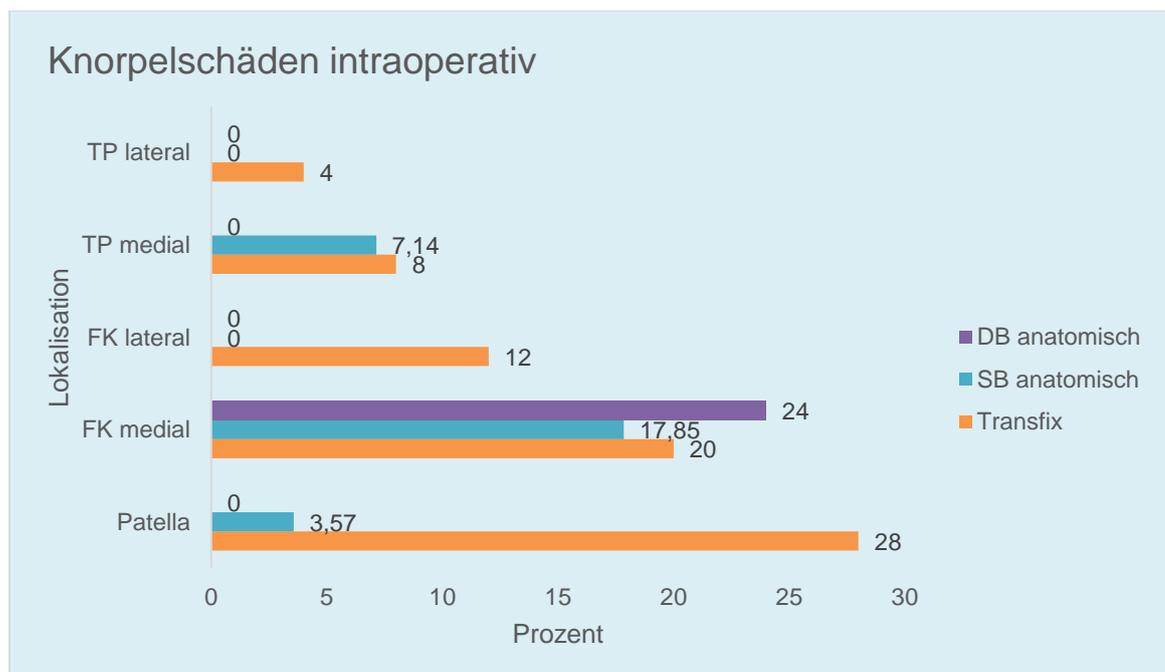


Abb. 26: Knorpelschäden intraoperativ

Die DB anatomisch versorgte Patientengruppe 3 weist in der Kategorie Knorpel-schaden-Patella insgesamt weniger Knorpelschäden auf. Hier liegt ein signifikanter Gruppenunterschied vor ($p=0,001$).

Knorpelschäden im Bereich des medialen ($p=0,124$) und des lateralen Femurkondylus ($p=0,060$) sind nicht signifikant. Ebenfalls liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede für die Bereiche mediales ($p=0,092$) und laterales ($p=0,641$) Tibiaplateau vor.

9.15.3. Andere Begleitpathologien

Der Vollständigkeit wegen ist in der Gruppe SB anatomisch ein Patient zu erwähnen, der extern eine Knorpel-Knochen-Zylinder Operation erhalten hatte (med. Femurkondylus), welche gut eingeeilt sind und ein zweiter Patient, welcher Briden im medialen Recessus aufwies.

9.16. Rupturform des VKB und Lokalisation

Eine vollständige Ruptur des VKB hatten 12 Patienten (48%) der Gruppe TransFix AM, bei 3 fand sich ein elongiertes VKB, bei 10 Patienten (40%) lag ein partieller Riss vor. Eine proximale Ruptur lag bei 20 Patienten (80%), eine distale bei 2 Patienten (8%) und eine intermediäre lag bei 3 Patienten (12%) vor.

In der Gruppe SB anatomisch befanden sich 23 Patienten (82,14%) mit einer kompletten Ruptur, partiale Rupturen lagen bei 5 Patienten (17,85%) vor. Elongationen des VKBs waren nicht enthalten. Bei allen 28 Patienten (100%) lag eine proximale Ruptur vor, distale Rupturlokalisierung fand sich in keinem Fall. Ebenso war keine intermediäre Ruptur vorhanden.

In Gruppe DB anatomisch hatten 21 Patienten (84%) einen kompletten vorderen Kreuzbandriß. Ein elongiertes vorderes Kreuzband war bei 4 Patienten vorliegend. Partialrupturen in dieser Gruppe waren nicht vorhanden. Proximale vordere Kreuzbandrupturen lagen bei 21 Patienten (84%) vor, intermediäre Läsionen bei 4 Patienten (16%) und distale Rupturlokalisierungen gar nicht.

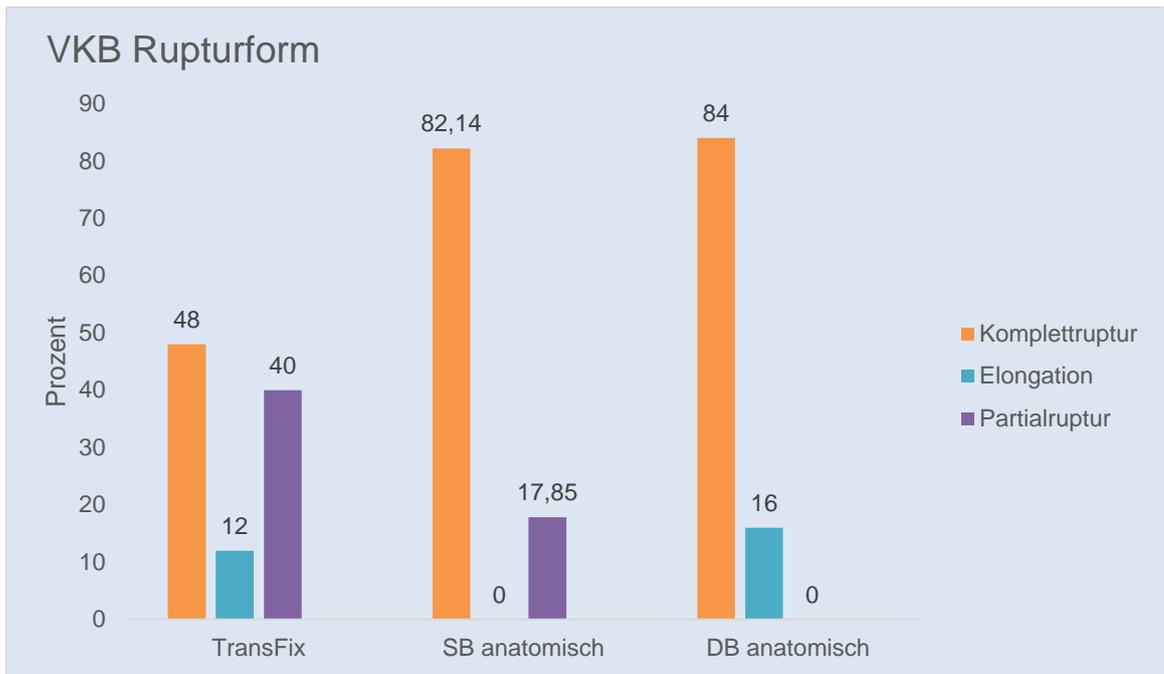


Abb. 27: VKB-Rupturform

Hier wird ein Gruppenunterschied zugunsten der Komplettruptur des VKBs der Gruppen 2 und 3 auffällig ($p=0,06$). Die Kontrolle der partiellen VKB-Rupturen weist einen signifikanten Gruppenunterschied nach ($p=0,01$). Die Gruppe 1 hat wesentlich mehr Partialrupturen.

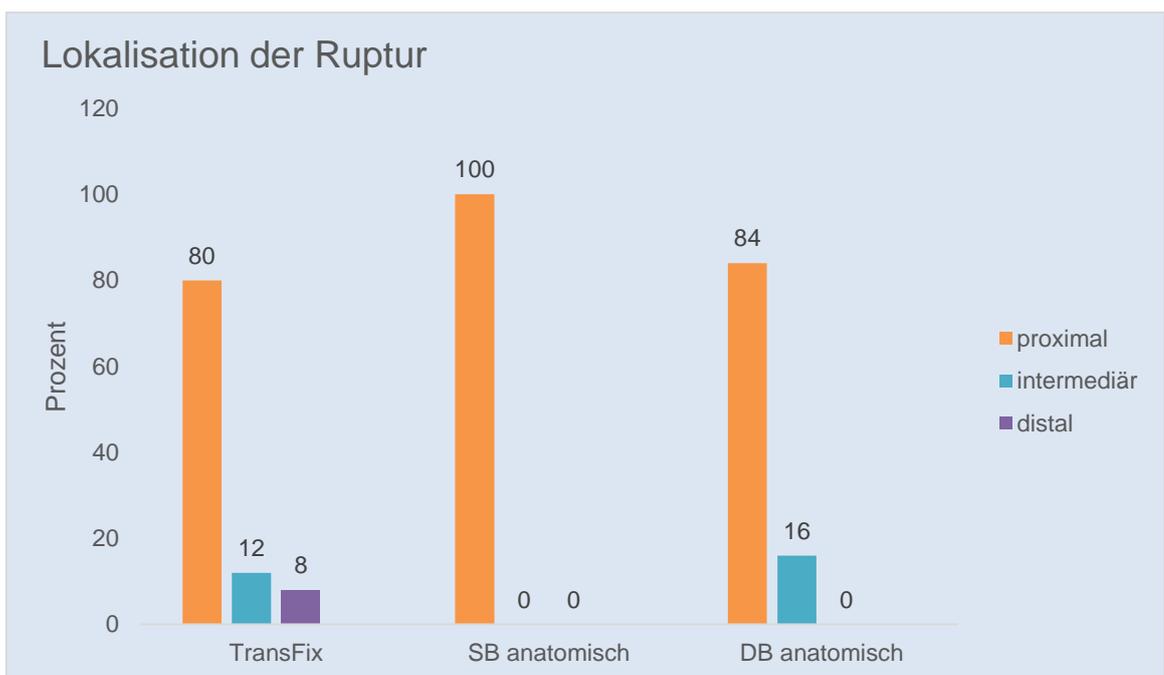


Abb. 28: Lokalisation der Ruptur

9.17. Bündelbeteiligung

Bei 14 Patienten (56%) der Gruppe TransFix AM war das AM-Bündel, bei 22 Patienten (88%) das PL-Bündel betroffen.

In der Gruppe der Versorgung in SB anatomisch waren 24 Patienten (85,71%) mit einer AM- Bündel-Läsion und 27 Patienten mit einer PL-Bündelläsion (96,43%).

Die Ruptur des AM-Bündels betraf alle 25 Patienten (100%), ebenso das PL-Bündel (100%) der Gruppe DB anatomisch, da die Elongationen des VKBs hinsichtlich der Funktionalität einer vollständigen Ruptur gleichgesetzt wurden.

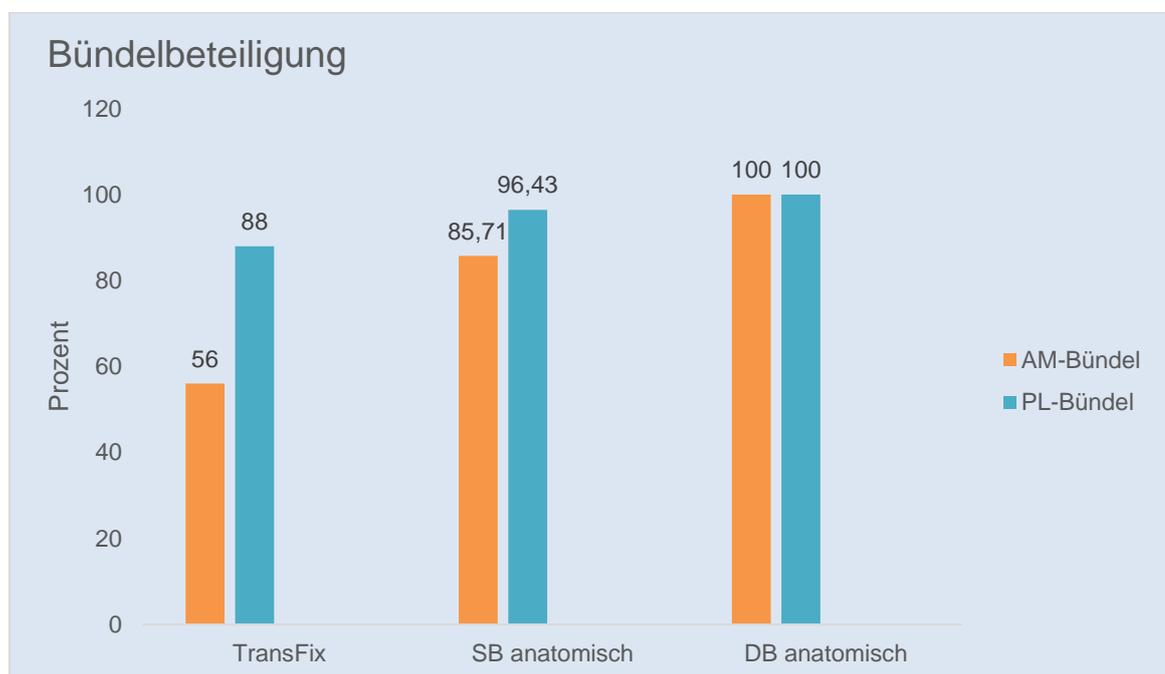


Abb.29: Bündelbeteiligung

Statistisch liegt ein Gruppenunterschied bei der Beteiligung des AM-Bündels vor ($p=0,009$). In der TransFix AM-Gruppe sind weniger Patienten mit AM-Bündelbeteiligung. Die statistische Untersuchung der PL-Bündelbeteiligung zeigt keinen signifikanten Gruppenunterschied.

9.18. Komplikationen und Revisionseingriffe

Vier Patienten (16%) der Transfix AM operierten weisen Komplikationen auf, davon mussten drei Patienten (12%) erneut operiert werden. Die Ursachen der Folgeoperationen waren einmal eine Cyclopseudentwicklung und zweimal eine Hautnekrose und bei diesen beiden eine Reruptur des VKBs.

In der Gruppe SB anatomisch waren ebenfalls vier Patienten (14,3%) mit komplikationsbehafteten postoperativem Verlauf. Ein Patient hatte eine Reruptur, einer eine Innenmeniskuläsion, ein Patient einen freien Gelenkkörper und einer eine tiefe Venenthrombose. Die drei erst genannten (10,71%) erhielten eine Folgeoperation mit Revisionsplastik, partieller Innenmeniskusrsektion und der letzte Patient die Entfernung des freien Gelenkkörpers.

Die DB anatomisch-Gruppe war mit drei Patienten (12%), welche eine Komplikation hatten, behaftet. Davon hatte ein Patient gleichzeitig eine Reruptur der VKB-Ersatzplastik, Außen- und Innenmeniskusläsion, der zweite Patient erlitt tibial einen Schraubenbruch und der dritte Patient klagte in der fünften postoperativen Woche weiter über erhebliche Beschwerden, welche dann durch ein vorgegebenes Rehabilitationsprogramm gelöst werden konnten. Dieser Patient erhielt anstelle der Hamstringsversorgung die operative Versorgung mit Gracilis- und Facia lata-Sehne, da intraoperativ die STT-Sehne gerissen und nicht aufgefunden werden konnte. Letztendlich erhielten zwei Patienten (8%) eine Folgeoperation. Darunter der Erstgenannte eine partielle Innen- und Außenmeniskusresektion und eine VKB-Revisionsplastik mit BTB. Dem zweiten Patienten wurde der intraartikuläre Schraubenbruch arthroskopisch entfernt. Insgesamt mussten sich zwei Patienten (8%) einem Revisionseingriff unterziehen.

	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Komplikationen			
Ja	4/ 16%	4/ 14,3%	3/ 12%
Nein	21/ 84%	24/ 86,7%	22/ 88%
Revisionseingriffe			
Ja	3/ 12%	3/ 10,71%	2/ 8%
Nein	22/ 88%	25/ 89,29%	23/ 92%

Tab. 14: Komplikationen/ Revisionseingriffe

Ein statistisch signifikanter Gruppenunterschied hinsichtlich Komplikationen ($p=0,920$) und deren Revisionseingriffe ($p=0,893$) fand sich nicht.

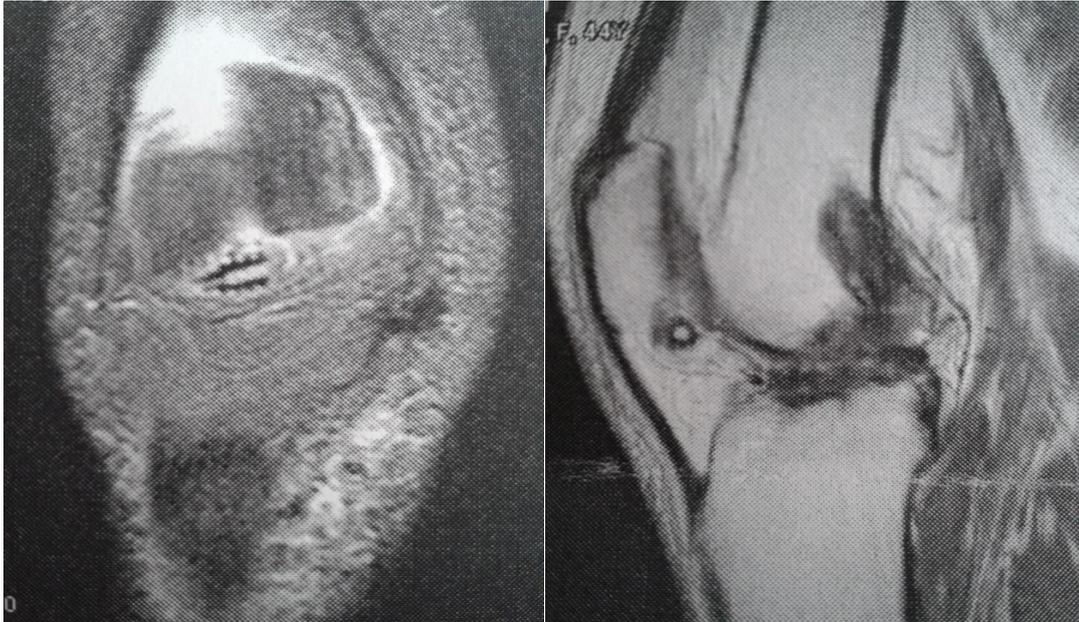


Abb. 30: Tibialer Schraubenbruch mit intraartikulärer Lage, MRT 5 Mo. nach Primärversorgung mit DB anatomisch

9.19. Heel hight difference

Bei dieser Untersuchung gibt es keine wesentlichen Auffälligkeiten aller drei untersuchten Gruppen. Lediglich ein Patient (4%) aus der Gruppe DB anatomisch fällt mit 1 auf.

9.20. Differenz Muskelumfang

Die Differenzen der Muskelumfänge im Vergleich zur Gegenseite wurden oberhalb 20 cm ab Gelenkspalt gemessen.

Differenz Muskelumfang	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
0 cm	9 / 36%	7 / 25%	9 / 36%
0,1-1cm	10/ 40%	13 / 46,42%	13 / 52%
1,1-2cm	3 / 12%	5 / 17,85%	2 / 8%
2,1-3cm	3 / 12%	3 / 10,71%	1 / 4%
>3cm	0	0	0
Mittelwert / cm	1	1,107	0,8

Tab. 15: Differenz Muskelumfang

Es liegt kein signifikanter Gruppenunterschied vor ($p=0,457$).

9.21. IKDC - Kniefunktion, Aktivitätslevel, Symptome, Ligamentuntersuchung

Zunächst zur subjektiven Beurteilung der Patienten der Gruppe TransFix AM. 16 Patienten (64%) beurteilten ihre Kniefunktion als normal (A), 7 Patienten (28%) als fast normal (B), mit abnormaler Kniefunktion beurteilten 2 Patienten (8%)(C). Mit stark abnormaler Beurteilung war kein Patient (0%)(D). Das Aktivitätslevel setzte sich aus 18 Patienten (72%) ohne Beeinträchtigung (A), 3 Patienten (12%) mit geringer Beeinträchtigung (B) und 4 Patienten (16%) mit starker Beeinträchtigung (C). Mit stark abnormaler Beeinträchtigung (D) gab es keinen Patienten. Ein Fehlen von signifikanten Symptomen, wie Schmerz, Schwellung, Giving way Phänomen, bei höchstem Aktivitätsniveau zeichnete sich bei 15 Patienten (60%) (A) ab, eine geringe Symptomatik beurteilten 5 Patienten (20%)(B), ebenso beurteilten 5 Patienten (20%) starke Symptome (C) und auch hier kein Patient (0%) mit massiven Symptomen (D). Die Bewegungsausmaße prä- und postoperativ wurden im Einzelnen in Punkt 10.6 bereits ausführlich aufgelistet. Eine volle Extension (A) erreichten 22 Patienten (88%), eine Extension mit Defizit 3-5° (B) erreichten 3 Patienten (12%), die volle Flexion (A) war bei allen Patienten dieser Gruppe (100%).

Die Untersuchung des Bandapparates in Bezug auf das IKDC Standardevaluationsblatt (Lachman Test, VSL, HSL, Pivot shift Test, Reversed Pivot shift Test) ergab lediglich einmalig eine VSL mit 3-5mm (B), alle anderen Ligamentstabilitätstests ergaben bei allen Patienten einen bandstabilen Knieapparat (A).

In Gruppe SB anatomisch beurteilen 17 Patienten (60,71%) ihre Kniefunktion als normal (A), 8 Patienten (28,57%) als fast normal (B), 3 Patienten (10,71%) mit abnormaler Funktion (C). Mit stark abnormaler Beurteilung (D) war kein Patient (0%) dabei.

Ohne Beeinträchtigung des Aktivitätslevels (A) waren 14 Patienten (50%), 10 Patienten (35,71%) mit geringer Beeinträchtigung (B), mit starker Beeinträchtigung (C) waren 4 Patienten (14,28%), zur D-Kategorie war kein Patient (0%) zugehörig. Ohne signifikante Symptome (A) waren 13 Patienten (46,42%), mit geringer Symptomatik (B) waren 10 Patienten (35,71%), 5 Patienten (17,85%) wiesen starke Symptome (C) auf. Kein Patient (0%) gab massive

Symptome (D) an. Hinsichtlich der Bewegungsausmaße weisen alle Patienten (100%) eine volle Extension und eine regelrechte Flexion (100%) (A) nach. Die Untersuchung des Bandapparates splittet sich in dieser Gruppe in mehrere Auffälligkeiten auf. Der Lachman Test ist bei 1 Patient zwischen 6-10mm, die VSL bei 1 Patienten zwischen 3-5mm und bei 1 Patienten zwischen 6-10mm. Der Pivot shift Test ist bei 3 Patienten (+) und bei 1 Patienten (+++).

In der Gruppe der DB anatomisch versorgten Patienten beurteilten 11 Patienten (44%) die Kniefunktion als normal (A), fast normal (B) 12 Patienten (48%), als abnormal (C) 2 Patienten (8%). Keine Beeinträchtigung des Aktivitätslevels gaben 9 Patienten (36%) (A) an, 13 Patienten (52%) mit geringer (B), 2 Patienten (8%) mit starker Beeinträchtigung (C) und 1 Patient (4%) mit massiver Beeinträchtigung (D). Lediglich 6 Patienten (24%) waren symptomfrei (A), eine geringe Symptomatik (B) hatten 10 Patienten (40%), mit stark vorliegenden Symptomen (C) waren 9 Patienten (36%), massive Symptome (D) gab kein Patient (0%) an.

Das volle Extensionsausmaß erreichten alle 25 Patienten (100%, A) der DB anatomisch-Gruppe. In der Flexion war ein Patient (4%, B) mit einem Defizit von 6-15°, alle anderen 24 hatten eine freie Beugung (96%, A). Die Ligamentuntersuchung zeigt bei 3 Patienten (12%) einen vorliegenden Lachman Test mit 3-5mm, bei 3 Patienten (12%) eine VSL mit 3-5mm und einen Pivot shift Test (+) bei 2 Patienten (8%).

Kniefunktion	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
A	64%	60,71%	44%
B	28%	28,51%	48%
C	8%	10,71%	8 %
D	0	0	0

Tab. 16: IKDC-Kniefunktion subjektiv

Es liegen statistisch keine Gruppenunterschiede vor (p=0,544).

Aktivitätslevel	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
A	72%	50%	36%
B	12%	35,71%	52%
C	16%	14,28%	8 %
D	0	0	4 %

Tab. 17: IKDC-Aktivitätslevel

Gruppenunterschiede zum Aktivitätslevel sind nicht signifikant (p=0,061), allerdings erkennt man in der Gruppe TransFix AM ein deutlich höheres Aktivitätsniveau ohne Symptome. Der einzige Patient aus Gruppe DB anatomisch

mit dem Aktivitätslevel D übt seinen Beruf als Golflehrer nicht mehr aus und gibt an, keinen Sport mehr durchzuführen. Kein weiterer Patient aller drei Gruppen hat seine berufliche Tätigkeit aufgrund der stattgehabten Kreuzbandersatzoperation geändert. Ein Patient aus der SB anatomisch-Gruppe übt keinerlei sportliche Aktivitäten aufgrund ärztlichen Abratens aus. Die Ursache seiner VKB-Ruptur war lediglich ein Fehltritt beim einfachen Laufen. Ein weiterer Patient dieser Gruppe übt nach der Kreuzbandersatzplastik keinen Leistungssport sondern nur noch Freizeitsport (Joggen 1x/Woche) aus. Eine Patientin dieser Gruppe nimmt ihre sportliche Aktivität (Tennis, 1x/Woche) nur mit Kniebandage wahr.

Die Rückkehr in den präoperativen Sport haben in Gruppe TransFix AM 18 Patienten (72%) voll aufgenommen, 7 Patienten (28%) mit Einschränkungen. In Gruppe 2 waren jeweils 14 Patienten (50%) ohne und 14 Patienten mit Einschränkungen in der jeweiligen Sportart. In der Gruppe DB anatomisch konnten 9 Patienten (36%) ohne Einschränkungen, 15 Patienten (60%) mit Einschränkungen diese Sportart wieder durchführen. Ein Patient (4%) fand keine Rückkehr in den Sport.

Fehlen von Symptomen	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
A	60%	46,42%	24%
B	20%	35,71%	40%
C	20%	17,85%	36%
D	0	0	0

Tab. 18: IKDC-Fehlen von Symptomen

Es liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede in dieser Kategorie vor ($p=0,108$).

Extension	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
A	88%	100%	100%
B	12%	0	0
Flexion			
A	100%	100%	96%
B	0	0	4 %

Tab. 19 : IKDC-Extension und Flexion postoperativ

Niedrigere Kategorien als A und B sind im Bewegungsausmaß postoperativ nicht vorhanden. Es liegen keine signifikanten Gruppenunterschiede vor.

9.22. IKDC - Anschlag

Anschlag	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Fest	25/100%	27/ 96,42%	25/100%
Weich	0	1/ 3,58%	0

Tab. 20: IKDC-Anschlag

Da lediglich nur ein Patient aller drei Gruppen einen weichen Anschlag hatte, wird auf die statistische Auswertung nicht weiter eingegangen.

9.23. IKDC - gesamt

Die Auswertung aller einzeln erhobenen Befunde des IKDC Standardevaluationsblattes für die ersten vier Bereiche, die lediglich in die Gesamtbewertung eingehen, hat in der TransFix AM-Gruppe folgende Verteilung: zur Gruppenqualifizierung A sind 12 Patienten (48%), zu B sind 8 Patienten (32%), zu C sind 5 Patienten (20%) und zu D kein Patient zugehörig.

Die SB anatomisch-Gruppe setzt sich mit 11 Patienten (39,2%) zur Gruppenqualifizierung A, mit 10 Patienten (35,7%) zu B, 6 Patienten (21,4%) zu C und mit 1 Patient (3,57%) zu D zusammen.

Die DB anatomisch-Gruppe besteht aus 5 Patienten (20%) zur Gruppenqualifizierung A, mit 11 Patienten (44%) zu B, mit 8 Patienten (32%) zu C und mit 1 Patient (4%) zu Gruppe D.

Gruppenqualifikation	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
A	12/48%	11/39,2%	5/20%
B	8/32%	10/35,7%	11/44%
C	5/20%	6/21,4%	8/32%
D	0	1/ 3,57%	1/ 4%

Tab. 21: IKDC-Gruppenqualifikation gesamt

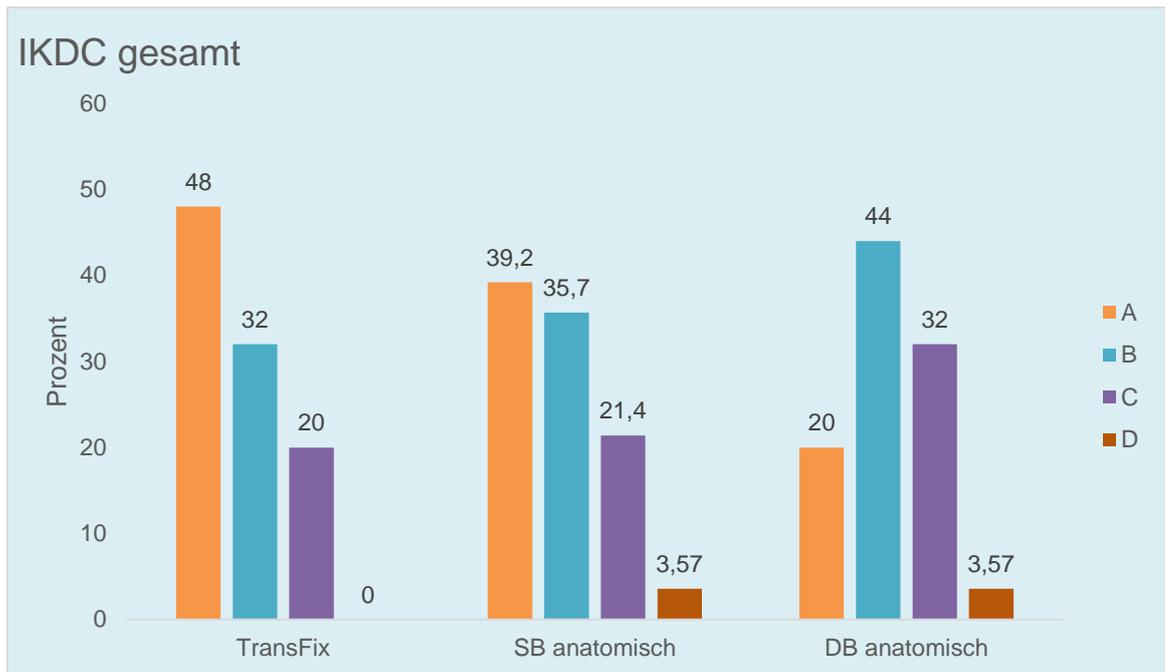


Abb.31: IKDC gesamt

Werden alle Untergruppen des subjektiven Teils des IKDC einbezogen, weist die statistische Auswertung keine signifikanten Gruppenunterschiede nach ($p=0,026$).

9.24. IKDC - Kompartimentbefunde

Die kompartimentellen Befunde der drei Gruppen werden nochmals einzeln aufgeschlüsselt.

Kompartimentbefund	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Patello-femoral			
Kein Schmerz	24/ 96%	28/100%	21/ 84%
Mäßiger Schmerz	1/ 4%	0	4/ 16%
Schmerzhaft	0	0	0
Stark schmerzhaft	0	0	0
Kompartiment medial			
Kein Schmerz	20/ 80%	24/ 85,71%	22/ 88%
Mäßiger Schmerz	5/ 20%	2/ 7,14%	3/ 12%
Schmerzhaft	0	2/ 7,14%	0
Stark schmerzhaft	0	0	0
Kompartiment lateral			
Kein Schmerz	25/100%	28/100%	23/ 92%
Mäßiger Schmerz	0	0	2/ 8%
Schmerzhaft	0	0	0
Stark schmerzhaft	0	0	0

Tab. 22: IKDC-Kompartimentbefunde

Unter statistischer Aufarbeitung sind keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (Kompartiment patello-femoral $p=0,075$, medial $p=0,321$, lateral $p=0,1$).

9.25. IKDC - Transplantatentnahmemorbidity

Die wesentlichsten Beschwerden aller untersuchten Patienten betrafen Missempfindungen und Sensibilitätsstörungen insgesamt im Bereich der Transplantatentnahmestelle.

Transplantatentnahmemorbidity	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Keine	18/ 72%	14/ 50%	16/ 64%
Gering	6/ 24%	9/ 32,10%	7/ 28%
Mäßig	1/ 4%	5/ 17,80%	1/ 4%
Stark	0	0	1/ 4%

Tab. 23: IKDC-Transplantatentnahmemorbidity

Es sind keine signifikanten Gruppeneffekte vorliegend ($p=0,247$).

9.26. IKDC - Röntgenbefunde

	TransFix AM n=25	SB anatomisch n=28	DB anatomisch n=25
Medialer GS			
Normal	18/ 72%	17/ 60,71%	15/ 60%
>4mm	5/ 20%	11/ 39,28%	9/36%
2-4mm	2/ 8%	0	1/ 4%
<4mm	0	0	0
Lateraler GS			
Normal	23/ 92%	28/100%	23/ 92%
>4mm	2/ 8%	0	2/ 8%
2-4mm	0	0	0
<4mm	0	0	0
Patello-fem. GS			
Normal	25/100%	28/100%	25/100%

Tab. 24: IKDC-Röntgenbefunde

Insgesamt zeichnen sich Gruppenunterschiede weder im medialen ($p=0,371$) noch im lateralen ($p=0,307$) Gelenkspaltbereich ab.

9.27. Röntgenbildbeurteilung - Bohrkanäle – numerischer Vergleich

Mittelwerte in der Beurteilung nach	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Aglietti (Norm 65%)			
Kondylenlänge a.p. in mm	48,47	50,20	50,26
Bohrlochzentrum in mm	33,54/ 69,51%	33,44/ 67,07%	AM 38,78/ 77,65%

			PL 35,36/ 70,45 % Ø 74,05%
Harner (Norm 80%) Länge Blumen- saatline in mm Bohrlochzentrum in mm	32,79 26,89/ 81,67%	34,04 25,82/ 75,61%	34,64 AM 29,55/ 85,32% PL 26,32/ 76,10% Ø 80,71%
Stäubli (Norm 44%) Tibiaplateaulänge a.p. in mm Bohrlochzentrum in mm	54,61 24,94/ 45,72%	53,48 21,82/ 41,07%	56,00 AM 20,13/ 35,80% PL 27,86/ 49,72% Ø 42,76%
Femoral frontal (Norm 52°) Bohrkanalwinkel in Grad	57,85°	50,36°	AM 64,95° PL 39,53° Ø 52,24°
Tibial frontal (Norm 44%) Tibiaplateaubreite in mm Bohrlochzentrum in mm	82,23 37,39/ 45,23%	82,55 37,66/ 45,94%	88,15 AM 43,08/ 48,91% PL 38,44/ 43,33% Ø 46,12%

Tab. 25: Röntgenbildbeurteilung-Lage Bohrkanäle

Für die Lagebestimmung der Bohrkanäle in Doppelbündeltechnik existieren prozentual gesehen keine Normwerte.

Obwohl die Messmethoden nach Aglietti und Harner die seitliche Röntgenaufnahme des Femurs zu Grunde legen, weist die SB anatomisch-Gruppe in der Agliettimesmethode dem am Normwert nächsten gelegenen Medianwert auf und in der Messmethode nach Harner die Gruppe DB anatomisch vorbehaltlich der Berechnungsmethode. Die Gruppen SB und DB anatomisch weisen keine signifikanten Gruppenunterschiede in der Messung nach Aglietti auf ($p=0,298$). Es liegt zwischen diesen beiden Gruppen in der Messung nach Harner kein signifikanter Unterschied ($p=0,04$) bei der Bohrkanallage femoral vor. Die Medianwerte der TransFix AM-Gruppe liegen hierbei deutlich näher am Normwert. Zur Veranschaulichung sind die femoral seitlichen Messmethoden der DB anatomisch-Gruppe grafisch dargestellt.

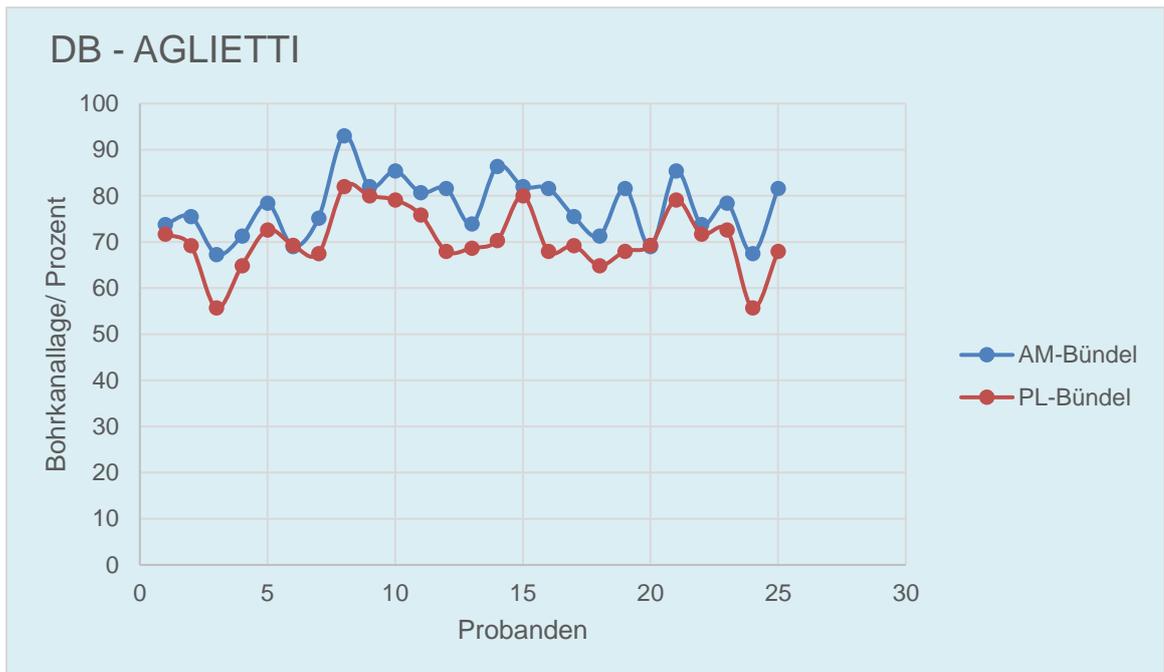


Abb. 32: DB anatomisch-Messung nach Aglietti
 Median AM-Bündel 77,66% ± 6,57%
 Median PL-Bündel 70,45% ± 6,60%

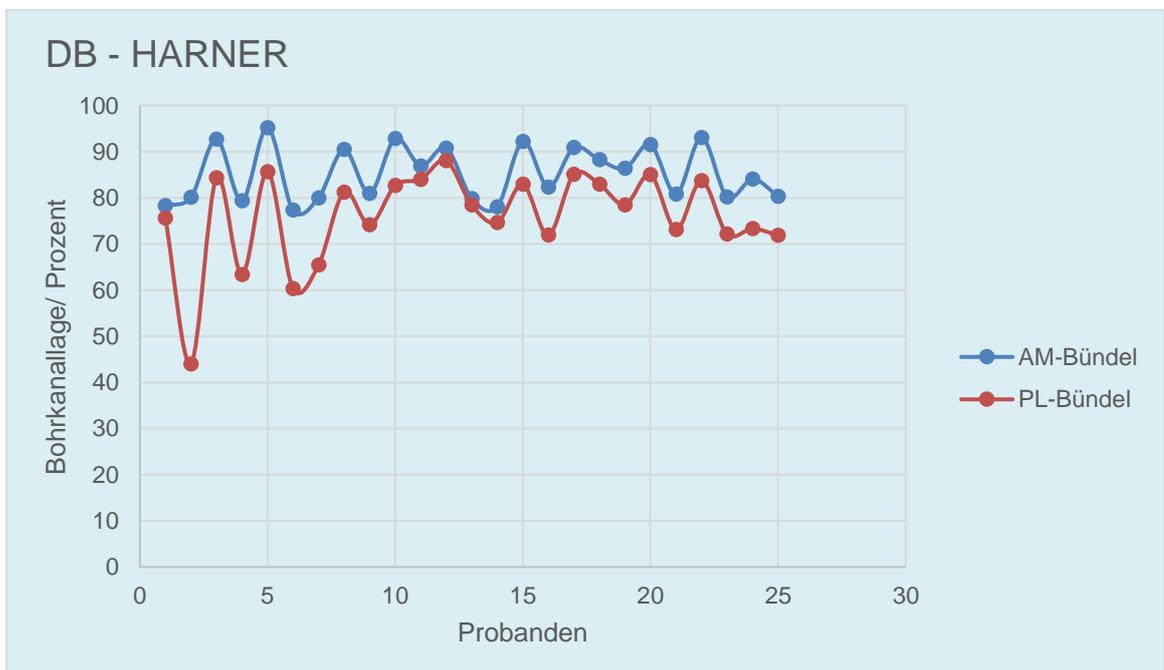


Abb. 33: DB anatomisch-Messung nach Harner
 Median AM-Bündel 85,32%
 Median PL-Bündel 76,10%

Es liegen zwischen den Versorgungstechniken TransFix AM und SB anatomisch keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p=0,017$) hinsichtlich der Bohrkanallage

mit Messung nach Stäubli vor. Der Mittelwert der Gruppe TransFix AM befindet sich deutlich näher am Normwert als die Werte der Gruppe SB anatomisch.

Die in antero-medialer Portaltechnik angelegten femorale Bohrkanäle der TransFix AM-Gruppe, frontal gemessen, sind deutlich steiler angelegt als die der SB anatomisch-Gruppe. Im Vergleich liegt ein hochsignifikanter Gruppenunterschied vor ($p=0,009$). Die TransFix AM versorgte Population hat eine wesentlich steilere Bohrkanallage als Gruppe SB anatomisch, welche mit dem Mittelwert von $50,36^\circ$ deutlich weiter am Normwert von 52° liegt. Berechnet man den Mittelwert aus den Mittelwerten beider Bündel der Double-Bundle-Versorgung, wäre dieser mit $52,24^\circ$ der dem Normwert fast regelrechten Lage bei dieser Messmethode.

Zwischen den Messungen der tibialen Bohrkanallage frontal gemessen gibt es keine Gruppenunterschiede zwischen TransFix AM und SB anatomisch ($p=0,326$).

9.28. Röntgenbildbeurteilung Buttonlage – numerischer Vergleich

Eine Beurteilung der Buttonlage der TransFix AM-Gruppe schließt sich durch die OP-Technik bereits aus.

Buttonabstand femoral zur Kortikalis in mm	SB anatomisch	DB anatomisch
Bündel/ Mittelwert	0- 3,3 / 0,575 / $\pm 0,79$	
AM Bündel/ Mittelwert		0- 2,8 / 0,512 / $\pm 0,814$
PL Bündel/ Mittelwert		0- 1,9 / 0,576 / $\pm 0,63$

Tab. 26: Buttonabstand zur Kortikalis

9.29. Zusammenhangsuntersuchungen

9.29.1. Zusammenhang OP-Technik und Bandstabilität (VSL, Lachman Test, Pivot shift Test)

Es liegt kein signifikanter Unterschied der drei Gruppen bei Untersuchung der VSL postoperativ vor ($p=0,520$).

Beim Lachman Test postoperativ zeigt sich keine Signifikanz ($p=0,154$).

Das Signifikanzniveau der Pivot shift Untersuchungsbefunde postoperativ befindet sich bei $p=0,332$. Also auch kein signifikanter Unterschied.

9.29.2. Zusammenhang OP-Technik und Komplikationen

Bei Vorliegen eines Signifikanzniveaus von $p=0,920$ liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei untersuchten Gruppen in Bezug auf das Auftreten von Komplikationen vor.

9.29.3. Zusammenhang OP-Technik und Voroperationen

Alle drei Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant, was die Anzahl der Voroperationen angeht ($p=0,782$).

9.29.4. Zusammenhang Patientenalter bei Unfall und Muskelumfangsdifferenz

Das Signifikanzniveau in Betrachtung von Alter beim Unfall und postoperative Muskelumfangsdifferenz weist keinen Zusammenhang nach ($p=0,633$).

9.29.5. Zusammenhang Patientenalter bei Unfall und Anzahl Voroperationen

Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen Alter beim Unfall und bereits erfolgten Voroperationen ($p=0,314$).

9.29.6. Zusammenhang Patientenalter bei Unfall und Rissform des VKB

Vergleicht man die Mittelwerte von Alter beim Unfall und den vorhandenen Rissformen des vorderen Kreuzbandes (partiell, elongiert und total) liegt keine signifikante Korrelation ($p=0,173$) vor. Die vorhandene Rupturform ist altersunabhängig, trotz der in dieser Studie teilgenommenen Altersgruppen von Minimum 13 bis Maximum 71 Jahre.

9.29.7. Zusammenhang Patientenalter bei Unfall und Transplantatentnahmemorbidity

Hinsichtlich der Transplantatentnahmemorbidity in Abhängigkeit vom Alter gibt es keinen korrelativen Zusammenhang ($p=0,413$).

9.29.8. Zusammenhang Patientenalter bei Unfall und Lysholm, Tegner, Marshall Score postoperativ und IKDC

Der Vergleich des Alters aller Probanden in Korrelation mit dem Lysholm Score postoperativ gibt es keinen Zusammenhang nach ($p=0,246$). Auch die Abhängigkeit der Score Werte aus dem Marshall Score sind altersunabhängig ($p=0,412$). So ist ebenfalls die Wertung des IKDC gesamt altersunabhängig ($p=0,429$). Einen signifikanten Unterschied ($p=0,005$) haben die Werte des Tegner Aktivitätsscores in Abhängigkeit zum Alter. Je höher das Alter, desto niedriger sind die Tegner Score Werte postoperativ.

9.29.9. Zusammenhang Intervall Unfall-Operation und Aktivitätslevel postoperativ

Das Intervall von Unfallzeitpunkt zur Operation hat auf den postoperativen Aktivitätslevel keinen signifikanten Einfluss ($p=0,505$).

9.29.10. Zusammenhang Unfallmechanismus und Aktivitätslevel postoperativ

Ob die vordere Kreuzbandverletzung durch eine Kontakt- oder Nichtkontaktsache hervorgerufen wurde und damit einen Einfluss auf den postoperativen Aktivitätslevel besitzt, weist durch ein Signifikanzniveau von $p=0,970$ keinerlei Korrelation nach.

9.29.11. Zusammenhang Score Werte (Tegner, Lysholm, Marshall Score postoperativ, IKDC) und Begleitpathologien

	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Begleitpathologie bei % der Gruppe	48%	53,6%	56%
Tegner Score Pkt.	5,24 ±1,128	5,67 ±1,541	5,04 ±1,594
Lysholm Score Pkt.	91,44 ±11,314	89,60 ±10,038	91,72 ±5,572
Marshall Score Pkt.	44,16 ±5,328	42,57 ±4,857	41,68 ±4,375
IKDC gesamt in Prozent	A= 48 B= 32 C= 20 D= 0	A= 39,2 B= 35,7 C= 21,4 D= 3,57	A= 20 B= 44 C= 32 D= 4

Tab. 27: Zusammenhang Scores und Begleitpathologien

Die wenigsten Begleitpathologien sind in der TransFix AM-Gruppe vorhanden, die meisten bei der DB anatomisch-Gruppe. Trotzdem erreicht diese die meisten Punkte beim Lysholm Score. Beim Marshall Score und dem IKDC weist die TransFix AM-Gruppe die besten Werte auf, wobei diese Gruppe die wenigsten Begleitpathologien hat. Insgesamt liegen alle Gruppen nah beieinander, ohne dass sich ein signifikanter Unterschied herausstellt.

9.29.12. Zusammenhang Muskelumfangsdifferenz und One leg hop Test

Der Vergleich von Muskelumfangsdifferenz in Korrelation mit dem One leg hop Test wird nicht signifikant ($p=0,054$). Die Tendenz zeigt, dass je geringer die Muskelumfangsdifferenz, desto größer wird der One leg hop Test.

9.29.13. Zusammenhang Muskelumfangsdifferenz und Lysholm, Tegner und Marshall Score postoperativ, IKDC

Es liegt eine hoch signifikante Korrelation zwischen Muskelumfangsdifferenz und dem Lysholm Score vor ($p=0,009$). Je größer die Umfangsdifferenz, desto kleiner werden die Werte des Lysholm Scores. Auch aus der Berechnung der Korrelation zwischen Umfangsdifferenz und Marshall Score wird eine Signifikanz sichtbar ($p=0,004$). Mit größer werdenden Umfangsdifferenzen werden die Marshall Score Werte kleiner ($p=0,004$). Der Tegner Score ($p=0,131$) wie auch die Werte des IKDC ($p=0,063$) werden nicht durch eine veränderte Muskelumfangsdifferenz beeinflusst.

9.29.14. Zusammenhang Voroperationen und Lysholm, Tegner und Marshall Score postoperativ, IKDC

Die Anzahl der Operationen, die die Patientenpopulation bereits vor der VKB-Ersatzplastik hatten, besitzt keine Korrelation in Bezug auf das Ergebnis des Lysholm Scores ($p=0,273$), des Tegner Scores ($p=0,092$) und des Marshall Scores ($p=0,091$).

Die Variable „Voroperation“ weist auf das Ergebnis mit einem Signifikanzniveau von $p=0,013$ einen tendenziellen Trend- Einfluss auf das Ergebnis des IKDC nach. Aber eine eindeutige Signifikanz nicht.

9.29.15 Zusammenhang Buttonlage und Lysholm, Marshall Score und IKDC gesamt

Betrachtet man Mittelwerte der Buttonlagen zur Kortikalis beider relevanten Gruppen, findet sich kein wesentlicher Unterschied. Lysholm und Marshall Score zeigen keine Unterschiede. Setzt man den IKDC gesamt als Variable an, steht die SB anatomisch-Gruppe deutlich besser da, ohne dass die Button näher an der Kortikalis liegen als die Button der DB anatomisch-Gruppe.

	SB anatomisch	DB anatomisch
Mittelwert Buttonlage zur Kortikalis (mm)	0,575	AM 0,512 PL 0,576
Lysholm Score po. Pkt.	89,60 \pm 10,038	91,72 \pm 5,572
Marshall Score po. Pkt.	42,57 \pm 4,857	41,68 \pm 4,375
IKDC gesamt in Prozent	A= 39,2 B= 35,7 C= 21,4 D= 3,57	A= 20 B= 44 C= 32 D= 4

Tab. 28: Zusammenhang Scores und Buttonlage zur Kortikalis

9.29.16. Zusammenhang Bohrkanallage und Lysholm, Tegner, Marshall Score und IKDC gesamt

Es folgt die Betrachtung der Bohrkanallagen wieder im Verhältnis zum postoperativ erreichten Lysholm, Marshall, Tegner Score und IKDC gesamt.

Mittelwerte Bohrkanallagen nach	TransFix AM	SB anatomisch	DB anatomisch
Aglietti (Norm 65%)	69,51 \pm 10,09	67,07 \pm 6,63	AM 77,66 \pm 6,57 PL 70,45 \pm 6,60 Ø 74,05
Harner (Norm 80%)	81,67 \pm 7,73	75,61 \pm 6,7	AM 85,32 PL 76,10 Ø 80,71
Stäubli (Norm 44%)	45,72 \pm 7,20	41,07 \pm 6,51	AM 35,80 \pm 5,97 PL 49,72 \pm 6,08

			Ø 42,76
Femoral frontal (Norm 52°)	57,85 ±4,95	50,36 ±6,13	AM 64,95 ±7,39 PL 39,53 ±12,11 Ø 52,24
Tibial frontal (Norm 44%)	45,23 ±2,69	45,94 ±3,18	AM 48,91 ±3,95 PL 43,33 ±3,08 Ø 46,12
Lysholm Score po.	91,44 ±11,314	89,60 ±10,038	91,72 ±5,572
Marshall Score po.	44,16 ±5,328	42,57 ± 4,857	41,68 ±4,375
Tegner Score po.	5,24 ±1,128	5,67 ±1,541	5,04 ±1,594
IKDC gesamt in Prozent	A= 48 B= 32 C= 20 D= 0	A= 39,2 B= 35,7 C= 21,4 D= 3,57	A= 20 B= 44 C= 32 D= 4

Tab. 29: Zusammenhang aller Scores und Bohrkanallage

Keine der drei Gruppen erreicht in den hier benutzten radiologischen Messmethoden die Normwerte für alle Messungen. Am häufigsten befinden sich die Bohrkanallagen in Normwertnähe in der DB anatomisch-Gruppe. Zieht man einen Vergleich zu vorliegenden Score Werten, befindet sich die DB anatomisch-Gruppe nur mit dem Lysholm Score an vorderster Stelle. Die Gruppe TransFix AM weist die besten Messwerte in der Messung „Tibial frontal“ auf, sind an erster Position in der IKDC Evaluationsblattauswertung und dem Marshall Score. Die Gruppe SB anatomisch hat lediglich beste Messungen in der Aglietti-Messmethode und liegt in den Scores Lysholm und Marshall sowie der Auswertung des IKDC Evaluationsblattes nie an erster Position, lediglich in der Bewertung im Tegner Score.

10. Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit ist es, drei unterschiedliche operative Verfahren zur Rekonstruktion der vorderen Kreuzbandruptur auf die postoperative Bandstabilität und der damit verbundenen Aktivität der Patienten miteinander zu vergleichen. Diese Langzeitstudie fasst Ergebnisse, die durchschnittlich 86,73 Monate nach erfolgter vorderer Kreuzbandersatzplastik vorliegen, zusammen.

Diskussion Kniegelenksstabilität

Die Kniegelenksstabilität ist in allen Gruppen als gut bis sehr gut zu bezeichnen. Die Untersuchungen zur VSL weisen postoperativ einen Normalbefund aller drei Gruppen bei durchschnittlich 92,28% nach. Die TransFix AM-Gruppe hat davon den größten Anteil von 96% innerhalb der Gruppe mit Normalbefunden. Auch im postoperativen Lachman Test ist die Gruppe TransFix AM an erster Stelle mit 100% Normalbefund. Der Durchschnitt aller Gruppen liegt bei 93,47% mit einem unauffälligen Lachman Test. Die Untersuchung mit dem Pivot shift Test weicht nicht von den erstgenannten Befunden ab. Wiederholt hat die Gruppe TransFix AM 100 % Normalbefunde. Der Medianwert aller Gruppen beträgt 92,57%. Zur Vervollständigung der Werte weist die Testung mit dem Rolimetergerät für alle Gruppen einen Normwert im Durchschnitt bei 92,28% (0-2mm) auf. Davon ist die TransFix-Gruppe wiederholt mit dem größten Anteil an Normalbefunden beteiligt. Vergleicht man die erreichten Werte mit einer Studie nach Karikis et al. (72) liegen gleiche Befunde, keine statistischen Signifikanzen, vor. Mit besonderem Augenmerk auf der Untersuchung des Pivot shift Tests, des manuellen Lachman Tests und des One leg hop Tests sind alle Gruppen im Follow-up verbessert. Jedoch findet sich bei dieser Studie (72) eine signifikante Erhöhung der Osteoarthrose rate in der DB-Gruppe. Die Studie von Järvelä et al. (63) zeigt gleiche Befunde in der DB- und der SB-Gruppe in der Pivot shift Untersuchung. Auch die Studie von Suomalainen et al. (129) wies keine signifikanten Unterschiede nach. Eine ähnlich angelegte Studie von Gobbi et al. (47) mit 60 Probanden (je 30 Patienten mit Versorgung in Single-Bundle- und Double-Bundle-Technik) konnte keinerlei Signifikanzen in bezug auf den Pivot shift Test

nachweisen. In anderen Studien mit ähnlichem Design waren im Ergebnis ebenfalls ohne Signifikanz auf untersuchte Stabilitätstests – VSL (82), Lachman Test (82, 10, 146), Pivot shift Test (10, 42, 47, 59, 60, 82, 98, 120, 129, 146).

Diskussion Rückkehr zum Sport

Die Stabilität ist nicht immer mit einer Rückkehr zum sportlichen Aktivitätsniveau vor dem Unfall gleichzusetzen. Betrachtet man die Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität ohne Beschwerden aller drei Gruppen näher, haben in Gruppe TransFix AM 72% der Untersuchten die sportlichen Aktivitäten ohne jegliche Beschwerden und Einschränkungen wieder aufgenommen, in Gruppe SB anatomisch waren es 50% und die Gruppe DB anatomisch weist nur 36% nach. Vergleicht man mit diesen Werten die subjektive Beurteilung der Subscores „Instabilität“ und „Schmerz“ des Lysholm Scores, erkennt man eine Höchstpunktevergabe in den Gruppen TransFix AM und DB anatomisch bei 96% („Instabilität“), insgesamt schwanken die Werte zwischen 27,85 bis 29,8 von 30 möglichen Punkten. Ähnlich ist die Punktevergabe beim „Schmerz“ mit Punkteverteilungen von 26,8 bis 27,8 von ebenfalls 30 möglichen Punkten. Auch die funktionelle Beurteilung „Hocken“ hat ähnlich gute Mittelwerte zwischen 4,17 bis 4,8 Punkten von möglichen 5 Punkten.

Die Tendenz zur reduzierten sportlichen Aktivität postoperativ darf in keinem Fall nur auf die operative Versorgung zurückgeführt werden. Ohne es weiter zahlenmäßig aufgeführt zuhaben, beantworteten einige der Patienten die Frage darauf mit Bedenken auf eine mögliche erneute Krankenphase und dem Verlust der Arbeit und zum anderen mit der Aufnahme einer anderen Sportart, welche nicht dem Level der Sportart entspricht, die vor dem Unfall durchgeführt wurde. Zum Beispiel wurde aus einem Motocrossfahrer ein Jogger für zwei Mal in der Woche. Insgesamt bedeutet dies ein Wechsel von High-impact zu Low-impact Sportarten.

Diskussion Alter

Man ist davon abgekommen, eine Rekonstruktion des rupturierten vorderen Kreuzbandes in Abhängigkeit des vorliegenden Alters zu bringen. In der

vorliegenden Arbeit finden sich Altergruppen von 13 bis 71 Jahre, in deren Auswertung keine wesentliche Arthroseentwicklung zu verzeichnen ist.

Diskussion Arthroseentwicklung

Sind die Patienten zum Zeitpunkt der VKB-Rekonstruktion älter (> 50Jahre), weisen diese zu einem Nachuntersuchungszeitpunkt von 12 Jahren nach Rekonstruktion einen höheren Anteil von patellofemorale Osteoarthrose nach (107). Wobei jedoch andere Studien nachwiesen, dass das Level einer Osteoarthrose bei Patienten über 50 Jahre bei mehr als 32 Monaten nach Rekonstruktion der vorderen Kreuzbandruptur statistisch nicht erhöht ist (138). Die Anzahl der Patienten dieser vorliegenden Studie, die bereits älter als 50 Jahre zum Unfallzeitpunkt sind, ist der geringere Anteil. Die knieinstabile Zeit variiert insgesamt von einem bis 241 Monate, d.h. dass die operative Versorgung durchschnittlich $26,14 \pm 55,10$ Monate nach Unfall vorgenommen wurde. Aufgrund einer geringen Beschwerdesymptomatik wurden nicht von allen Patienten Röntgenaufnahmen zum Nachuntersuchungszeitpunkt nochmals vorgenommen, sondern u.a. auch zwischenzeitlich angefertigte und zur Nachuntersuchung mitgebrachte Aufnahmen genutzt und diese ausgewertet. Eine Arthroseentwicklung kann daher nur unter Vorbehalt diskutiert werden. Die Zunahme arthrotischer Veränderungen lagen in keiner Gruppe vor, trotz weiter prädisponierender Faktoren wie z.B. ein Meniskusschaden. Der Grad der Arthrose ist als unwesentlich verändert zu beschreiben. Dieses Ergebnis gleicht den Erkenntnissen von van Meer et al. (137). Karikis et al. (72) wies in einer Studie mit trotz guten klinischen Stabilitätstests eine deutliche Zunahme der Arthrose in der Double Bundle versorgten Patientenpopulation nach. In der vorliegenden Arbeit lag bei einem Patienten der Gruppe DB anatomisch ein Schraubenbruch tibial vor. Dieser Patient wurde vor kurzem aufgrund medialer Kniebeschwerden vorstellig. Die angefertigte MRT-Untersuchung wies eine medial betonte Gonarthrose mit Gelenkspaltverschmälerung und Knorpeldestruktionen bis zur Knorpelglatze nach, trotzdem der Patient klinisch ein stabiles Kniegelenk besitzt und bis vor kurzem Volleyball gespielt hat. Dieser Befund geht in die allgemeine Auswertung nicht mehr mit ein, da diese Untersuchung zum jetzigen Zeitpunkt stattfand. Trotzdem halte ich den Befund für erwähnenswert.

Diskussion Funktionalität

Zur besseren Beurteilung der Funktionalität ist der One leg hop Test geeignet. Einen Normal- bis fast Normalbefund haben insgesamt im Durchschnitt aller Gruppen 80,56%. Die Werte liegen zwischen 72% der Gruppe DB anatomisch bis 85,7% Gruppe SB anatomisch. Die TransFix AM-Gruppe hat 84% und liegt damit unwesentlich hinter der besten Gruppe. So dass insgesamt eine gute bis sehr gute Funktionalität bei mehr als $\frac{3}{4}$ aller Patienten besteht.

Die Muskelumfangsdifferenz sollte in diesem Zusammenhang mit betrachtet werden. Bis maximal 1cm Umfangsdifferenz sind 88% der Patienten aus Gruppe DB anatomisch, 71,42% aus Gruppe SB anatomisch und Gruppe TransFix AM 76%. Damit liegt die in Single-Bundle-Technik versorgte Patientengruppe an letzter Stelle. Aber aufgrund des deutlich kürzeren Nachuntersuchungsintervalls dieser Gruppe SB anatomisch können die Patienten eine größere Muskelumfangsdifferenz haben, als die Probanden der beiden anderen Gruppen. Obwohl die Gruppe SB anatomisch altersmäßig die jüngste Patientenzusammensetzung besitzt, damit sportlich am aktivsten sein sollte und dadurch in kürzerer Zeit die Muskelumfangsdifferenz reduzieren könnte. Die Muskelfunktion nach VKB-Ruptur ist aber selten wieder voll intakt, ungeachtet dessen, ob eine chirurgische Rekonstruktion erfolgte oder nicht. Diese Muskelschwäche wird als potentieller Faktor einer Osteoarthrose angesehen (103).

Diskussion Scores

Nach dem Tegner Aktivitätsgrad hat die Gruppe TransFix AM postoperativ ein höheres Level als vor dem Trauma erreicht (Mittelwert von 5,04 auf 5,24). Die beiden anderen Gruppen weisen postoperativ jeweils eine Abnahme der Aktivität (Gruppe SB anatomisch Mittelwert von 6,07 auf 5,67, Gruppe DB anatomisch von 5,12 auf 5,04) nach.

Der guten Mittelwerte des postoperativen Lysholm Score sind in allen drei Gruppen vertreten. Den besten Mittelwertwert hat die DB anatomisch-Gruppe mit 91,72 Punkten, gefolgt von der TransFix AM-Gruppe mit 91,44 Punkten und an letzter Stelle die Gruppe SB anatomisch mit 89,60 Punkten. Insgesamt eine

unwesentliche Differenz untereinander. Gering bessere Lysholm Score Werte weist Järvela et al. (63) auf (DB Ø 94, SB Ø 95) und die Studie nach Adravanti et al. (3) (DB Ø 96,4, SB Ø 94,2) nach. Die Studie von Beyaz et al. (14) liegt unterhalb der vorliegenden Studie (DB Ø 81,43, SB Ø 81,94). So auch Karikis et al. (72) (DB Ø 90,1, SB Ø 84,3).

Diskussion IKDC

In der Auswertung des IKDC-Evaluationsbogens zeigen sich die guten klinischen Ergebnisse nur eingeschränkt. In der Double-Bundle-Gruppe ist sogar 1 Patient der Kategorie D zugehörig. Betrachtet man die Kategorien C und D gemeinsam, befinden sich 36% der Gruppe DB anatomisch, 23,97% der Gruppe SB anatomisch und 20% der Gruppe TransFix AM in diesen Kategorien. Zu den besseren Gruppenqualifizierungen A und B befindet sich die DB anatomisch-Gruppe erneut an letzter Stelle mit 64%, die Gruppe SB anatomisch mit 74,9% an zweiter Stelle und an erster Stelle die Gruppe TransFix AM mit 80%. Die subjektive Beurteilung von Kniefunktion, Aktivitätslevel und Fehlen von Symptomen haben den größten Einfluss auf die Kategorie. Auch hier nochmals ein Blick auf die untersuchten Bewegungsausmaße, die einen Teil der Kniefunktion beinhalten. Trotz der sehr guten Extensions- und Flexionswerte spiegeln sich diese Befunde nicht in der subjektiven Beurteilung wider. Auch die Anschlagsqualität weist bis auf einen Patienten von allen Gruppen einen festen Anschlag nach. Aber da diese subjektiven Befunde in die Auswertung des IKDC eingehen und letztendlich davon immer die schlechteste Gruppenqualifizierung zu werten ist, spiegelt diese Auswertung nicht die klinische Funktion des Kniegelenkes wider. Im Vergleich zu Untersuchungen von Järvela (63). Dabei sind nur 40,42% der DB-Gruppe und 38,29% der SB-Gruppe zum Gruppenqualifizierung A des IKDC zugehörig. Eine Studie von Advaranti (3) weist je 26% (DB und SB) in die Gruppenqualifizierung A. Die vorliegende Studie ist mit 48% (TransFix AM), 39,2% (SB anatomisch) und 20% (DB anatomisch) der Patienten beteiligt. Und damit mit der DB anatomisch-Versorgung deutlich schlechter als in vergleichenden Studien. Die Studie von Zaffagnini et al. (150) beschreibt 44% DB und 32,91% SB zur Gruppenqualifizierung A zugehörig. Diese Untersuchung ist mit Einschränkung der operativen Versorgung zu betrachten, da die DB-Versorgung mittels Hamstrings

und die SB- Versorgung mittels Bone-Patellar-Tendon-Bone Transplantaten und die Fixationen tibial und femoral mittels Interferenzschrauben vorgenommen wurde.

Die Studie von El-Sherief et al. (31) wies ebenso nach, dass die Doppelbündelversorgung signifikant in der Rotationsstabilität und a.p. Stabilität sowie dem objektivem IKDC-Evaluationsbogen gegenüber der Einzelbündelversorgung ist. Jedoch die subjektiven Untersuchungen keine statistischen Differenzen zwischen den beiden Techniken nachweisen.

Die Transplantatentnahmemorbidität korreliert nicht mit der Beurteilung Auftreten signifikanter Symptome. Sie beinhaltet jedoch ebenfalls einen großen Teil an der insgesamt subjektiven Beurteilung des Patienten und wird damit doch wieder Bestandteil zur Bewertung des IKDC, ohne eine Gruppenqualifizierung A - D zu haben.

Einfluss auf die subjektive Befundung haben ebenfalls die kompartimentellen Befunde. Die wenigsten Beschwerden haben Patienten der Gruppe SB anatomisch, dann Gruppe TransFix AM und am beschwerdereichsten die der Gruppe DB anatomisch. Wobei insgesamt gesehen alle untereinander keine signifikanten Unterschiede aufweisen und nur gering voneinander abweichend sind. Aber auch hier geht erneut die Beurteilung/Beschwerden bei Untersuchung in die Gruppenqualifizierung des IKDC ein, ohne eine Gruppenqualifizierung zu besitzen.

Diskussion Begleitpathologie

Es folgt darauf die Beurteilung, ob die Beschwerden durch einen zusätzlichen pathologischen intraartikulären Befund, Begleitpathologie, hervorgerufen wurden. Die Verteilung dieser Begleitpathologien unter den Gruppen ist nicht signifikant. Diese sind bei 48% der Gruppe TransFix AM, 53,6% der Gruppe SB anatomisch und 56% der Gruppe DB anatomisch vorliegend. In allen Gruppen sind Meniskusschäden vorhanden, die ebenfalls nicht signifikant sind. Lediglich findet sich ein signifikanter Unterschied bei Knorpelschäden. Diese sind im Bereich patellofemoral wesentlich geringer in der Gruppe DB anatomisch als in den anderen beiden Gruppen ausgeprägt. Untersucht man alle Begleitpathologien ohne Differenzierung, besitzt die TransFix AM-Gruppe den geringsten Anteil

daran. Eine geringe Stabilität kann eine Ursache eines Begleitschadens sein. Aber die wiederhergestellte Stabilität ist, wie vorbeschrieben, als gut bis sehr gut zu bezeichnen. Eine weitere mögliche Ursache kann eine zu lange Zeitdauer der Instabilität des Kniegelenkes sein. Vor Jahren ging Karlsson et al. (43) davon aus, dass die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, um das Arthrofibrosierisiko zu reduzieren, zwischen vier und sechs Wochen nach Unfallgeschehen vorgenommen werden sollte. Nach neueren Erkenntnissen ist dieser Zeitfaktor nicht die ausschlaggebende Komponente mehr, sondern das klinische Bild des zu operierenden Kniegelenkes (94), welches schmerzfrei und reizlos mit einem Mindestbewegungsausmaß von Extension / Flexion 0/10/110° sein sollte. Betrachtet man die prozentuale Beteiligung der Begleitschäden im Verhältnis zur Phase des instabilen Kniegelenkes, ist keine Korrelation vorhanden. Die Gruppe DB anatomisch hat die mit 56% den größten Anteil an Begleitpathologien und mit einer durchschnittlichen Zeit von 22,8 Monaten das kürzeste Intervall zur operativen Versorgung und damit die kürzeste Phase der Instabilität des Kniegelenkes. Gruppe SB anatomisch hat durchschnittlich 25,53 Monate bis zur Operation (53% mit Begleitpathologie) und die Gruppe TransFix AM hat mit durchschnittlich 30,16 Monaten das längste Intervall, aber jedoch die geringste prozentuale Beteiligung mit Begleitschäden (48%). Eine Aussage über die Entwicklung einer Osteoarthrose ist mit den vorliegenden Untersuchungen nur eingeschränkt möglich, da für alle untersuchten Patienten zur gleichen Zeit keine Röntgenaufnahmen angefertigt wurden. Patienten, die keine wesentlichen Beschwerden aufwiesen, lehnten eine erneute Röntgenaufnahme ab. Zur Auswertung wurden zwischenzeitlich angefertigte Aufnahmen, die zur Untersuchung mitgebracht wurden, genutzt. Vergleicht man unter vorbenannter Einschränkung die vorliegenden Befunde keiner wesentlichen Veränderung des Arthrosegrades von präoperativ zu postoperativ gleicht es den Untersuchungen von van Meer et al. (137). In der Studie von Järvelä (63) wird nachgewiesen, dass eine stärkere Osteoarthrose bei Patienten vorliegt, welche eine verzögerte VKB-Rekonstruktion hatten und bei Patienten, welche zum Zeitpunkt der Rekonstruktion eine partielle Meniskusresektion erhielten.

Diskussion Voroperationen

Auch die Anzahl der Voroperationen korreliert nicht mit der prozentualen Beteiligung der Begleitschäden. Den prozentual größten Anteil an Voroperationen weist Gruppe TransFix AM nach (48%), dann Gruppe DB anatomisch (40%) und Gruppe SB anatomisch (39,28%). Und die wenigsten Begleitschäden weist die Gruppe TransFix AM auf, gefolgt von Gruppe SB anatomisch, dann Gruppe DB anatomisch.

Diskussion Bohrkanallage

Die Auswertung der Bohrkanallage konnte lediglich einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe TransFix AM und Gruppe SB anatomisch nachweisen. Die Gruppe DB anatomisch wurde in der statistischen Auswertung separat betrachtet. Die Messung femoral frontal weist eine wesentlich steilere Bohrkanallage in der TransFix AM-Gruppe ($57,85^\circ$) nach. Dem Normwert näher gelegen sind die Werte der SB anatomisch-Gruppe ($50,36^\circ$). Die Gruppe DB anatomisch hat Werte AM-Bündel $64,95^\circ$ und das PL-Bündel von $39,53^\circ$. Berechnet man daraus erneut davon den Mittelwert, beträgt dieser $52,24^\circ$, bemerkenswert bei einem Normwert einer Einbündelversorgung von 52° . Die Mittelwerte der Messung nach Aglietti sind alle größer als der Normwert von 65%. Die Mittelwerte gemessen nach Harner befindet sich die TransFix-Gruppe näher am Normwert 80%. Aber signifikante Unterschiede finden sich nicht. Da es für die Double-Bundle-Gruppe keinerlei Normwerte existieren, sind diese nur eingeschränkt zu beurteilen. Nutzt man die Mittelwerte beider Bündel und errechnet erneut davon den Mittelwert, ist das Ergebnis 80,71%. So dass diese Gruppe unter Einschränkung der Berechnungsart den korrekten Normwert besitzt. Nach Stäubli gemessen findet sich die Gruppe TransFix AM mit dem Mittelwert von 45,72% fast am Normwert. In der Gruppe SB anatomisch befinden sich die tibialen Bohrkanäle etwas weiter ventral positioniert (41,07%) und auch hier der gebildete Mittelwert aus den Mittelwerten der Bohrkanäle der beiden Bündel in Gruppe DB anatomisch 42,76%. Bei der Verteilung der tibialen Bohrkanallage frontal gemessen, existieren keine Gruppenunterschiede (Mittelwerte Gruppe

TransFix AM 45,23%, Gruppe SB anatomisch 45,94%, Gruppe DB anatomisch Mittelwert aus beiden Mittelwerten AM- und PL-Bündel 46,12%).

Die Mehrheit der dem Normwert am nächsten befindlichen Bohrkanallagen sind in der Doppelbündelversorgung zu finden (Messung nach Harner, Stäubli und femoral frontal), vorbehaltlich der Auswertungsmethode. Im Gegensatz dazu ist diese Gruppe lediglich in der Auswertung der Scores beim Lysholm Score an vorderster Position. Die Auswertung des IKDC-Evaluationsbogen ergab für diese Gruppe die schlechteste Position. Eine Studie von Suomalainen et al. (128) untersuchte zwei Patientengruppen jeweils mit 25 Patienten, wobei sich die erste Gruppe 2003 einer Einbündelversorgung und die zweite Gruppe sich 2007 einer Doppelbündelversorgung unterzog. Die Kontrolle Bohrkanalplatzierung wurde mittels MRT vorgenommen: Diese Untersuchungen wiesen lediglich einen signifikanten Unterschied bei der tibialen Tunnelplatzierung nach (SB Gruppe 2003 mit signifikanter tibialer lateraler Bohrkanalposition). Alle anderen MRT-Messungen waren nicht signifikant. Beide Gruppen hatten ähnliche Resultate im Lysholm Score, Pivot shift Test, IKDC gesamt und der Rückkehr zum Sport. Auffällig waren vier Transplantatversager in der Gruppe 2003 SB und keiner in der Gruppe 2007 DB.

Wertet man nur die Stabilitätstests VSL, Lachman Test, Rolimetertest und Pivot shift Test schließt hier die Gruppe der TransFix AM versorgten Patienten wiederholt am besten ab, obwohl auch diese operative Methode hinsichtlich der Lokalisation der Bohrkanäle u.a. ein in die Fossa intercondylaris interpretiertes Ziffernblatt nutzt. Die beiden anderen Gruppen liegen auf gleicher Position. Fu (40) richtet sich gegen eine derartige Lagebestimmung mittels „clock face“, da die Lage in Abhängigkeit vom Flexionsgrad des Kniegelenkes aus angegangen werden muss, da sonst eine nicht anatomische Rekonstruktion vorliegen kann. Auch Zantop et al. (152) weisen in einer Studie mit 12 menschlichen Kadaverkniegelenken nach, dass die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in Doppelbündeltechnik mit nicht anatomischer Lokalisierung des PL-Bündels eine signifikant höhere anteriore tibiale Translation und stärkere Rotationsinstabilität zeigt als ein gesundes Knie in jeweils 0° und 30° Flexion. Die Rekonstruktion mit einer anatomischen Lage des PL-Bündels stellt die Kinematik des intakten Gelenkes her und zeigt signifikante niedrigere anteriore Translation unter gleichen Umständen. Untersuchungen von Hoshino et al. (58) wiesen nach,

dass eine dreidimensionale CT-Analyse des vorderen Kreuzbandes eine bessere Evaluierung als die Zifferblattmethode und die radiologische Quadrantenmethode ermöglichen.

Im Gegensatz dazu untersuchte die Arbeitsgruppe um Sundemo (127) die Korrelation zwischen femoraler Tunnellage und klinischem Outcome in einer Long-Term-Studie nach nicht anatomischer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes und wiesen in dieser Studie nach, dass die Ausrichtung des femoralen Bohrkanals langfristig keine Prognose über das klinische und subjektive Outcome und über die Entwicklung einer Osteoarthrose gibt.

Diskussion Operationsmethode

Keine der drei operativen Methoden konnte eine herausragende Position einnehmen. Um den Cross-Pin bei der TransFix AM-Gruppe exakt zu positionieren, wird ein steilerer femoraler Bohrkanal erforderlich, als es durch die Anatomie wünschenswert wäre. Zum anderen kann der Pin in Bezug auf die VKB-Ersatzplastik nicht beurteilt werden. Nachteilig wirkt sich u.a. ein möglicher Pin-Implantatbruch mit Wanderung der Bruchstücke in das Kniegelenk aus. Andere Studien wie Hasan et al. (54) berichten über gleiche Erfahrungen. Choi et al. (17) untersuchte radiologisch die Bohrkanalweite bei 50 Patienten ohne und mit Bio-Cross-Pin Bruch. Sie wiesen eine femorale Tunnelerweiterung bei der TransFix AM-Technik gleichzeitig mit einer erhöhten Anzahl von Implantatbrüchen nach. Jedoch waren keine signifikanten Unterschiede der beiden Gruppen in Bezug auf die Kniestabilitätstests und funktionale Evaluation vorhanden. Bei dem in dieser Arbeit vorliegenden Implantatbruch der tibialen Schraube ist bereits eine beginnende tibiale Tunnelerweiterung 5 Monate nach Primärversorgung erkennbar.

Vorteilig erscheint bei dieser Operationsmethode, dass die Fixation femoral nicht direkt im Knochenkanal erfolgt, welche eine Einheilung des Transplantates beeinträchtigen könnte.

Die Single-Bundle-Technik, wie sie in der vorliegenden Studie mit femoralem Retrobutton (closed loop) und tibialer Schraube eingesetzt wurde, hat den großen Vorteil einer einfachen Praktikabilität, einer flachen Lernkurve und kurzen Operationszeit. Die Alternative, beide Fixationen mit einer Interferenzschraube

durchzuführen, hat theoretisch Vor- aber auch Nachteile. Durch die direkte Fixation am Knochen mit Schrauben entsteht eine gelenknahe Fixation mit einem kurzen Transplantat und einer erhöhten Steifigkeit. Als potenzieller Nachteil ist allerdings ein Transplantat Creeping zwischen Transplantat und Schrauben-/Knocheninterface möglich. Außerdem besteht eine gewisse Gefahr, dass sich das Transplantat um die Schraube speziell femoral verwringen kann und damit eine Ventralisation der Insertion resultiert. Was wiederum biomechanisch zu negativen Folgen führen kann.

Die Doppelbündelrekonstruktion beansprucht eine längere Lernkurve, mehr operativen Zeitaufwand, mehr Implantatmaterial und –kosten. Sie benötigt ein größeres Insertionsareal für beide Bündel und schafft damit eine größere Fläche zur Einheilung und damit eine bessere Stabilität, auch in Bezug auf die unterschiedlichen Transplantatanspannungen in unterschiedlichen Flexionsgraden des Kniegelenkes. Die Größe der Insertion setzt ein entsprechend großes Kniegelenk voraus. Sollte es allerdings zu einer Revision der Kreuzbänderersatzplastik kommen, bedeutet dies einen deutlich höheren Aufwand u.a. durch die enorme Größe der Knochendefekte, die durch die beiden Tunnel rekrutieren, sollte die erforderliche knöcherne Brücke brechen.

Alle drei in dieser Studie untersuchten Operationstechniken wurden nicht in „remnant preservation“ Technik ausgeführt. Es existieren unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich des Nutzens. Die Ergebnisse dieser Technik gleichen denen ohne dieser Technik hinsichtlich der anterioren Stabilität und der funktionellen Rückkehr. Es reduziert jedoch eine tibiale Tunnelerweiterung (88, 136). Takahashi et al. (130) wiesen in einer biomechanischen und histologischen Studie nach, dass unter Anwendung der Remnant preservation Technik die Zellproliferation, die Revaskularisation und die propriozeptiven Eigenschaften verbessert werden. Auch die anteriore Stabilität war höher. Auf dem 17. European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy (ESSKA) Kongress in Barcelona veröffentlichte Yokota et al. (149) eine prospektive Studie, welche eine signifikante Korrelation ein Jahr postoperativ nach erfolgter Doppelbündelversorgung mit Remnant preservation Technik zwischen Ausmaß der Transplantatumhüllung und Signalintensität (MRT) nachwies. Insgesamt wurde nachgewiesen, dass durch diese Technik eine verbesserte Transplantateinheilung und Knochen-Sehnenheilung vorliegt. Ein ähnliches

Ergebnis wies die Arbeitsgruppe um Cholewinski (18) in einer Studie mit Patienten nach erfolgter VKB-Rekonstruktion in Single-Bundle-Technik mit Endobutton femoral und Intrafix Mitek screw tibial mit Remnant preservation Technik nach. Die Arbeitsgruppe um Wang (139) untersuchte in einer Metaanalyse den gleichen Aspekt und wies ein besseres Outcome bei Patienten mit Remnant preservation Methode nach. Außerdem gab es keine signifikanten Unterschiede in der Komplikationsrate. Ein Nutzen des Restgewebeerhaltes und eine kurze Zeitspanne zwischen Verletzung und operativer Therapie erhöhen das klinische Outcome (18).

Diskussion Intervall Unfall-Operationszeitpunkt

Das Intervall zwischen Unfall mit folgender vorliegender Knieinstabilität und Operationszeitpunkt bewegt sich zwischen einem und 241 Monaten. Es zeigt sich in dieser Studie keinen Einfluss auf das klinische Outcome im Gegensatz zu anderen vorliegenden Studien (18). Das längste Intervall hat die TransFix AM-Gruppe, wobei diese Technik in den vorliegenden Untersuchungen oft an vorderster bester Position steht. Im Gegensatz dazu zeigte bereits die Studie von Sernert et al. (117), dass eine verzögerte Versorgung einer VKB-Ruptur eine Erhöhung von Meniskuläsionen und ein schlechteres Outcome zur Folge hat. Mit vorliegenden Begleitpathologien von 48% hat die TransFix AM-Methode mit dem längsten Intervall Unfall-Operationszeitpunkt den geringsten Anteil an Begleitpathologien, gefolgt von der SB anatomisch-Methode mit 53,57% und an letzter Stelle die DB anatomisch-Gruppe mit 56%, d.h. den größten Anteil Begleitpathologien und das kürzeste Intervall. Somit ist in dieser Arbeit keine Negativabhängigkeit nachvollziehbar. Betrachtet man nunmehr den prozentualen Anteil an vorliegenden Meniskusschäden, ist auch hier keine Negativabhängigkeit nachvollziehbar. Denn die TransFix AM-Gruppe ist mit 32% Meniskusschäden die Gruppe mit dem geringsten Anteil, gefolgt von der SB anatomisch-Gruppe mit 42,85% und wiederholt an letzter Stelle die DB anatomisch-Gruppe mit 52% Meniskusschäden. Allerdings ist in dieser Diskussion nicht zu klären, in welchem Ausmaß bereits vor dem Unfall eine Schädigung des Meniskus vorhanden war und diese lediglich in den intraoperativen Befund mit aufgenommen wurde, ohne jedoch eine zeitliche Abhängigkeit zu haben. Auch ein mögliches höheres

Patientenalter und der damit verbundenen höheren Gelenksschädigung vor dem Unfall sind auszuschließen, da die SB anatomisch-Gruppe zwar etwas jünger ist, aber insgesamt die drei Patientengruppen altersmäßig ohne signifikanten Unterschied sind.

10.1. Kritische Betrachtung

Ein großer Teil des IKDC-Evaluationsbogens unterliegt der subjektiven Beurteilung des Patienten (Stabilität, Schmerz) und ist somit vollständig individuell (vergleichende Schmerzangabe einer Lehrerin und eines Stahlwerkers) und besitzt letztendlich keine gravierende Aussagekraft. Aber es beeinflusst das Gesamtergebnis des IKDC. So dass trotz sehr guter operativer Versorgung/Lage der Bohrkanäle und stabil untersuchtem Bandapparat das Ergebnis nicht in diese höchst zufriedenstellende Kategorie A fällt. Ebenfalls ist der Lysholm Score teilweise subjektiv belastet. Und damit auch nur mit eingeschränkter Aussagekraft behaftet.

Der funktionelle Test One leg hop Test ist insgesamt mit gutem Ergebnis. Zur noch kritikvolleren Beurteilung ist die Einflussnahme, ob das operierte Knie/Bein das Standbein ist oder „nur“ das zweite Bein, eigentlich mit zu berücksichtigen.

Schon ein gesunder Mensch, ohne jegliche Beinbeschwerden, führt diesen Test kaum seitengleich aus.

Aufgrund der geringen Beschwerden und der damit verbundenen geringen Bereitschaft, eine erneute Röntgenaufnahme durchführen zu lassen, ist die Beurteilung hinsichtlich einer möglichen Arthroseentwicklung trotz stattgehabter VKB-Ersatzplastik nur eingeschränkt zu werten. Und bei intensiver sportlicher oder/und körperlich starker beruflicher Belastung müssten sogar beide Kniegelenke radiologisch betrachtet werden.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Beurteilung der sportlichen Aktivität vor dem Unfall, die möglicherweise aus Erinnerungslücken und der größeren zeitlichen Spanne heraus besser beurteilt wird, als diese wirklich war.

10.2. Zusammenfassung/Klinische Relevanz

Die Entscheidung, mit welcher operativen Methodik eine vordere Kreuzbandverletzung therapiert werden sollte, um den möglichst größten Stabilitätsgewinn zu erreichen, war das Ziel dieser Studie. Es wurden dazu 78 Patienten in einem Alter bei Unfall von 13 bis 71 Jahren untersucht, wobei der Nachuntersuchungszeitraum von 67 bis 113 Monate nach arthroskopischer vorderer Kreuzbandersatzplastik in drei unterschiedlichen Operationemethoden – TransFix AM-, Single-Bundle- und Double-Bundle-Technik- umfasste. Die Untersuchungen wurden unter Anwendung der bekannten Scores (Tegner, Lysholm und Marshall), dem IKDC-Evaluationsbogen und der Auswertung vorliegender Röntgenaufnahmen vorgenommen. Die Untersuchungsbefunde wurden immer von dem gleichen Untersucher, der in keinem Fall der Operateur war, aufgenommen.

Betrachtet man nunmehr die Scores, den IKDC-Evaluationsbogen und die Stabilitätstests befindet sich die TransFix AM-Versorgung auf vorderster Position, gefolgt von der SB anatomischen- Versorgung und an letzter Position die DB anatomische- Versorgung. Wobei allerdings keine überwiegenden Signifikanzen in den Gruppenvergleichen zu Gunsten einer Gruppe nachzuweisen waren.

Geht man von der einfachen Biomechanik aus, ist eine Bevorzugung der Doppelbündelversorgung anzunehmen. Die hier nachgewiesenen klinischen Befunde sprechen für die Einzelbündelversorgung. Eine höhere Stabilität birgt jedoch die Doppelbündelversorgung durch ihre größeren Insertionsareale und der damit verbunden stabileren Insertion beider separater Bündel und deren unterschiedlichen Funktionen. Dem vorausgesetzt wird ein entsprechend großes Insertionsareal und damit ein entsprechend großes Kniegelenk, um die beiden Bohrkanäle regelrecht platzieren zu können und noch eine ausreichende Knochenbrücke zu haben. Kleinere Kniegelenke sind dadurch bereits ausgeschlossen. Sicherlich ist auch die Erwartungshaltung eines Profisportlers anders an eine Kreuzbandersatzplastik anzusehen als für jemanden, der lediglich seinem sportlichen Hobby nachgeht. So dass die Stabilität einer Doppelbündelversorgung eher dem aktivem Wettkampfsportler vorbehalten sein sollte. Auch der erhöhte Kostenaufwand (doppeltes Implantatmaterial) und der erhöhte zeitliche Aufwand müssen in Betracht gezogen werden. Die

Operationszeiten aus dieser Studie gliedern sich wie folgt auf: TransFix AM Ø 55,68 min, SB anatomisch Ø 44,85min, DB anatomisch Ø 62,6min. Die anspruchvollere Doppelbündelversorgung fordert ihre Zeit. Ein weiterer Nachteil der Doppelbündelversorgung liegt in der unbedingt vorliegenden ausreichenden Knöchelbrücke beider Bohrkanäle. Kommt es zu einem Einbrechen dieser knöchernen Brücke, bedeutet es einen deutlich höheren Revisionsaufwand aufgrund des dann vorliegenden sehr großen Knochendefektes, welcher zunächst zur Ausheilung gebracht werden muss, um im Zeitversatz eine erneute Kreuzbandersatzplastik vornehmen zu können.

Die Versorgung in Single-Bundle-Technik anatomisch ist schneller reproduzierbar und Revisionen sind einfacher.

Dem guten klinischen Outcome ist der hohen Steifigkeit bei der TransFix AM-Versorgung zuzusprechen. Ein femorales Rutschen des Transplantates ist nicht möglich. Nachteile dieser Versorgungstechnik sind in der möglichen Tractusreizung durch den Pinüberstand und ein Bruch des Pins zu sehen. Außerdem kann auch der laterale Meniskus geschädigt werden.

Bei allen drei Versorgungstechniken birgt das antero-mediale Portal eine schlechtere Sicht unter gleichzeitiger Gefahr der Verletzung des Gelenkknorpels des medialen Femurkondylus.

Letztendlich wird die Nullhypothese, dass eine Doppelbündelversorgung in Vierkanaltechnik subjektiv und klinisch den alternativ eingesetzten Einbündeltechniken nicht überlegen ist, anhand der vorliegenden Auswertungen, angenommen. Insgesamt bedeutet eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nicht unbedingt die Prävention einer Osteoarthritis bei allen Patienten und diese ist abhängig von unterschiedlichsten internen und externen Variablen (122). In Anbetracht der derzeit vorhandenen OP-Techniken, Transplantate und Fixationsmöglichkeiten konnte sich bisher keine Verfahrenskombination durchsetzen. Das Ziel sollte es daher sein, eine individualisierte vordere Kreuzbandersatzplastik vorzunehmen und alle vorliegenden Gegebenheiten in die Entscheidung zur operativen Methodik einzubeziehen. Eine einzige Versorgungstechnik zum vorderen Kreuzbandersatz ist wahrscheinlich nicht ausreichend. Die Technik sollte den individuellen Anforderungen angepasst werden. Hierzu sind Variablen wie Transplantatwahl, Verankerung, Sportart, Leistungsanspruch und Knochenqualität zu

berücksichtigen. Die Lernkurve muss flach sein und die Technik reproduzierbar. Nur so können wir unseren Patienten die Rückführung zum Sport auf das alte Level und die Prävention von degenerativen Gelenkveränderungen ermöglichen.

11. Literaturverzeichnis

1. Achtnich A, Forkel P, Metzloff S, Zantop T, Petersen P: Metaanalyse zum klinischen Vergleich der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nach Ruptur in Einzelbündel- und Doppelbündeltechnik.
28.AGA-Kongreß Regensburg 2011: Vortrag 42
2. Adams R: Abnormal conditions of the knee joint.
Todd RB (ed) Cyclopedia of anatomy and physiology, Vol.III. 1847, 48-78
3. Adravanti P, Dini F, de Girolamo L, Cattani M, Rosa MA: Single bundle versus Double bundle ACL reconstruction: a prospective randomized controlled trial with 6-year follow-up.
J Knee Surg 2017; 30(9): 898-904
4. Aglietti P, Buzzi R, Giron F, Simeone AJ, Zaccherotti G: Arthroscopy-assisted anterior cruciate ligament reconstruction with the central third patellar tendon. A 5-8-year follow-up.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1997; 5 (3): 138-144
5. Aglietti P, Giron F, Cuomo P, Losco M, Mondanelli N: Single- and double-incision double-bundle ACL reconstruction.
Clin Orthop Relat Res. 2007; 454: 108-113
6. Alkjaer T, Henriksen M, Simonsen EB: Different knee joint loading patterns in ACL deficient copers and non-copers during walking.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2011; 19: 615-621
7. Amiel D, Billings E, Akeson WH: Ligament structure, chemistry and physiology. In: Daniel D, Akeson W, O'Connor J editors: Knee ligaments: structure, function, injury and repair.
Raven Press New York 1990; 77-91
8. Anderson AF, Dome DC, Gautam S, Awh MH, Rennert GW: Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates.
Am J Sports Med 2001; 29(1): 58-66
9. Andersson C, Odensten M, Gillquist J: Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with a long term follow up period.
Clin Orthop Relat Res 1991 Mar; (264): 255-263
10. Araki D, Kuroda R, Kubo S, Fujita N, Tei K, Nishimoto K, Hoshino Y, Matsushita T, Matsumoto T, Nagamune K, Kurosaka M: A prospective randomized study of anatomical single bundle versus double bundle ACL reconstruction: a quantitative evaluation using an electromagnetic measurement system.
Int Orthop 2011; 35(3): 439-446
11. Arnoczky S: Anatomy of the anterior cruciate ligament.
Clin Orthop Relat Res 1983; 172: 19-25
12. Battle WH: A case after open section of the knee joint for irreducible traumatic dislocation.

Clin Soc London Trans 1900; 33: 232

13. Bertolini R, Leutert G, Rother P, Scheuner G, Wendler D: Systematische Anatomie des Menschen. Verlag Volk und Wissen 1987; 3. Auflage: 97
14. Beyaz S, Güler ÜÖ, Demir S, Yüksel S, Cinar BM, Özkoc G, Akpınar S: Tunnel widening after single versus double bundle ACL reconstruction: a randomized 8-year follow-up study. Arch Orthop Trauma Surg 2017; 137(11): 1547-1555
15. Brückner H: Eine neue Methode der Kreuzbandplastik. Chirurg 1966; 37: 413- 414
16. Cheng T, Zhang GY, Zhang XL: Does computer navigation system really improve early clinical outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction? A meta-analysis and systematic review of randomized controlled trials. Knee 2012; 19 (2): 73-77
17. Choi NH, Son KM, Yoo SY, Victoroff BN: Femoral tunnel widening after hamstring ACL reconstruction with bioabsorbable transfix. Am J Sports Med 2012; 40(2): 383-387
18. Cholewinski J, Ficek K, Wiatr A: The influence of the morphology of ACL remnant on the ACL reconstruction with remnant preservation. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2016; 24: 51-52
19. Ciccotti M, Lombardo S, Nonweiler B, Pink M: Non-operative treatment of ruptures of the ACL in middle-aged patients. Results after long term follow up. J Bone Joint Surg Am 1994; 75A: 1315-1321
20. Claes L: Biomechanische Eigenschaften humaner Bänder. Aktuelle Probl Chir Orthop 1983; 25: 12-19
21. Crawford C, Nyland J, Landes S, Jackson R, Chang HC, Nawab A, Caborn DN: Anatomic double bundle ACL reconstruction: a literature review. Knee Sports Traumatol Arthrosc 2007; 15 (8): 946-964
22. Dandy DJ, Flanagan JP, Steenmeyer V: Arthroscopy and the management of the ruptured anterior cruciate ligament. Clin Orthop Relat Res 1982; 167: 43-49
23. Dandy DJ: Arthroscopic surgery of the knee. Churchill Livingstone, Edinburgh 1981; 67-68
24. Daniel DM, Malcom L, Stone ML, Perth H, Morgan J, Riehl B: Quantification of knee stability and function. J Contemp Orthop 1982; 5: 83-91
25. Dargel J, Schmidt-Wiethoff R, Fischer S, Mader K, Koebeke J, Schneider T: Femoral bone tunnel placement using the transtibial tunnel or the anteromedial portal in ACL reconstruction: a radiographic evaluation. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2009; 17 (3): 220-227

26. Desai N, Björnsnon H, Musahl V, Bhandari M, Petzold M, Fu FH, Samuelsson K: Anatomic single- versus double-bundle ACL reconstruction: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22 (5): 1009-1023
27. Dey SF: The future of the anterior cruciate ligament restoration. *Clin Orthop Relat Res* 1996; 325: 130-139
28. Dienst M, Burks RT, Greis PE: Anatomy and biomechanics of the ACL. *Orthop Clin North Am* 2002; 33: 605-620
29. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Menetrey J: Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 204-213
30. Elmqvist LG, Lorentzon R, Johansson C, Langström M, Fagerlund M, Fugl-Meyer AR: Knee extensor muscle function before and after reconstruction of anteriorcruciate ligament tear. *Scand J Rehabil Med* 1989; 21 (3): 131-139
31. El-Sherief Faisal Ahmed Hashem, Wael Abdelkarim Aldahshan, Yaser Elsayed Wahd, Ashraf Mohamed Abdelaziz, Hany Abdel Gawwad Soliman, Tohamy Goda Hassan, Hassan Fathy Elbehairy, Adel Hamed Awadallah: Double bundle ACL reconstruction is better than single bundle reconstruction in terms of objective assessment but not in terms of subjective score. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018; 26(8): 2395-2400
32. Engebretsen L, Lewis JL: Graft selection and biomechanical considerations in ACL reconstruction (isometry, stress, preload). *Sports Medicine and Arthroscopy Review* 1996; 4(4): 436 - 441
33. ESSKA 2000. http://www.esska.org/pdf/IKDC_deutsch.pdf
Stand 12.10.2006
34. Feagin J, Curl W: Isolated tear of the anterior cruciate ligament, 5-year follow- up study. *Am J Sports Med* 4 (3), 1976; 95-100
35. Fernandes TL, Fregni F, Weaver K, Pedrinelli A, Camanho GL, Hernandez AJ: The influence of femoral tunnel position in single-bundel ACL reconstruction on functional outcomes and return to sports. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22 (1): 97-103
36. Fink C, Smigielski R, Siebold R, Abermann E, Herbort M: ACL reconstruction using a ribbon-like graft with a C-shaped tibial bone tunnel. *Arthrosc Tech* 2020; 22, 9 (2): 247-262
37. Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Hackl W, Gabl M: Long- term outcome of conservative or surgical therapy of anterior cruciate ligament rupture. *Unfallchirurg* Dezember 1996; 99 (12): 964-969
38. Fu F, Schulte K: Anterior cruciate ligament surgery 1996. State of the Art? *Clin Orthop Relat Res.* 1996; 325: 19-24

39. Fu FH, Musahl V: Review Article. The future of knee ligament surgery. *J Orthop Surg* 2001; 9 (2): 77-80
40. Fu FH: The clock-face reference: simple but nonanatomic. *Arthroscopy* 2008; 24(12): 1433-1434
41. Fujie H, Otsubo H, Fukano S, Suzuki T, Suzuki D, Mae T, Shino K: Mechanical functions of the three bundles consisting of the human acl. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19 (1): 47-53
42. Fujita N, Kuroda R, Matsumoto T, Yamaguchi M, Yagi M, Matsumoto A, Kubo S, Matsushita T, Hoshino Y, Nishimoto K, Araki D, Kurosaka M: Comparison of the clinical outcome of double bundle, anteromedial single bundle, and posterolateral single bundle ACL reconstruction using hamstring tendon graft with minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy* 2011; 27(79): 906-913
43. Furman W, Marshall JL, Girgis FG: The anterior cruciate ligament. A functional analysis based on postmortem studies. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58 (2): 179-185
44. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Ygi M: Distribution of in situ forces in the anterior cruciates ligament in response to rotary loads. *J Orthop Res* 2004; 22: 85-89
45. Girgis FG, Marshall JL, Monaiem A: The cruciate ligaments of the knee. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res* 1975; 106: 216-231
46. Giuliani JR, Kilcoyne KG, Rue JPH: Anterior cruciate ligament anatomy: a review of the anteromedial and posterolateral bundles. *J Knee Surg.* 2009; 22 (2): 148-154
47. Gobbi A, Mahajan V, Karnatzikos G, Nakamura N: Single versus double bundle ACL reconstruction: is there any difference in stability and function at 3-year follow-up? *Clin Orthop Relat Res* 2011; 470(3): 824-834
48. Goetjes H: Über Verletzungen der Ligamantea cruciata des Kniegelenkes. *Dtsch Z Chir* 1913; 123: 221-289
49. Gradikota HR, Seon JK, Chen CH, Wu JL, Gill TJ, Li G: In vitro and intraoperative laxities after single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy* 2011; 27 (6): 849-860. doi: 10.1016/j.arthro.2010.12.003.
50. Grindem H, Moksnes H, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Risberg MA: Knee reinjury after ACL reconstruction-risk factors associated with return to sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 137
51. Grüber J, Wolter D, Lierse W: Der vordere Kreuzbandreflex. *Unfallchirurg* 1986; 89: 551-554

52. Harner CD, Marks PH, Fu FH, Irrgang JJ, Silby MB, Mengato R: Anterior cruciate ligament reconstruction: endoscopic versus two-incision technique. *Arthroscopy* 1994; 10 (5): 502-512
53. Harter RA, Osternig LR, Standifer LW: Isokinetic evaluation of quadriceps and hamstrings symmetry following anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990; 71 (7): 465-468
54. Hasan Saqib, Nayyar Samir, Ounyekwelu Ikemefuna, Kalra Kunal, Gyftopoulos Soterios, Jazrawi Laith M: Complications using bioabsorbable cross-pin femoral fixation: a case report and review of the literature. *Case Reports in Radiology* 2011: Article ID 349230, 6 pages
55. Herbort M, Domnick C: Remnant – Augmentation. *Arthroscopie* 2018; 31 (3): 201-206
56. Hey-Groves EW: Operation for the repair of cruciate ligament. *Lancet* 1917; 2: 674-675
57. Höher J, Tilling T: Differential transplant selection in cruciate ligament surgery. *Chirurg* 2000; 71: 1045-1054
58. Hoshino Y, Kim D, Fu FH: Three-dimensional anatomic evaluation of the ACL for planning reconstruction. *Anat Res Int* 2012: Article ID 569704
59. Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH: Individualized ACL surgery: a prospective study comparing anatomic single and double bundle reconstruction. *Am J Sports Med* 2012; 40(8): 1781-1788
60. Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH: Prospective randomized clinical evaluation of conventional single bundle, and anatomic double bundle ACL reconstruction: 281 cases with 3-to 5-year follow-up. *Am J Sports Med* 2012; 40(3): 512-520
61. Hwang MD, Piefer JW, Lubowitz JH: Anterior cruciate ligament tibial footprint anatomy: systemic review of the 21st century literature. *Arthroscopy* 2012; 28(5): 728-734
62. Ikuta Y, Nakamae A, Adachi N, Yoshikawa M, Hayashi S, Suga N, Ishikawa M, Ochi M: Intraoperative biomechanical evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction using a navigation system: comparison of central anatomic single-bundle and anatomic double-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 104
63. Järvelä S, Kiekara T, Suomalainen P, Järvelä T: Double bundle versus single bundle ACL reconstruction: study with 10-years results. *Am J Sports Med* 2017; 45(11): 2578-2585
64. Järvelä T, Moisala AS, Sihvonen R, Järvelä S, Kannus P, Järvinen M: 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* 2008; 36 (2): 290-297

65. Järvelä T: Double bundle versus single bundle anterior cruciate ligament Reconstruction: a prospective, randomized clinical study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2007; 15 (5): 500-507
66. Jakob RP, Stäubli HU: Kniegelenk und Kreuzbänder: Anatomie, Biomechanik, Klinik, Rekonstruktion, Komplikationen, Rehabilitation.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1990. 1. Auflage
67. Janovsky C, Kaleka CC, Alves MTS, Ferretti M, Cohen M: Synovial C-shaped tibial footprint of the ACL.
Orthop J Sports Med 2016; 4: 11
68. Jones KG: Reconstruction of the anterior cruciate ligament. A technique using the central one-third of the patellar ligament.
J Bone Joint Surg Am 1963; 925- 935
69. Jones R: Disabilities of the knee joint.
British Medical Journal 2, 1916; 169-173
70. Kaplan Y: Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: a narrative literature review.
J Orthop Sports Phys Ther 2011; 41(10): 758-766
71. Karikis I, Ahlden M, Casut A, Sernert , Kartus J: Comparison of outcome after anatomic double-bundle and anteromedial portal non-anatomic single-bundle reconstruction in ACL-injured patients.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017; 25 (4); doi: 10.1007/s00167-016-4132.z.
72. Karikis I, Desai N, Sernert N, Rostgard-Christensen L, Kartus J: Comparison of anatomic double- and single- bundle techniques for ACL reconstruction using hamstring tendon autografts: a prospective randomized study with 5-year clinical and radiographic follow-up.
Am J Sports Med 2016; 44(5): 1225-1236
73. Karlsson J, Kartus J, Magnusson L, Larsson J, Brandsson S, Eriksson BI: Subacute versus delayed reconstruction of the anterior cruciate ligament in the competitive athlete.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1999; 7: 146-151
74. Keays SL, Bullock-Saxton J, Keays AC, Newcombe P: Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosis and gracilis.
Knee 2001 Oct; 8 (3): 229-234
75. Klein P, Sommerfeld P: Biomechanik der menschlichen Gelenke. Grundlagen. Becken. Untere Extremität.
Urban und Fischer; 2004
76. Koebke J, Brade A: Alloplastischer Ersatz des anterioren Kreuzbandes.
Unfallchirurg 1988; 91: 106-109
77. Kondo E, Merican AM, Yasuda K, Amis AA: Biomechanical comparison of knee stability after ACL reconstruction between 2 clinically available transtibial

procedures: anatomic double bundle versus single bundle.
Am J Sports Med 2010; 38 (7): 1349-58. doi: 10.1177/0363546510361234.

78. Kopf S, Forsythe B, Wong AK, Tashman S, Irrgang JJ: Transtibial ACL reconstruction technique fails to position drill tunnels anatomically in vivo 3D CT study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20: 2200-2207
79. Kopf S, Musahl V, Tashman S, Szczodry M, Shen W, Fu FH: A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2009; 17: 213-219
80. Krüger-Franke M: Das Kniegelenk.
Sportverletzungen, Verlag Urban und Fischer 2006, Kapitel 19: 273-289
81. Lange F: Künstliche Bänder aus Seide.
Münch Med Wochenschr 1907; 52: 834-836
82. Lee S, Kim H, Jang J, Seong SC, Lee MC: Comparison of anterior and rotatory laxity using navigation between single and double bundle ACL reconstruction: prospective randomized trial.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20(4): 752-761
83. Legnani C, Ventura A, Terzaghi C, Borgo E, Albiseth W: Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. A review of literature.
Int Orthop 2010 Apr; 34 (4): 465-471
84. Levy AS, Meier SW: Approach to cartilage injury in the anterior cruciate ligament-deficient knee.
Orthop Clin North Am, 2003 Jan; 34 (1): 149-167
85. Li YL, Ning GZ, Wu Q, Wu QL, Li Y, Hao Y, Feng SQ: Single bundle or double bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis.
Knee 2014; 21 (1): 28-37
86. Lindemann K: Über den plastischen Ersatz der Kreuzbänder durch gestielte Sehnenverpflanzung.
Z Orthop 1950; 79: 316- 334
87. Lobenhoffer P: Kniebandverletzungen. Anatomie, Biomechanik, Diagnostik, Indikationsstellung.
Chirurg 1999 Feb; 70 (2): 219-230
88. Lu D, Xiao M, Zhang Y, Yan S, Dong F, Lian Y: Arthroscopic study of remnant-preserved reconstruction of anterior cruciate ligament.
Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi 2015; 29 (8): 941-944
89. Lysholm J, Gillquist J: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale.
Am J Sports Med 1982; 10 (3): 150-154
90. Mai Xu, MD, Ph D, Shuguang Gao: Outcomes of the anterior cruciate ligament

- reconstruction using single-bundle versus double-bundle technique: Meta-analysis of 19 randomized controlled trials.
Arthroscopy 2013; 29 (2): 357-365. doi: 10.1016/j.arthro.2012.08.024.
91. Marshall JL, Fetto JF, Botero PM: Knee ligament injuries: a standardized evaluation method.
Clin Orthop Relat Res 1977; 123: 115-129
 92. Mascarenhas R, Cvetanovich GL, Sayegh ET, Verma NN, Cole BJ, Bush-Joseph C, Bach BR Jr: Does double-bundle ACL-reconstruction improve postoperative knee stability compared with single-bundle techniques? A systematic review of overlapping meta-analysis.
Arthroscopy 2015; 31 (6): 1185-1196
 93. Mayo Robson AW: Ruptured crucial ligaments and their repair by operation.
Ann Surg 1903; 37: 716-718
 94. Mayr HO, Weig TG, Plitz W: Arthrofibrosis following ACL reconstruction-reasons and outcome.
Arch Orthop Trauma Surg 2004; 124: 518-522
 95. Mayr H, Buchner M, Miltner O, Krüger-Franke M, Ellermann A, Zantop T: Tunnelposition bei VKB-Rekonstruktion.
GOTS Expertenmeeting Burg/Spreewald 2010; 67-80
 96. Mc Carty DM, Tolin BS, Schwendermann L, Friedmann MJ, Woo SL-Y: Prosthetic replacement for the anterior cruciate ligament.
Jackson DW, editor: The anterior cruciate ligament: current and future concepts. Raven press New York Ltd; 1993: 343-356
 97. Meuffels DE, Reijman M, Scholten RJ, Verhaar JA: Computer assisted surgery for knee ligament reconstruction.
Cochrane Database Syst Rev 2011;15 (6); CD007601
 98. Misonoo G, Kanamori A, Ida H, Miyakawa S, Ochiai N: Evaluation of tibial rotational stability of single bundle versus anatomical double bundle ACL reconstruption during a high-demand activity-a quasi-randomized trial.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2011; 19(2): 87-93
 99. Mott HW: Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency.
Clin Orthop Relat Res 1983 (172): 90-92
 100. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I: A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques.
Arthroscopy 2007, 23 (6): 618-628
 101. Nägerl H, Kubein-Meesenburg D, Cotta H, Fanghändler J: Biomechanische Prinzipien in Diarthrosen und Synarthrosen-Teil III: Mechanik des Tibiofemoralgelenk und Rolle der Kreuzbänder.
Z Orthop Ihre Grenzgebiete 1993; 131: 385-396

102. Nema SK, Balaji G, Akkilagunta S, Menon J, Poduval M, Patro D: Radiologic assessment of femoral and tibial tunnel placement based on anatomic landmarks in arthroscopic single bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J Orthop* 2017; 51 (3): 286-291
103. Neumann P, Englund M, Kostogiannis I, Friden T, Roos H, Dahlberg LE: Prevalence of tibiofemoral osteoarthritis 15 years after nonoperative treatment of acl injury: a prospective cohort study. *Am J Sports Med* 2008; 36(9): 1717-1725
104. Nishizawa Y, Irrgang J, Fu FH, Tashman S: Does early anterior cruciate ligament reconstruction restore dynamic knee function and improve clinical outcomes? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 66-67
105. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS: Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am* 1984; 66(3): 344-352
106. Odensten M, Gillquist J: Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 1985; 67: 257-262
107. Øiestad BE, Holm I, Engebretsen L, Aune A, Gunderson R, Risberg MA: The prevalence of patellofemoral osteoarthritis 12 years after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21(4): 942-949
108. Paessler H: The history of cruciate ligaments. *Sports exercise and injury* 1995; 1: 166-171
109. Petersen W, Zantop T: Bandverletzungen des Kniegelenkes, Teil I. Das vordere Kreuzband. *Trauma Berufskrankheit* 2009; 11: 296-306
110. Petersen W, Zantop T: Doppelbündel- vs. Einzelbündelrekonstruktion *Arthroskopie* 2010; 23: 30-39
111. Petersen W, Tillman B: Structure and vascularization of the cruciate ligaments of the human knee joint. *Anat. Embryol* 1999; 200: 325-334
112. Petersen W, Tillmann B: Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes *Orthopäde* 2002; 31: 710-718
113. Petersen W, Forkel P, Achtnich A, Metzloff S, Zantop T: Verletzungen des vorderen Kreuzbandes: Von der Prävention zur Therapie. *Deutscher Ärzte-Verlag* 2012; 1(6): 232-243
114. Raunest J, Sager M, Burgener E: Proprioception of the cruciate ligament receptor mapping in an animal model. *Arch Orthop Trauma Surg* 1998; 118 (3): 159-163

115. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH: In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res* 1997; 15: 285-293
116. Schillhammer CK, Reid JB, Rister J, Jani SS, Marvil SC, Chen AW, Anderson CG, D'Agostino S, Lubowitz JH: Arthroscopy up to date: anterior cruciate ligament anatomy. *Arthroscopy* 2016; 32 (1): 209-212
117. Sernert N, Kartus J, Köhler K, Stener S, Larsson J, Eriksson BI, Karlsson J: Analysis of subjective, objective and functional examination tests after ACL reconstruction. A follow-up of 527 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999; 7(3): 160-165
118. Shelbourne K, Wilckens J: Intraarticular anterior cruciate ligament reconstruction in the Symptomatic arthritic knee. *Am J Sports Med* 1993; 21: 658-688
119. Siebold R, Branch TP, Freedberg HI, Jacobs CA: A matched pairs comparison of single – versus double bundle anterior cruciate ligament reconstructions, clinical results and manual laxity testing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19: 4-11
120. Siebold R, Dehler C, Ellert T: Prospective randomize comparison of double bundle versus single bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008; 24 (2): 137-145
121. Siebold R: The concept of complete footprint restoration with guidelines for single- and double-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011; 19: 699-706
122. Simon D, Mascarenhas R, Saltzman BM, Rollins M, Bach BR, Jr., MacDonald P: The relationship between ACL injury and osteoarthritis of the knee. *Adv Orthop* 2015; Published online 2015 Apr 19: doi: 10.55/2015/928301
123. Stäubli HÜ, Rauschnig W: Tibial attachment area of the anterior cruciate ligament in the extended knee position. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994; 2: 138-146
124. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, Schmitt H: Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of DB vs. SB technique in male athletics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008, 16 (3): 232-238
125. Strobel MJ, Zantop T: *Vorderes Kreuzband* Verlag Endo press Tuttlingen 2010; 169-256
126. Suggs J, Wang C, Li G: The effects of graft stiffness on knee joint biomechanics after CL reconstruction – a 3D computational simulation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2003; 18 (1): 35-43
127. Sundemo D, Martensson J, Senorski EH, Svantesson E, Kartus J, Sernert N, Karlsson J,

- Samuelsson K: No correlation between femoral tunnel orientation and clinical outcome at long-term follow-up after non-anatomic ACL reconstruction.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019; 27(11): 3400-3410
128. Suomalainen P, Moisala A-S, Paakkala A, Kannus P, Järvelä T: Comparison of tunnelplacement and clinical results of single bundle ACL reconstruction before and after starting the use off double bundle technique.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013; 21: 646-653
 129. Suomalainen P, Järvelä T, Paakkala A, Kannus P, Järvinen M: Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study with 5-year results.
Am J Sports Med. 2012; 40 (7): 1511-8. doi: 10.1177/0363546512448177.
 130. Takahashi T, Kondo E, Yasuda K, Miyatake S, Kawaguchi Y, Onodera J, Kitamura N: Effects of remnant tissue preservation on the tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical and histological study.
Am J Sports Med 2016; 44 (7): 1708-1716; doi.10.1177/0363546516643809.
 131. Takeda Y, Xerogeanes JW, Livesay GA, Fu FH, Whoo SL: Biomechanical function of the human ACL.
Arthroscopy 1994; 10: 140-147
 132. Tegner Y, Lysholm J: Rating systems in evaluation of knee ligament injuries.
Clin Orthop Relat Res 1985; 198: 43-49
 133. Tensho K, Kodaira H, Yasuda G, Yoshimura Y, Narita N, Morioka S, Kato H, Saito N: Anatomic double-bundle ACL reconstruction, using CT-based navigation and fiducial markers.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2011; 19(3): 378-383
 134. Thiel W : Photographischer Atlas der Praktischen Anatomie.
Springer Verlag, 2. Ausgabe 2003; 386
 135. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Laopaiboon M: Double-bundle versus single-bundle reconstruction for ACL rupture in adults.
Cochrane Database Syst Rev. 2012 Nov 14; 11: CD0084.13. doi: 10.1002/14651858.CD008413.pub2.
 136. Tie K, Chen L, Hu D, Wang H: The difference in clinical outcome of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with and without remnant preservation: A meta-analysis.
Knee 2016; 23 (4): 566-574; doi:10.1016/J.knee.2015.07.010.
 137. van Meer BL, Meuffels DE, van Eijnsden WA, Verhaar JAN, Bierma-Zeinstra SMA, Rejman M: Which determinants predict tibiofemoral and patellofemoral osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury? A systematic review.
Br J Sports Med 2015; 45(15): 975-983
 138. Ventura A, Legnani C, Terzaghi C, Borgo E: Single and double bundle ACL reconstruction in patients aged over 50 years.
Arthroscopy 2012; 28(11): 1702-1709
 139. Wang Han, Liu Ziming, Yuwan Li, Peng Yihang, Xu Wei, Hu Ning, Huang Wei : Is remnant

- preservation in ACL reconstruction superior to the standard technique? A systematic review and metaanalysis.
BioMed Res Int 2019: Article ID 1652901, 15 pages
140. Weber W, Weber EF 1836: Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge – eine anatomisch-physiologische Untersuchung
 141. Weiler A, Scheffler SU, Sudkamp NP: Aktuelle Aspekte in der Verankerung von Hamstringsehnen-Transplantaten in der Kreuzbandchirurgie.
Chirurg 2000; 71 (9): 1034-1044
 142. Wierer G, Hoser C, Runer A, Hepperger C, Gfoeller P, Fink C: Outcome of ACL reconstruction: does age matter?
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2016; 24: 68
 143. Williams R, Wickiewicz T, Warren R: Management of unicompartmental arthritis in the anterior cruciate ligament deficient knee.
Am J Sports Med 2000; 28: 749-760
 144. Windsor RE, Insall JN, Warren RF, Wickiewicz TL: The hospital for special surgery knee ligament rating form.
Am J Knee Surg 1988; 1: 140-145
 145. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S: Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation.
Am J Sports Med 1991; 19(3): 217-225
 146. Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, Yoshiya S, Kurosaka M: Double bundle ACL reconstruction can improve rotational stability.
Clin Orthop Relat Res 2007; 454: 100-107
 147. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H: Clinical evaluation of anatomic DB anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures.
Arthroscopy 2006; 22 (3): 240-251
 148. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y, Tohyama H, Minami A: Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts.
Arthroscopy 2004; 20 (10): 1015-1025
 149. Yokota M, Onodera J, Kondo E, Kitamura N, Goto K, Iwasaki N, Yasuda K: Effects of remnant ligament tissue preservation on graft healing in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using magnetic resonance imaging.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2016; 24: 49-50
 150. Zaffagnini S, Bruni D, Muccioli GMM, Bonanzinga T, Lopomo N, Bignozzi S, Marcacci M: Single bundle patellar tendon versus non-anatomical double bundle hamstrings ACL reconstruction: a prospective randomized study at 8 year minimum follow-up.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2011; 19(3): 390-397
 151. Zantop T, Brucker PU, Vidal A, Zelle BA, Fu FH: Intraarticular rupture pattern

of the ACL.
Clin Orthop Relat Res 2007, 454: 48-53

152. Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W: Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. Am J Sports Med 2008; 36 (4): 678-685. Epub 2008 Feb 22
153. Zantop T, Petersen W: Anatomische Doppelbündelrekonstruktion mit autologer Semitendinosussehne. Arthroskopie 2013; 26 (1): 21-34. doi: 10.1007/s00142-012-0714-z
154. Zeman P, Koudela K, Kasl J, Nepras P, Zeman J, Matejka J: Anatomical ACL reconstruction by a double- versus single-bundle technique. Prospective randomized study of short-term clinical results. Acta Chir Orthop Traumatol Czech 2014; 81 (1): 40-50
155. Zimny ML, Schutte M, Dabezies E: Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. Anat Rec. 1986; 214 (2): 204-209

12. Anhang

Anhang 1 Lysholm-Score

Parameter	Befund	Punkte
Knieschmerzen	keine	5
	wenig	3
	manchmal	3
	stark oder ständig	0
Tragkraft	voll	5
	benötigt Stock oder Krücke	3
	Gewicht tragen unmöglich	0
Treppensteigen	keine Probleme	10
	leicht beeinträchtigt	6
	immer eine Stufe	2
	unmöglich	0
Hocken	keine Probleme	5
	leicht beeinträchtigt	4
	nicht über 90°	2
	unmöglich	0
Gehen – Instabilität	kein Giving-Way	30
	selten während Sport/starker Belastung	25
	öfters während Sport/starker Belastung	20
	Sport aufgrund Instabilität nicht möglich	20
	manchmal während Ausdauertraining	10
	öfters während Ausdauertraining	5
	bei jedem Schritt	0
Gehen – Schmerz	keinen	30
	Inkonstant und leicht während starker Belastung	25
	beim Giving-Way	20
	während starker Belastung	15
	nach mehr als 2km Gehstrecke	5
	andauernd stark	0
Gehen – Schwellung	keine	10
	bei Giving-Way	7
	bei starker Belastung	5
	bei normaler Belastung	2
	dauernd	0
Muskelatrophie	keine	5
	1-2cm	3
	>2cm	0

Anhang 2 Tegner-Score

Level/ Punkte	Wettkampfsport	Freizeitsport	Arbeit
10	(Nationale/Internationale Elite) Fußball, Football, Rugby (z.B. Bundesliga)		
9	Fußball, Football, Rugby (z.B. Landesliga), Eishockey, Ringen, Turnen		
8	Squash, Badminton, Tischtennis, Leichtathletik, Skilabfahrtslauf		
7	Tennis, Handball, Basketball, Volleyball, Motocross, Speedway	Fußball, Football, Rugby (Verein;2/Woche), Eishockey (1/Woche), Squash, Badminton, Tischtennis (2/Woche), Ringen (1/Woche)	
6	Tennis, Badminton, Handball, Volleyball, Basketball, Skiabfahrtslauf (Skiurlaub), Turnen, Jazztanz (mind.3/Woche)		
5	Radfahren, Skilanglauf	Jogging (>5/Woche), Bodybuilding (>3/Woche)	Schwerarbeit (überwiegend stehen, gehen, Lasten tragen)
4		Jogging (>2/Woche, unebener Grund), Jazztanz, Radfahren, Skilanglauf, Bodybuilding, Schwimmen (mind.2/Woche)	Mäßig schwer (überwiegend stehen, gehen, Treppen steigen)
3		Jogging (>2/Woche);ebener Grund), Schwimmen, Wandern	Leicht (4 Stunden am Tag; gehen, stehen)
2		Spazieren gehen im Gelände	Leicht (2 Stunden/Tag; gehen, stehen)
1		Spazieren gehen ebenerdig	Überwiegend sitzende Tätigkeit
0	Arbeits -	und	Sportunfähigkeit

Anhang 3
Score nach Marshall et al.

Parameter	Befund	Punkte
Pain	Yes	0
	No	1
Swelling	Yes	0
	No	1
Giving way	Regularly upon daily activities	0
	With stress upon daily activities	1
	With stress only	2
	Normal no	4
Stair difficulty	Yes	0
	No	1
Clicking/numbness	Yes	0
	No	1
Return to sport/ work	No return	0
	Return to different	1
	Return to original with limitations	2
	Full return	3
Duck walk	Cannot perform	0
	Can perform but with comfort	1
	Can perform	2
Run in place	Cannot	0
	Can	1
Full squat	Cannot	0
	Can	1
Jump on one leg	Cannot perform	0
	Can perform but with discomfort	1
	Can perform	2
Half squat	Cannot	0
	Can	1
Specific knee examination		
Tenderness	Yes	0
	No	1
Joint effusion	Yes	0
	No	1
Swelling (soft tissue)	Yes	0
	No	1
Range of motion	<90°	0
	Limited flexion and extension	1
	Limited flexion or extension	2
	Normal	3
Crepitations	Yes	0
	No	1
Muscle power	Very weak	0
	Diminished flexion and extension	1
	Diminished flexion or extension	2
	Normal	3
Thigh sizes	>2cm difference	0
	1-2cm difference	1
	Equal	2
Stability		
LCL	Gross instability	0
	Instability in flexion and extension	2
	Moderate instability in flexion	3
	Mild instability in flexion	4
	Normal	5
MCL	Gross instability	0
	Instability in flexion and extension	2
	Moderate instability in flexion	3
	Mild instability in flexion	4
	Normal	5

ACL	Severe in neutral and rotation (pivot shift, jerk test) Severe in neutral Moderate jog Slight jog Normal	0 2 3 4 5
PCL	Severe in neutral and rotation Severe in neutral Moderate jog Slight jog Normal	0 2 3 4 5

Anhang 5

Radiologische Klassifikation der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence aus AWMF – Gonarthrose Stand 18.01.18, S.8

Stadium 0: Keine Veränderungen

Stadium 1: Geringe subchondrale Sklerosierung. Keine Osteophyten. Keine Gelenkspaltverschmälerung.

Stadium 2: Geringe Gelenkspaltverschmälerung. Beginnende Osteophytenbildung. Angedeutete Unregelmäßigkeit der Gelenkspaltfläche.

Stadium 3: Ausgeprägte Osteophytenbildung. Gelenkspaltverschmälerung. Deutliche Unregelmäßigkeit der Gelenksfläche.

Stadium 4: Ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung bis zur vollständigen Destruktion. Deformierung/ Nekrose der Gelenkpartner.

13. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Alexandra Gast, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleichende Untersuchungen nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes in Single-Bundle-, Double-Bundle- und TransFix AM – Technik/ Comparative research after reconstruction of the anterior cruciate ligament in Single bundle, Double bundle and TransFix AM technique“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

14. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

15. Danksagung

Mein ganz besonder Dank gilt Herrn PD Dr. med. K. Labs für die Überlassung des Themas und die unermüdliche wissenschaftliche Unterstützung während des gesamten langjährigen Entstehungsprozesses.

Bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Monika Wolff (Reichenberger Str. 88 in 10 999 Berlin) für die freundliche und unkomplizierte Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Weiterhin danke ich Frau Feeder aus dem Archiv der ASKLEPIOS Klinik Birkenwerder für ihre Zuarbeit.

Ein herzliches Dankeschön gilt allen Patienten, die den Weg nach Birkenwerder zur Nachuntersuchung auf sich genommen haben.