

**Vergleich klinischer und kernspintomografischer Ergebnisse 6 und
12 Monate nach vorderer Hamstring Kreuzbandplastik mit
transversaler Pin-Fixation bzw.
extrakortikaler Anker- Fixation**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Annika Kipper
aus Lich

Gießen 2010

aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie

Direktor:

Prof. Dr. med. H. Stürz

des Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen

Gutachter: Prof. Dr. H. Stürz

Gutachter: Prof. Dr. C. Heiß

Tag der Disputation: 25. April 2012

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

GRAFIKVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

ERKLÄRUNG HÄUFIG VERWENDETER ABKÜRZUNGEN

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1	MOTIVATION	1
1.2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	2
1.2.1	Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur	2
1.2.2	Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes	2
1.2.3	Verletzungsmechanismen	5
1.2.4	Behandlungskonzepte	6
1.2.4.1	Konservatives Behandlungskonzept	6
1.2.4.2	Operative Behandlungskonzepte	7
1.2.4.2.1	Transplantatauswahl	8
1.2.4.2.2	Fixationsverfahren	11
1.2.4.2.3	Der Einheilungsprozess und mögliche Komplikationen nach operativer Rekonstruktion	13
1.3	FRAGESTELLUNGEN DER STUDIE	16
2	MATERIAL UND METHODIK	17
2.1	PATIENTEN	17
2.1.1	Patientenauswahl	17
2.1.2	Studienverlauf	17
2.1.3	Alters- und Geschlechtsverteilung, anthropometrische Daten und Begleitverletzungen	19
2.1.4	Traumahergang	19
2.1.5	Besonderheiten	20
2.2	OPERATIONSMETHODEN	21
2.2.1	Rekonstruktion mit STS-EndoButton™ und Suture Disc™	21
2.2.2	Rekonstruktion mittels RigidFix®	22
2.2.3	Nachbehandlung	23

2.3	METHODIK KLINISCHER PARAMETER	23
2.3.1	Die KT-1000-Arthrometer- Messung	23
2.3.2	Klinische Untersuchung	24
2.3.3	Subjektive Bewertungsparameter	26
2.4	METHODIK DES MRTs	27
2.4.1	MR Technik	27
2.4.2	Kernspintomographische Daten	28
2.4.2.1	Die Signalintensitäten	28
2.4.2.2	Messung der Bohrkanaldurchmesser und Banddicken	28
2.4.2.3	Weitere Bewertungskriterien	29
2.5	STATISCHE METHODEN	30
3	ERGEBNISSE	34
3.1	PRÄOPERATIVE DATEN	34
3.2	KLINISCHE DATEN IM VERLAUF	37
3.2.1	Aktueller Aktivitätslevel	37
3.2.2	Funktion	38
3.2.3	Schmerzintensität	39
3.2.4	Startschmerzen	40
3.2.5	Belastungsschmerzen	41
3.2.6	Schwellung nach Belastung	42
3.2.7	Giving Way	43
3.2.8	KT-1000-Messung	44
3.3	SCORES IM VERLAUF	45
3.3.1	Meyer Score	45
3.3.2	Tegner/Lysholm-Score	46
3.3.3	Lysholm/Gillquist-Score	47
3.3.4	IKDC-Score	48
3.4	KERNSPINTOMOGRAPHISCHE DATEN IM VERLAUF	49
3.4.1	Reflux	49
3.4.2	Kniegelenkserguss	51
3.4.3	Knochenmarksödem („bone bruise“)	52
3.5	ERGEBNISSE DER SPEZIELLEN FRAGESTELLUNGEN	54
3.5.1	Femorale und tibiale Tunnelaufweitung	54
3.5.2	Signalintensitäten über die Zeit	56

3.5.3 Dicke der Plastik intraartikulär über die Zeit	60
4 DISKUSSION.....	61
5 ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY	75
6 LITERATURVERZEICHNIS	
7 ANHANG	
ERKLÄRUNG	
DANKSAGUNG	
LEBENS LAUF	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Kniegelenkes	3
Abbildung 2: Schemenhafte Darstellung: I = EndoButton der Firma Smith&Nephew, Andover, USA; II = Interferenzschraube; III = RigidFix- Pins der Firma Mitek, Norderstedt, Deutschland	11
Abbildung 3: Eine mit EndoButton präparierte STS in Quadrupletechnik.....	21
Abbildung 4: Tibiale Fixierung mittels „Suture-disc™“	22
Abbildung 5: STS und GS in Whip –Stitch 4 fach vernäht (DePuy Mitek)	22
Abbildung 6: Einbohren einer Pin Hülse mittels Zielrahmen(DePuy Mitek)	23
Abbildung 7: Das KT-1000-Arthrometer (MedMetric, San Diego, USA)	24
Abbildung 8: Lachmann-Test in 25° Flexionsstellung	25
Abbildung 9: Messung des Durchmessers der tibialen Bohrkanäle.....	28
Abbildung 10: Messung der Banddicke intraartikulär.....	29
Abbildung 11: Hamstringplastik nach 6 Monaten mit hyperintensiven Längsstreifen in der Plastik	68
Abbildung 12: Gebrochener, beginnend resorbierter femoraler Pin nach 6 Monaten.....	69

Grafikverzeichnis

Grafik 1: <i>Aktueller Aktivitätslevel</i>	37
Grafik 2: <i>Funktion</i>	38
Grafik 3: <i>Schmerzintensität</i>	39
Grafik 4: <i>Startschmerzen</i>	40
Grafik 5: <i>Belastungsschmerzen</i>	41
Grafik 6: <i>Schwellung nach Belastung</i>	42
Grafik 7: <i>Giving Way</i>	43
Grafik 8: <i>KT-1000- Messung</i>	44
Grafik 9: <i>Meyer-Score</i>	45
Grafik 10: <i>Tegner/Lysholm-Score</i>	46
Grafik 11: <i>Lysholm/Gillquist- Score</i>	47
Grafik 12: <i>IKDC-Knie-Score</i>	48
Grafik 13: <i>Quantifizierung des femoralen Refluxes</i>	49
Grafik 14: <i>Quantifizierung des tibialen Refluxes</i>	50
Grafik 15: <i>Quantifizierung des Kniegelenkergusses</i>	51
Grafik 16: <i>Quantifizierung des femoralen Knochenmarködemes ("bone bruise")</i>	52
Grafik 17: <i>Quantifizierung des tibialen Knochenmarködemes ("bone bruise")</i>	53
Grafiken 18 & 19: <i>Femorale und tibiale Tunnelweiten</i>	54
Grafiken 20 & 21: <i>Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der T1-Wichtung</i>	56
Grafiken 22 & 23: <i>Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der PD-Wichtung</i>	57
Grafiken 24 & 25: <i>Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der T2 Sequenz</i>	58
Grafiken 26 & 27: <i>Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der Kontrastmittelsequenz</i>	59
Grafik 28: <i>Intraartikuläre Plastikdicke und absoluter Zuwachs von t6 zu t12</i>	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : <i>Möglichkeiten der Hybridfixation</i>	13
Tabelle 2: <i>Geschlechterverteilung, anthropometrische Daten und Begleitverletzungen</i>	19
Tabelle 3: <i>Traumahergänge, die zur Ruptur des VKB führten</i>	20
Tabelle 4: <i>Einteilung der Seitendifferenzen der MMD</i>	24
Tabelle 5: <i>Bewertungsskala für die Parameter Knochenmarksödem, Erguss und Reflux</i>	30
Tabelle 6: <i>Subjektive Bewertungskriterien präoperativ; die Mediane und das Signifikanzniveau des approximativen Chi-Quadrat-Tests auf Unabhängigkeit sind angegeben.</i>	34
Tabelle 7: <i>Scores vor der Behandlung; die Median bzw. Mittelwerte sind angegeben</i>	34
Tabelle 8: <i>Messung der präoperativen KT-1000 Werte</i>	35
Tabelle 9: <i>Verwendete Bohrerstärke</i>	35

Erklärung häufig verwendeter Abkürzungen

STS	-	Semitendinosussehne
GS	-	Grazilissehne
EB	-	EndoButton™, Smith&Nephew, Andover, USA
RF	-	RigidFix®, DePuy Mitek, Raynham, USA
SD	-	Suture-Disc™, Braun Aesculap GmbH, Melsungen, Deutschland
hamstrings	-	Die Sehnen der Muskelgruppe, die an der Pes anserinus ansetzen, nämlich der M. semitendinosus, der M. gracilis und der M. sartorius, werden im englischen umgangssprachlich als „hamstrings“ bezeichnet
BTB	-	„bone-tendon-bone“, Fixation beim Patellarsehnentransplantat
VKB	-	Vorderes Kreuzband
MRT	-	Magnetresonanztomographie
TW	-	„tunnel-widening“
t6	-	Zeitpunkt 6 Monate postoperativ
t12	-	Zeitpunkt 12 Monate postoperativ
FPG	-	Femuropatellares Gleitlager

1 Einleitung und Problemstellung

1.1 Motivation

Der Riss des vorderen Kreuzbandes stellt eine häufige Verletzung bei Patienten im jugendlichen bis mittleren Alter dar, die in einer Instabilität des Kniegelenkes resultiert. Unbehandelt führt die chronische Instabilität zu weitreichenden Zusatzschädigungen an Menisken und Knorpel mit fortschreitenden degenerativen Veränderungen. Da die primäre Rekonstruktion sich nicht bewährt hat, insbesondere wenn die Verletzung nicht frisch ist, stellt die Kreuzbandplastik die operative Therapie der Wahl dar. Das Gebiet der operativen Behandlungsmöglichkeiten der vorderen Kreuzbandinsuffizienz ist groß. Die Notwendigkeit nach weiteren Therapiemöglichkeiten zu suchen, ergibt sich aus der Tatsache, dass trotz zahlreicher Verbesserungen in den letzten Jahren, es bis heute nicht zuverlässig gelingt, eine „restitutio ad integrum“ mit einer Wiederherstellung der physiologischen Kinematik des Kniegelenkes zu erreichen. Dass ein großes Interesse vorhanden ist, eine solche Therapie zu finden, spiegelt sich z.B. in den häufigen Neuentwicklungen der Fixationsmöglichkeiten und in den ständig wachsenden Publikationszahlen zu diesem Thema wider.

Ein großes Problem bei der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes stellt die anatomisch-funktionelle Komplexität des Bandes mit seinen verschiedenen funktionierenden Faserbündeln und deren propriozeptiver Innervierung dar¹. Darüber hinaus sind Bohrkanalpositionierung, Auswahl des Transplantates zu Rekonstruktion und die Transplantatfixation der Inhalt einer regen wissenschaftlichen Diskussion. Die Lage der Bohrkanäle ist entscheidend für eine gleichbleibende Bandspannung in allen Bewegungsgraden (Isometrie). Die Transplantatwahl ist entscheidend für die Stabilität und Entnahmemorbidity. Die Transplantatfixation ist für die Einheilung des Transplantates wichtig und gilt als das schwächste Glied, unmittelbar nach VKB Rekonstruktion. Die Transplantatfixation wird durch Implantate sichergestellt und weist vom Verankerungsprinzip und dem Implantattyp unterschiedlichste Konzepte auf.²

In der vorliegenden vergleichenden Studie wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Fixationsverfahren, unter Verwendung der Semitendinosus- und Gracilissehne als Transplantat, verglichen. Zum einen wurde eine gelenkferne

Fixation mit der Endobutton Technik geprüft. Als Vertreter der gelenknahen Fixation wurde die RigidFix Technik untersucht. Im Rahmen einer prospektiven Verlaufsbeobachtung (Fallgruppenanalyse) wurden beide Gruppen nach klinischen und MRT-radiologischen Kriterien, über einen Zeitraum von 12 Monaten, verglichen. Hierbei wurde insbesondere die objektive Stabilität durch einen instrumentellen Stabilitätstest und das Einheilungsverhalten nach MRT-morphologischen Kriterien gemessen.

1.2 Theoretische Grundlagen

1.2.1 Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur

Das Kniegelenk ist das am häufigsten verletzte Gelenk des menschlichen Körpers³. Vor allem Verletzungen des VKB, die zu den häufigsten Bandverletzungen des Menschen gehören und ihre Rekonstruktion, die zu den häufigsten Kniegelenkseingriffen zählt^{3,4} stehen im Zentrum des Interesses.

Für das Jahr 2002 schätzten Rupp und Kohn die jährliche Inzidenz der VKB-Rupturen in den Industrieländern auf 1/1000 Einwohner. Die Betroffenen sind überwiegend jüngere Menschen, die in ihrer Ausbildung oder im Erwerbsprozess tätig sind, teilweise auch als Profisportler. Daraus ergibt sich über das Schicksal des Einzelnen hinaus auch ein sozioökonomischer Aspekt⁴. Am häufigsten sind Sportler aus Kontaktsportarten betroffen; Gianotti⁵ beschrieb 2009 in einer nationalen Studie die Inzidenz in diesen Gruppen als dreifach erhöht im Vergleich zur Normalbevölkerung. In dieser Studie waren vor allem Rugby-Spieler, Fußballer und Netballspieler betroffen.

Vom anatomischen Aspekt betrachtet, soll die Inzidenz von Kreuzbandverletzungen bei enger Fossa intercondylaris erhöht sein⁶.

1.2.2 Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes

Die Entwicklung der Kreuzbänder beginnt schon in der 8. Woche beim Feten, zunächst nur als Kondensationen von Zellen, kurz später aber auch schon in Form von Kollagenfasern⁷. Sie entwickeln sich ortsständig aus der Synovialmembran zwischen Femur- und Tibiaanlage⁸.

Der Ursprungsort des VKB liegt an der Innenfläche des lateralen Condylus femoris; von dort aus zieht es schräg durch die Fossa intercondylaris und setzt zwischen den

Insertionsstellen des medialen und lateralen Meniskus an der Area intercondylaris anterior tibiae an.

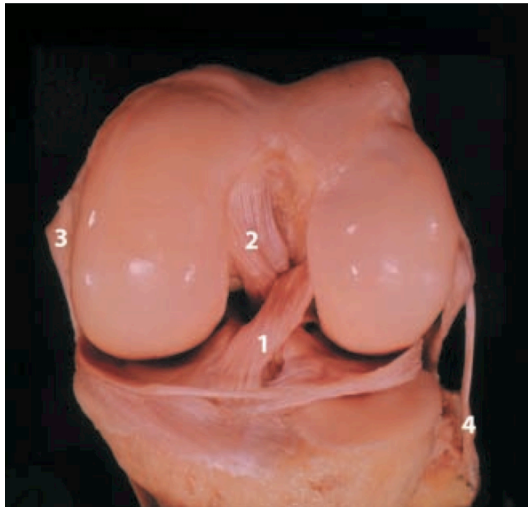


Abbildung 1: Anatomie des Kniegelenkes (von ventral); 1 = Vorderes Kreuzband, 2 = hinteres Kreuzband, 3 = Innenband, 4 = Außenband (nach Petersen et al⁸)

Der Hauptbestandteil des VKB ist straffes Bindegewebe vom Typ-I-Kollagen, welches durch Typ-III-Kollagen-Fibrillen zu größeren Bündeln zusammengefasst wird. Kleinere Bestandteile sind Proteoglykane, Elastin und Glykoproteine. Obwohl Elastin nur 5 % der Masse ausmacht, hat es jedoch eine wichtige Aufgabe in der Formkonstanz des Bandes, indem es das VKB reversibel dehnbar macht. Nur im distalen Bereich ist die Struktur abweichend, hier hat das Gewebe eine ähnliche Struktur wie Faserknorpel mit ovalen Faserknorpelzellen. An den chondralen femoralen und tibialen Insertionsbereichen des Bandes sitzen Mechanorezeptoren.

Diese Vielzahl von Typ-I-Kollagen-Faserbündeln kann unter funktionellen Aspekten in einen anteromedialen und posterolateralen Anteil unterteilt werden. Die anteromedialen Fasern werden auch Führungsbündel genannt, weil sie durch ihre kraniale Insertion am Femur über einen größeren Bewegungsbereich angespannt sind als die posterolateralen Fasern.

Definitionsgemäß wird die Gelenkhöhle von einer Synovialmembran begrenzt. Daher liegt das VKB außerhalb der Gelenkhöhle aber innerhalb der fibrösen Gelenkkapsel, also extrasynovial jedoch intraartikulär^{8,9}. Die engste Kontaktstelle zum HKB besteht im Kreuzungsbereich, gerade über dem Gefäßstiel⁹.

Die Gefäßversorgung des VKB erfolgt über die Endäste der A. genus media von proximal und über die Aa. genus inferiores medialis und lateralis von lateral und stellt ein kompliziert aufgebautes Durchblutungssystem dar. Die Gefäße bilden ein, das VKB umhüllendes Netzwerk, von dem aus kleinere Gefäße in das Bandinnere eindringen, die das Band versorgen und sich auch in dessen Verlauf ausrichten. Die Verteilung von Blutgefäßen innerhalb des VKB ist nicht homogen, so dass es an den knorpeligen Arealen zu avaskulären Zonen kommt.

Die sensible Innervation der Hautareale in diesem Bereich wird von den Rr. infrapatellares des N. saphenus übernommen. Der R. infrapatellaris superior zieht von medial über den Gelenkspalt, ca. 2 cm medial der Patellarsehne um dann unter der Patella nach lateral zu ziehen. Der R. infrapatellaris inferior verläuft weiter distal und überkreuzt die Tuberositas tibiae. Beschädigungen dieser Nerven mit dadurch bedingten sensiblen Ausfällen im Bereich der Außenseite des Kniegelenkes, können nicht selten bei der Anlage des medialen Arthroskopiezuganges (R. infrapatellaris superior) oder der Entnahme des Patellarsehnen- oder Hamstringtransplantates eintreten, und gelten dadurch als eine sehr häufige Komplikation bei der Versorgung des VKB⁸.

Die Länge und Breite des Bandes variiert in der Literatur sehr. Nach Kummer besitzen die vorderen Fasern des VKB eine Länge von 31,5- 42,00 mm, während die hinteren Fasern mit 13,55- 22,0 mm wesentlich kürzer sind¹⁰. Die Breite des mittleren Anteiles liegt bei ca. 9-11mm¹¹. Die maximale Reißkraft des VKB wird von Tillmann und Petersen 2000 mit 1725 N angegeben, andere Autoren gehen bei jungen Erwachsenen sogar von einer Reißkraft bis 2500 N aus¹².

Die Kreuzbänder funktionieren nicht als Einheit; je nach Lage wird das Kniegelenk entweder überwiegend durch die anteromedialen Faserbündel (extensionsnahe) oder durch die posterolateralen Faserbündel (flexionsnahe) stabilisiert⁹. Dieser Rekrutierungsprozess hat besondere klinische Bedeutung für Diagnose und Rekonstruktion, da ein beschädigtes Bündel nicht rekrutiert werden kann und ein falsch positioniertes Bündel zum falschen Zeitpunkt angespannt wird¹³. Der Bandapparat gilt als filigranes System, bei dem eine zu geringe Beweglichkeit zur Funktionseinschränkung und Überlastung und eine zu hohe Beweglichkeit zur Instabilität führen würde¹³.

Die Hauptfunktion des VKB liegt darin, die Tibia gegen die Verschiebung nach vorn zu sichern^{8,9,14,15}. In der Stellung von 20°-30° Beugung kann das VKB diese Aufgabe am besten erfüllen. Bei gerissenem Kreuzband beträgt der tibiale Vorschub in dieser Position ca. 5-10 mm mehr als bei intaktem VKB⁸. Bei der Rotationssicherung wirken die Kreuzbänder als sekundäre Stabilisatoren¹⁴. Es sind die mittleren Faserproportionen die gegen Innenrotation stabilisieren, bei der sich die beiden Kreuzbänder gegenseitig aufwringen⁹. An der Stabilisierung des Kniegelenkes gegen varische und valgische Kräfte sind die Kreuzbänder nur zu 15% (varus) und zu 22% (valgus) bei intaktem Kollateralbandapparat beteiligt⁸. Bei Ausfall der Seitenbänder können die Kreuzbänder jedoch eine Schutzfunktion vor diesen Kräften übernehmen, da sie für die einzelnen Femurkondylen im übertragenen Sinn als innen verlaufende Seitenbänder wirken können⁹.

Mechanorezeptoren sitzen an den Inesertionsstellen der beiden Kreuzbänder, die für die Stellung des Kniegelenkes im Raum von großer Bedeutung sind. Vater-Pacini-Körperchen, Ruffini-Körperchen sowie freie Nervenendigungen wurden an diesen Stellen beschrieben⁸. So können Patienten mit einer Ruptur des VKB Schwierigkeiten bekommen, die Stellung ihres Kniegelenkes exakt wahrzunehmen.

1.2.3 Verletzungsmechanismen

Der wohl häufigste Unfallmechanismus, der zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes führt, ist eine Kombination von Flexion, Abduktion und Außenrotation. Hierbei kann im ungünstigsten Fall ein komplexes Verletzungsmuster entstehen, das auch als „unhappy triad“ nach O'Donoghue in die Literatur eingegangen ist.

Das sog. „unhappy triad“ ist durch folgende Symptomtrias gekennzeichnet:

- Ruptur des vorderen Kreuzbandes
- Innenmeniskusriß
- Ruptur des medialen Seitenbandes

Weniger häufigere Verletzungsmechanismen sind die Hyperflexion, die Hyperextension oder die gewaltsame Verschiebung des Tibiakopfes gegen den Femur.

Das klinische Erscheinungsbild eines vorderen Kreuzbandrisses ist vielfältig. Während der Ruptur soll in 30-60% aller Fälle ein „Knacken“ auftreten¹⁶. Noyes

beobachtete 1980¹⁷, dass bei 72% aller akuten Knieverletzungen, die mit einer partiellen oder kompletten vorderen Kreuzbandruptur ohne wesentliche Instabilität einhergehen, ein Hämarthros vorliegt. Einige Autoren sind sogar der Meinung, dass bis zum Beweis des Gegenteiles jedes Hämarthros eine Ruptur des VKB bedeutet^{18,19}.

Am besten kann eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) in neutraler Rotationslage bei leicht gebeugtem Kniegelenk diagnostiziert werden, weil in dieser Position die vordere Translationsfreiheit der Tibia von keiner anderen Kniestruktur effektiv verhindert wird²⁰. In der Klinik prüfen der Lachmann-Test, der Pivot-shift Test, der vordere Schubladentest und apparativ die KT-1000 Messung diesen tibialen Vorschub.

1.2.4 Behandlungskonzepte

Verschiedene Faktoren sollten in die Überlegungen einbezogen werden, ob im Einzelfall konservativ oder operativ behandelt werden sollte. Falls mit primär konservativer Therapie kein zufriedenstellendes Ergebnis vorliegt, sollte sekundär ein operatives Vorgehen zur Prävention der Gonarthrose erfolgen²¹.

1.2.4.1 Konservatives Behandlungskonzept

Die heutige Meinung geht davon aus, dass bestimmte Patientengruppen, insbesondere ältere Patienten mit niedrigem Aktivitätsniveau, durchaus von der nichtoperativen Behandlungsmethode profitieren können jedoch jungen, aktiven Menschen zu dieser Therapie nicht zu raten ist²².

Die konservative Therapie beinhaltet Physiotherapie zur Kräftigung der kniegelenksstabilisierenden Muskulatur. Dabei sollten der Kniestreckapparat, der leicht in posttraumatischer Schonhaltung atrophieren kann, und die ischiokrurale Muskulatur, die Agonisten des VKB, aufgebaut werden.

Unbeantwortet bleibt bisher für diese konservative Gruppe die Frage, auch wenn die Patienten aktuell asymptomatisch oder nur unschwellig symptomatisch sind, ob langfristig Arthrosebeschwerden ausbleiben werden und damit die dauerhafte Funktionstüchtigkeit des Kniegelenkes erhalten bleibt, oder ob sich nicht doch aufgrund dezenter, subklinischer pathologischer Translationen und Rotationen die Gelenkbinnenstrukturen rascher abnutzen²³.

1.2.4.2 Operative Behandlungskonzepte

Im folgendem werden einige Argumente genannt, die für eine operative Therapie sprechen²³.

- Niedriges Alter: Diese Patientengruppe hat im Mittel noch eine erhebliche Zeitspanne mit dem defekten VKB vor sich. Damit ist auf längere Sicht mit einer sekundären Arthrose zu rechnen.
- Hohes Aktivitätsniveau bei Arbeit und Sport: Diese Gruppe hat große Erwartungen in die Belastbarkeit des Gelenkes.
- Vorbestehende Meniskus- oder Knorpelschäden: Im Falle eines vorgeschädigten Kniegelenkes steigt die Rate der symptomatischen Kreuzbandrisse an.
- Morphotyp: Bestimmte Konstitutionen begünstigen das Fortschreiten degenerativer Veränderungen. Hohes Körpergewicht und Varusdeformitäten zählen hierzu¹¹.
- Verletzungsausmaß: Bei weiteren Verletzungen der Knieinnenstrukturen, wie Bändern und Menisken, schreitet der Gelenksverschleiß ohne operative Therapie schneller fort.

Folgende operative Behandlungsmethoden werden bzw. wurden zur Rekonstruktion des VKB verwendet:

Primärnaht:

Lange wurde versucht eine Nahttechnik zu finden, die ein stabiles Band als Langzeitergebnis liefert. Man hielt an der Idee der Naht fest und deren Befürworter wurden immer wieder in ihren Aussagen bestätigt. Erst 1976 publizierten J. Richard et al.²⁴ enttäuschende Langzeitergebnisse und riet zum Überdenken der Methode. Heutzutage kann die alleinige Naht nicht mehr als Therapieoption angesehen werden³.

Extraartikuläre Rekonstruktion bzw. Stabilisierung:

Diese Technik impliziert die Umlenkung und Anspannung von externen Ligamentstrukturen, durchführbar mit oder ohne Muskelgewebe. Die Idee geht auf Hey-Groves (1917)²⁵ zurück, der einen proximal gestielten Faszienstreifen des Tractus iliotibialis durch Bohrkanäle am Femur und Tibia zog und dann tibial am Periost vernähte³. Später wurden weitere Versuche mit der Sehne des M. semitendinosus und der M. Quadrizeps-Sehne durchgeführt. Diese Umlenkungen dienten dem alleinigen Ersatz des VKB oder der Augmentation von Kreuzbandnähten oder Transplantaten. Langzeitergebnisse zeigten eine oft persistierende Instabilität des Gelenkes, ausgelöst durch den anatomisch inkorrekten Verlauf der umgelenkten Sehne als Kreuzbandersatz. Schmerzhafte Bursitiden und Bewegungseinschränkungen waren weitere Gründe, dass sich diese Verfahren nicht durchsetzen konnten.

Plastische intraartikuläre Rekonstruktion:

Diese Technik beinhaltet den Wiederaufbau des vollständigen intraligamentär rupturierten, partiell oder total resorbierten VKB durch körpereigenes oder fremdes Gewebe. Sie ist bei nahezu jeder chronischen vorderen Kreuzbandinsuffizienz indiziert und hat sich heute als erfolgreichstes und gängigstes Verfahren mittels autologer Sehnenplastik etabliert. Deshalb sollen folgend ihre verschiedenen Techniken, die Transplantatauswahl und weitere Einzelheiten beschrieben werden.

1.2.4.2.1 Transplantatauswahl

Bei der Transplantatauswahl werden biologische autologe, allogene und xenogene Transplantate unterschieden. Fremdmaterialien im Sinne von Kunstbändern können als alleiniger Bandersatz oder im Rahmen der Augmentation verwendet werden.

Als autologe Transplantate haben sich die Hamstringsehnen (Semitendinosussehne-STS, Gracilissehne-GS) und das mittlere Drittel der Patellarsehne bewährt²⁶.

Autologe Transplantate:

1950 veröffentlichten Lindemann und O`Donoghue erste Ergebnisse über die VKB-Rekonstruktion mit den Sehnen des M. semitendinosus und des M. gracilis. Im Jahr 1963 beschrieben K. Jones und Brückner erste Ergebnisse unter Verwendung der Patellarsehne.

Verschiedene klinische Studien konnten keine signifikanten Unterschiede im klinischen Ergebnis zwischen Patellarsehnen, Hamstringsehnen und Quadrizepssehnen zeigen, unabhängig von den verschiedenen Verankerungsmöglichkeiten²⁷. Da nur sehr wenige Operateure die Quadrizepssehne verwenden, ist die Datenlage hierzu allerdings eher unzulänglich und eine abschließende Beurteilung nicht möglich.

Vereinzelte Versuche den medialen Meniskus als Transplantat zu verwenden, konnten sich nicht durchsetzen, da der gesunde Meniskus als Bandersatz als zu wertvoll empfunden wurde und der degenerative als ungeeignet galt. Auch Transplantate aus Sehnen des Tractus iliotibialis, der Fascia lata, Bizeps oder Plantarissehne konnten keine guten Ergebnisse im Verlauf zeigen.

Stabilität und Länge der Sehnen:

Die Reißfestigkeit der Patellarsehne beträgt 1700N -3900N, was auf eine sehr gute mechanische Eigenschaft der Sehne schließen lässt, da die Quadrizepssehne mit ihrem größeren Gewebequerschnitt nur auf 2355 N kommt. Eine vierfach gelegte Semitendinosusehne reißt erst bei 4100 N, wenn man davon ausgeht, dass alle Fasern gleichzeitig rekrutiert werden, was aber nicht der Realität entspricht²⁷. Die gedoppelte STS und GS scheinen momentan die stabilste Reißfestigkeit zu haben; 4600N²⁶. Da alle genannten heute gebräuchlichen Transplantate eine gleichwertige oder höhere Reißfestigkeit als das intakte VKB (1724 N^{6,26}) zeigen, sind andere Kriterien in den Mittelpunkt des Interesses gerückt, wie minimalinvasive Operationstechniken und eine geringe Entnahmemorbidität, was beides die subjektive Patientenzufriedenheit nach OP deutlich beeinflussen kann.

Der Durchmesser der Sehnen lässt sich anhand der Körpergröße abschätzen²⁸. Mit folgender Formel lässt sich die Transplantatdicke für eine 4fach gebündelte Semitendinosusehne annähernd errechnen:

$$2,4 + 0,03 \times \text{Körpergröße (in cm)}$$

Allogene Transplantate:

Es gibt viele Vorteile bei der Verwendung von Allografts, wie die Vermeidung der Entnahmemorbidität, Verkürzung der OP Zeiten, kosmetisch schönere, kleinere OP Narben und die freie Wahl der Transplantatgröße. Zu den wenigen Nachteilen gehört der verlängerte Remodelling-Prozess und die eventuell etwas höhere Rupturrate.

Halbierte Achillsehnen, Sehnen des M. tibialis anterior, homologer Patellarsehnenstreifen oder Fascia-lata-Streifen wurden zum Beispiel als Transplantat verwendet. Die erste Erfolgswelle der Allografts wurde durch die Ausbreitung von HIV und Hepatitis gestoppt, weil es nicht sicher gelang, das Virus zu eliminieren und dabei das Transplantat nicht zu schädigen (mit γ -Bestrahlung oder Ethylenoxid)³.

Seit 2002 ist in Deutschland der direkte Virusnachweis mittels PCR in jedem einzelnen Allograft gefordert, so dass bei den „fresh frozen“ Transplantaten das Risiko für eine Virusübertragung gegen null geht. Dies hat jedoch aufgrund des hohen Aufwandes zu einem Mangel an Transplantaten geführt, so dass die Allografts weiterhin den Spezialzentren für komplexe Knieinstabilitäten vorbehalten bleiben²⁷. Die Spätresultate sind vergleichbar mit körpereigenem Gewebe²⁹.

Xenogene Transplantate:

Zur Zeit werden in der Klinik wegen schlechter Ergebnisse und keiner guten Verträglichkeit fast keine Gewebe von artfremden Spezies verwendet. Im Zuge der immer besser werdenden Vorbehandlungsverfahren, die die Immunogenität des xenogenen Gewebes erheblich reduziert, rückt die Möglichkeit auf xenogenes Gewebes zurückzugreifen aber wieder mehr ins Interesse²⁷.

Alloplastische Transplantate:

Wegen verlockenden Kriterien, wie der fehlenden Entnahmemorbidity und der schnellen Rückkehr zum Aktivitätsniveau erlebte das synthetische Material mit Bändern aus Gore-Tex, Dacron, Kohlefaser und das Leeds-Keio-Band einen echten Boom in den 70er und 80er Jahren. Nach kurzfristig zufriedenstellenden Ergebnissen, zeigten sich jedoch bei späteren Kontrollen große Defizite.

Der Abrieb und damit zusammenhängende Rupturen des Bandes, Fremdkörperreaktionen auf die Abriebpartikel und darauf folgende chronische Synovialitiden mit anschließenden Gonarthrosen und das Nichterreichen des präoperativen Aktivitätsniveaus waren die Hauptkritikpunkte.

Der synthetische Bandersatz sollte somit heutzutage nur für spezielle Ausnahmefälle vorbehalten bleiben^{3,22,27}.

Augmentation:

Unter Augmentation versteht man die Verstärkung des Bandes durch biologisches und künstliches Gewebe²³. Der angestrebte Nutzen eines solchen Augmentationsgewebes wäre, das autologe Transplantat während der vulnerablen Phase, der Umbauphase, zu schützen.

Einige Zeit versuchte man synthetisches Material dafür zu verwenden, was aber keinen Erfolg zeigte²⁷, da das „Kunstband“ die gesamte Last übernahm und so das autologe Transplantat nicht einheilen konnte und zuletzt nekrotisch abgebaut wurde.

1.2.4.2 Fixationsverfahren

Die Fixationsmöglichkeiten des Transplantates kann man grob in intraartikuläre, extraartikuläre und Hybridfixation unterteilen. Da die Liste der möglichen Fixationsverfahren sehr lang ist, soll hier nur kurz auf die aktuellen praxisrelevanten Verfahren, unter Verwendung der Hamstringsehnen, eingegangen werden.

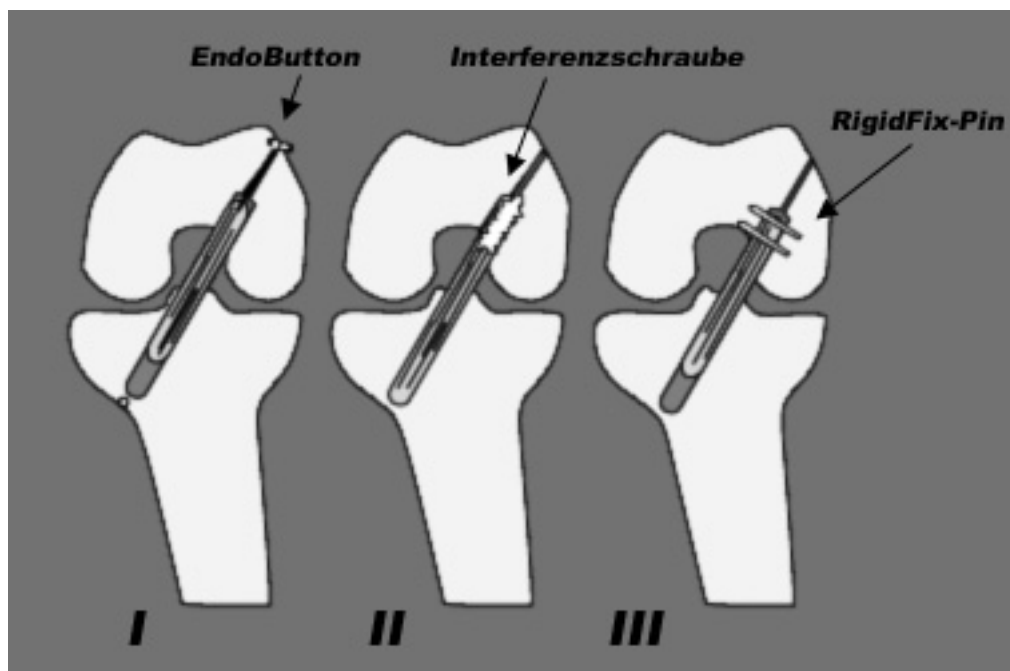


Abbildung 2: Schemenhafte Darstellung: I = EndoButton der Firma Smith&Nephew, Andover, USA; II = Interferenzschraube; III = RigidFix-Pins der Firma Mitek, Norderstedt, Deutschland

Der **EndoButton** ist eine extraartikuläre femorale Fixationstechnik. Er wird mit dem befestigten Transplantat in den Bohrkanal eingezogen und kommt außen auf der Kortikalis durch Kippung zum Liegen. Die durchschnittliche Reißfestigkeit liegt hierbei bei 1345 N²⁶ (siehe Abb. 2; unter I).

Die **Interferenzschraube** stellt eine (siehe Abb. 2; unter II) Standardmethode der intraartikulären Verankerung dar. Das Transplantat wird in den Bohrkanal eingezogen und mittels einer Interferenzschraube aus Titan oder bioresorbierbarem Material verklemt. Die Reißfestigkeit der bioresorbierbaren Schrauben bei Nutzung der STS liegt bei 341 N, die der Titanschrauben bei ca. 242 N²⁶.

Die **Transfixations-Systeme** sind neuere gelenksnahe Fixationsverfahren. Hierbei werden transfemorale Stäbe bzw. Pins von lateral quer zum Sehnenransplantat eingebracht. Einige Transfix-Systeme verlaufen durch eine vom Transplantat gebildete Schlaufe und funktionieren so ähnlich wie eine „Reckstange“. Die RigidFix-Pins (RF) (siehe Abb. 2; unter III) werden zweifach durch das mit einer Verflechtungsnaht versehene Transplantat eingebracht. Bohrkanal eingezogen und kommt außen auf der Kortikalis durch Kippung zum Liegen. Die durchschnittliche Reißfestigkeit liegt hierbei bei 1363 N²⁶.

2004 ergab eine Befragung von 230 Kliniken in Deutschland, die VKB operieren, dass der EndoButton zur femoralen Verankerung der STS Plastik als Standard angesehen wurde; mit ca. 30 % der Angaben. Knapp dahinter lag die Interferenzschraube. Mit rund 17 % wurde die Verwendung eines Transfix- Systems angegeben³⁰.

Folgend soll eine Tabelle, die verschiedenen Hybridfixationen veranschaulichen, die möglich sind. Mit ihnen besteht die Möglichkeit intra- und extraartikuläre Fixationen miteinander zu kombinieren.

Möglichkeiten der Hybridfixation	
Femorale Hybridfixation	Interferenzschrauben & EndoPearl
	Fixationsbutton & Spongiosazyylinder
	Fixationsbutton & Interferenzschraube
	Transfixationssystem & Spongiosazyylinder
	Transfixationssystem & Interferenzschraube
Tibiale Hybridfixation	Interferenzschraube & Naht über Knochenbrücke
	Interferenzschraube & Schraube mit Unterlegscheibe
	Interferenzschraube & EndoPearl
	Spongiosazyylinder & Fixationsbutton
	Spongiosazyylinder & Naht über Knochenbrücke
	Spongiosazyylinder & Schraube mit Unterlegscheibe

Tabelle 1 : Möglichkeiten der Hybridfixation²

1.2.4.2.3 Der Einheilungsprozess und mögliche Komplikationen nach operativer Rekonstruktion

Das erste postoperative Jahr gilt während des Einheilungsprozess als die kritische Phase, da sich das Transplantat in dieser Zeit in einer umbaubedingten mechanischen Stabilitätslücke befindet. Diese als „Ligamentation“ oder „Remodelling“ bezeichnete Phase beinhaltet biologische Umbau- und Einheilungsvorgänge mit initialer Nekroseepisode. Die komplette Beendigung der Ligamentisation wird in der Literatur mit ca. 3-4 Jahren beziffert^{31,32}.

Mit einer Studie am Schaf konnten Papageorgiou et al. (2001) zeigen, dass die Ausreißkraft bei den Hamstringsehnen in den ersten 6 Monaten deutlich niedriger ist als bei der Patellarsehne³³.

Eine häufigste intraoperative fixationsunabhängige Komplikation stellt die Fehlpositionierung der Bohrkanäle dar. Ein zu weit ventral angelegter tibialer Bohrkanal kann zu einem endgradigem Extensionsdefizit durch „Notchimpigement“ am Kniegelenk führen. Ein zu weit dorsal angelegter Bohrkanal kann einen dorsalen Tunnelausbruch bedingen³⁴.

Verletzungen von Gefäßen sowie des HKB im dorsalem Bereich des Kniegelenkes können durch Verwendung von scharfen Instrumente in diesem Bereich entstehen³⁵.

Neben diesen können weitere intraoperative implantatspezifische Komplikationen auftreten:

Bei der Verankerung mit einer **Interferenzschraube** von Weichteilimplantaten kann es zu einer Rotation des Transplantates beim Eindrehen der Schraube kommen und dadurch zu einer Fehlplatzierung im Bohrkanal. Osteopener Knochen kann durch einen Drehmomentsverlust zu einer ungenügenden Festigkeit des Transplantates führen.

Bei der Fixierung mit dem **EndoButton** kann es passieren, dass dieser durch vorzeitige Spannung auf dem Flipfaden im spongiösem Bohrkanal gekippt wird und sich verkantet, so dass das Transplantat weder weiter eingezogen noch aus dem Kanal wieder entfernt werden kann. Bei zu später Kippung des EndoButtons, liegt dieser nicht dem Periost auf, sondern dem Weichteilgewebe, wodurch ein Festigkeitsverlust resultieren kann. Bei einem zu frühen Versuch zu Kippen kann sich der EndoButton in der Spongiosa verklemmen und eine korrekte Lage vortäuschen³⁶. Bei einem zu weit distalen Austritt des femoralen Kanals kann der EndoButton intraartikulär zum Liegen kommen³⁷.

Bei den **Transfixations-Verfahren** sind durch blindes Einbringen Verletzungen der lateralen Gelenkstrukturen (z.B. laterales Kollateralband) möglich. Wenn die Stabilität des spongiösen Knochens nicht ausreicht, kann mangelnde Festigkeit der Pins im Knochen die Folge sein. Pins, welche beim Einbringen brechen, können unter Umständen die Insertion neuer Pins blockieren^{35,38}.

Auch postoperativ kann es durch die Bandrekonstruktion bedingt zu Problemen kommen:

Die subjektiven Beschwerden des Patienten postoperativ werden häufig durch die Entnahmemorbiditäten der Sehnen hervorgerufen. Die typischen Entnahmemorbiditäten bei dem mittleren Patellarsehnedrittel sind die frühe oder späte Patellafraktur bzw. Patellarsehnenruptur sowie manifeste Streckdefizite. Ca. 60 % der Operierten geben bleibende Schmerzen beim Hinknien an.

Die Entnahmemorbidität bei den Hamstringsehnen scheint geringer. Die meist diskutierte Problematik bei ihrer Entnahme ist die Reduktion der Beugekraft^{39,40,41,42}.

Bei einigen der Entnahmemorbiditäten wird angenommen, dass sie durch Verletzungen des Hoffa- Fettkörpers ausgelöst werden²⁷.

Die Bohrkanalerweiterung oder auch tunnel widening (TW) ist eine trichterförmige Erweiterung der gelenknahen Knochenkanalanteile, welche radiologisch bereits einige Wochen nach VKB-Plastik nachweisbar sein kann. Dieses Phänomen scheint u.a. durch Bewegungen des Transplantates im Bohrkanal verursacht zu sein^{43,44,45,46}. Kontrovers diskutiert wird, ob eine gelenkferne Verankerung ursächlich für ein TW sein kann⁴⁷.

Eine weitere Komplikation ist der Transplantatriß, der durch verschiedene Faktoren (z.B. Abrieb) bedingt sein kann.

Ebenfalls kann es zu einer Arthrofibrose bzw. einem Cyclops Syndrom kommen. Bei der Arthrofibrose handelt es sich um eine synoviale Hyperplasie mit exzessiver Produktion von fibrösem Gewebe kombiniert mit der Entstehung von Entzündungsgewebe. Das Cyclops Syndrom ist eine vordere lokalisierte Arthrofibrose, das in 1– 10% der Fälle nach VKB Plastik beobachtet werden kann und der zweithäufigste Grund für ein postoperatives Extensionsdefizit ist.

Wie bei jedem operativen Eingriff kann es auch zu Infektionen kommen. Die Inzidenz ist mit weniger als 0,5 % der Patienten gering, der häufigste Keim ist *Staphylococcus aureus*³⁴.

1.3 Fragestellungen der Studie

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die klinischen und kernspintomografischen Ergebnisse nach Rekonstruktion des vorderen VKB mittels Semitendinosusehne/Gracilissehne in Quadrupeltechnik vorgestellt werden. Hierbei soll der Vergleich von zwei Fixationsverfahren für eine VKB Plastik mittels extrakortikaler EndoButton Anker-Fixation der Firma Smith&Nephew und transversaler, transfemoraler RigidFix Pin-Fixation der Firma Mitek erfolgen.

Allgemein soll sich folgenden Fragestellungen angenommen werden:

- Welches Fixationsverfahren zeigt für die verschiedenen Kriterien die besseren Ergebnisse?
- Wie sind unsere mittelfristigen klinischen Ergebnisse im Vergleich zu Ergebnissen anderer Autoren einzuschätzen?
- Welche Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge ergeben sich daraus?

Aus diesen Fragestellungen ergeben sich folgende detaillierte Fragen:

- Kommt es zu einem tunnel widening nach 6 oder 12 Monaten?
- Kommt es zu einem Trichtereffekt? Das heißt bestehen Unterschiede im MRT in den Werten der Tunnelweiten „tibial gelenksnah“ und „tibial gelenksfern“ nach 6 oder 12 Monaten?
- Wie verändern sich die Signalintensitäten in den Tunneln über die Zeit?
- Verändert sich die Dicke der Plastik intraartikulär über den 12-Monatszeitraum?
-

Der Erfolg der Methoden wird anhand verschiedener klinischer und kernspintomographischer Kriterien beurteilt:

1. Bandstabilität
2. Aktivitätsniveau
3. Funktionalität des Kniegelenkes
4. subjektive Zufriedenheit der Patienten
5. Ausprägung kernspintomographischer Veränderungen

2 Material und Methodik

2.1 Patienten

2.1.1 Patientenauswahl

67 Patienten konnten in diese prospektive, vergleichende Studie eingeschlossen werden. 21 von ihnen sind mit der EndoButton Fixationstechnik und 46 mit der RigidFix Fixationstechnik versorgt worden.

Alle Patienten wurden von 2 erfahrenen Operateuren der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen innerhalb des Zeitraumes von Januar 2001 bis März 2006 operiert.

Es bestanden folgende Einschlusskriterien:

- Klinisch manifeste und symptomatische vordere Kreuzbandinsuffizienz
- Alter zwischen ≥ 14 und ≤ 65 Jahren
- Vordere Kreuzbandplastik mittels Semitendinosussehne
- Erteilung Ihrer schriftlichen Einverständniserklärung, ggf. durch einen Erziehungsberechtigten

Ausschlusskriterien waren:

- Übergewicht und Übergrößen (BMI über 30)
- Beinachsenfehlstellungen
- Bedingungen, die durch den Prüfarzt als nicht vereinbar mit einer Teilnahme an der Studie eingestuft wurden

2.1.2 Studienverlauf

Planmäßig wurden die Patienten vor der Operation untersucht und, falls sie den geforderten Einschlusskriterien der Studie entsprachen, nach ihrer Einwilligung zur Teilnahme gefragt. Im Falle der Befürwortung bekamen sie einen Patientenaufklärungsbogen (siehe ANHANG Patientenaufklärung), den sie dann nach Klärung eventuell vorhandener Fragen unterschrieben. Nun wurden ihre präoperativen Daten aufgenommen und dokumentiert (siehe ANHANG Patientenbögen). 67 Patienten konnten so in diese Studie eingeschlossen werden.

Am Operationstag wurde nach Narkoseeinleitung unter Relaxierung die präoperative KT - 1000 Messung vorgenommen.

Die erste dokumentierte Nachuntersuchung stand 6 Monate postoperativ an. Hierbei wurde zuerst ein MRT als indirekte MR-Arthrographie durchgeführt, das durch OA Dr. Gufler (Radiologie) nach den erforderlichen Bewertungskriterien begutachtet wurde. Der Patient kam hiernach zur klinischen Untersuchung des Kniegelenkes in die Poliklinik der Orthopädie, wo er von mir als Doktorandin gesehen wurde. Nach der klinischen Untersuchung (Lachmann-Test, vorderer Schubladentest, etc.), wurde die KT-1000 Messung durchgeführt und der 6 Monats-post-OP Fragebogen ausgefüllt.

57 Patienten kamen zu dieser Kontrolle, 15 (9 mit MRT) aus der EndoButton Gruppe und 42 (35 mit MRT) aus der RigidFix Gruppe. 3 Patienten (1 EB Patient und 2 RF Patienten) mussten zu diesem Zeitpunkt aus der Studie herausgenommen werden, da sie sich abermals das Kniegelenk verletzten (siehe auch unter 2.1.5 Besonderheiten). So blieben noch 64 Patienten als Gesamtkollektiv übrig.

Gleichermaßen verlief die Nachkontrolle nach 12 Monaten postoperativ. Insgesamt kamen hierzu 57 Patienten, 15 aus dem EB und 42 aus dem RF Kollektiv. 38 Patienten erhielten das geforderte MRT, 11 EB Patienten und 27 RF Patienten.

So ergab sich schließlich das Gesamtkollektiv mit 67 Patienten.

2.1.3 Alters- und Geschlechtsverteilung, anthropometrische Daten und Begleitverletzungen

	EB	RF	Summe
N	21 (31)	46 (69)	67 (100)
Geschlecht			
Männlich N (%)	15 (71,4)	30 (65,2)	45 (67,2)
Weiblich N (%)	6 (28,6)	16 (34,8)	22 (32,8)
Mittleres Alter (Jahre)	30,5 ± 7,5	33,7±10,6	32,53
Mittlerer BMI kg/m ²	24,8 ±2,4	24,5 ± 3,0	24,65±2,7
Begleitverletzungen N (%)			
Med. Meniskus	2 (9,6)	19 (41,3)	21 (31,3)
Lat. Meniskus	7 (33,3)	5 (10,9)	12 (17,9)
Med. u. Lat. Meniskus	3 (14,3)	6 (13)	9 (13,4)
Knorpelschaden MFK	5 (23,8)	6 (13)	11 (16,4)
Knorpelschaden LFK	-	3 (6,5)	3 (4,5)
Knorpelschaden FPG	2 (9,6)	5 (10,9)	7 (10,4)
Innenbandläsion	2 (9,6)	1 (2,2)	3 (4,5)

Tabelle 2: Geschlechterverteilung, anthropometrische Daten und Begleitverletzungen

Die an der vorliegenden Studie teilnehmenden Patienten waren zum OP Zeitpunkt zwischen 14 und 61 Jahre alt. Das mittlere Alter lag in der EB Gruppe bei $30,5 \pm 7,5$ Jahren und in der RF Gruppe bei $33,7 \pm 10,6$ Jahren.

Der durchschnittliche BMI lag in der EB Gruppe bei $24,8 \pm 2,4$ und in der RF Gruppe bei $24,5 \pm 3,0$.

Zusätzlich zu der vorderen Kreuzbandruptur sind in der EB Gruppe noch 21 weitere Begleitverletzungen aufgetreten, nur 3 Patienten erlitten eine isolierte Ruptur. In der RF Gruppe waren 46 Zusatzverletzungen bekannt, 12 Patienten hatten nur das VKB Trauma.

2.1.4 Traumahergang

51 Patienten dieser Studie erlitten ihr Trauma beim Sport, davon 31 bei einem Kontaktsport (Fußball, Handball, Basketball und Judo). 16 Patienten (unter Sonstiges) rupturierten sich das Kreuzband durch verschiedene Traumen (Distorsionstraumen, Wegknicken, etc.) in alltäglichen Situationen (Einsteigen ins Auto, Treppensteigen, etc.).

	EB		RF	
	abs	%	abs	%
Fußball	4	19.0	16	34.8
Unbekannt	4	19.0	12	26.1
Alpinski	3	14.3	6	13.0
Arbeitsunfall	3	14.3	2	4.3
Handball	1	4.8	4	8.7
Basketball	2	9.5	2	4.3
Reiten	1	4.8	1	2.2
Volleyball	1	4.8	1	2.2
Judo	1	4.8	1	2.2
Motocross	1	4.8	/	/
Jogging	/	/	1	2.2

Tabelle 3: Traumahergänge, die zur Ruptur des VKB führten

2.1.5 Besonderheiten

3 Patienten, 2 aus dem RF und 1 aus dem EB Kollektiv, mussten aus der Studie herausgenommen werden, da sie sich innerhalb der 12 Monate wieder verletzten und dadurch ihre Kniegelenke keine repräsentativen Ergebnisse für die Studie mehr lieferten.

Bei 10 Patienten war der Ablauf anders als oben beschrieben. Sie versäumten den 6 oder 12 Monatstermin und wurden nachträglich telefonisch befragt. Da aus diesem Grund die körperliche Untersuchung fehlte, konnten die Daten für die KT 1000 und die Neutral-Null-Messung nicht erhoben werden.

2.2 Operationsmethoden

Alle Operationen erfolgten in arthroskopischer Technik und Einfachinzision unter Verwendung der Semitendinosussehne (STS) und Gracilissehne (GS), welche als Vierfach-Bündel zu einer Schlaufe zusammengelegt wurden. Zusätzliche Läsionen an Knorpel und Meniskus wurden durch Mikrofrakturierung bzw. All-Inside Meniskusnähte behandelt. Nicht reparable Meniskusrisse wurden sparsam teil-resiziert.

2.2.1 Rekonstruktion mit STS-EndoButton™ und Suture Disc™

Bei der EB Technik erfolgte die Fixation mit einem Kippanker der gelenkfern und extrakortikal zum Liegen kommt. Die Tiefe des Sehnenkanals im Femur betrug immer 3,5 cm. Über den vorgebohrten K-Draht wurde mit einem 4,5 mm Bohrer die Reststrecke überbohrt, damit der EB Anker in längs gekippter Position durchgezogen werden konnte. Die Bohrkanallänge der Reststrecke und ein zusätzlicher Kippabstand gaben die Schlaufenlänge des EB vor. Die Sehnen wurden durch die Schlaufe des EB gezogen. Die äußeren Löcher des Ankers wurden mit einem Zugfaden und einem Kippfaden versehen.

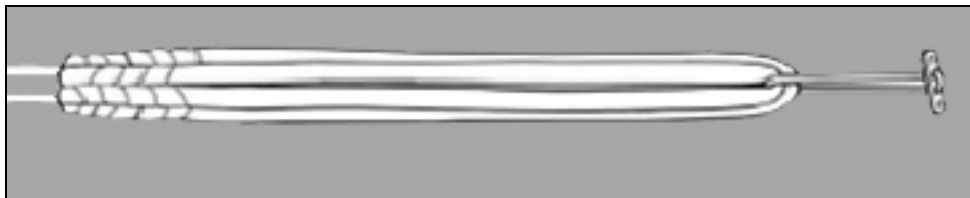


Abbildung 3: Eine mit EndoButton präparierte STS in Quadruple-Technik (nach Fu et al⁴⁸)

Mit einem Führungsdraht wurde das fertige, am EB befestigte Transplantat in den femoralen Bohrkanal gezogen. Das EB wurde längs laufend soweit über den Schleppfaden eingezogen, bis er knapp über der femoralen Kortikalis lag. Mit den Kippfäden wurde der EB gekippt, das Implantat gespannt und zurückgezogen, so dass sich der Anker auf der Kortikalis verriegelte. Die tibiale Fixierung erfolgte mit der knopfartigen Suture-Disc (Braun Aesculap GmbH, Melsungen). Die Haltefäden wurden hierfür durch die SD gezogen. Es wurde nun eine Isometriemessung unter Vorspannung von 60 NM vorgenommen und die Fäden durch Überknoten der SD fixiert. Mit einem dafür vorgesehenen Drehgriff („Twister“) wurde die SD, mit den Haltefäden verdrillt, um so eine Nachspannung zu erreichen.

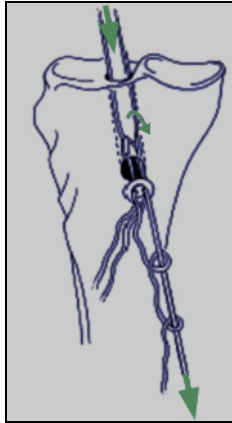


Abbildung 4: Tibiale Fixierung mittels „Suture-disc™“

2.2.2 Rekonstruktion mittels RigidFix®

Bei der RF Technik erfolgte die intraossäre Fixation durch Kompression und Durchbohrung des Implantates im Knochenkanal. Femoral wurde über einen vorgebohrten K-Draht ein 3-3,5 cm tiefes Sackloch in der Stärke des Transplantates angelegt. Bei der Sehnenpräparation wurden 3 cm am femoralen Ende des eingespannten Bündels abgemessen und diese mit kreuzenden Überwendlingsstichen (Whip-Stitch Technik) mit Orthocord® zu einem festen Bündel vernäht. Ausgehend von dieser Markierung wurde eine zweite Markierung, 2 cm distal (fadenfreier intraartikulärer Anteil des Transplantates), auf Höhe des Tibia-Knochenkanals gesetzt. Das tibiale Transplantatende wurde ebenfalls über ca. 3 cm Länge vernäht.

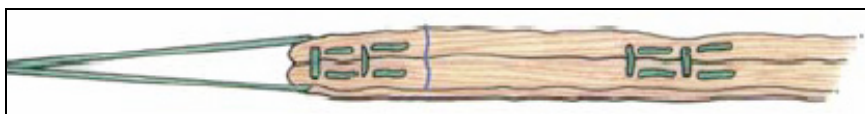


Abbildung 5: STS und GS in Whip –Stitch 4 fach vernäht (DePuy Mitek)

Zur Verankerung wurden jeweils 2 Pins (resorbierbar, Durchmesser 3,3 mm, Länge 42 mm, Material Poly-L-Lactid - PLLA) am femoralen und tibialen Ende verwendet. Jeweils zwei Pinhülsen wurden als vorübergehende Führungshilfen über Zielrahmen femoral und tibial eingebracht. Das Transplantat wurde transkutan mit Zugfäden in den femoralen Kanal eingezogen und mit den Pins verriegelt. Unter definierter Vorspannung (60 NM) am Transplantat bei 30° Flexion wurden ebenso die tibialen Pins durch die Hülsen eingebracht.

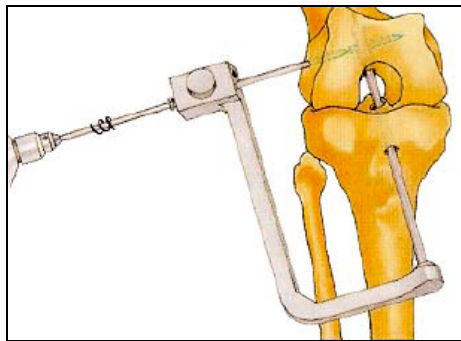


Abbildung 6: Einbohren einer Pin Hülse mittels Zielrahmen(DePuy Mitek)

2.2.3 Nachbehandlung

In der unmittelbaren postoperativen Phase (24h) wurde eine Ruhigstellung per Oberschenkelgipstutor in ca. 10 Grad Flexion des Kniegelenkes bewirkt. Aus dieser Liegeschiene heraus wurde am zweiten Tag postoperativ mit moderater Krankengymnastik begonnen. Am dritten postoperativen Tag wurde die Gipsschiene entfernt und eine Orthese (Don-Joy 4Titude - ORMED GmbH Freiburg oder M4-ACL - Medi GmbH Bayreuth) angepasst. Mit dieser Orthese wurde eine Winkellimitierung von 0-10-90 Grad für 6 Wochen realisiert. Während der gesamten Rehabilitation war Vollbelastung des Beines erlaubt und es fand eine intensive medizinische Trainingstherapie statt.

Die Nachbehandlung änderte sich dabei entsprechend der Zusatzverletzung:

- Mikrofrakturierung bei kondylären Gelenkknorpelschaden:
6 Wochen Teilbelastung mit 10 kg, Motorschiene (CPM) für 4 Wochen
- Mikrofrakturierung bei patello-trochlearen Knorpelschäden:
3 Wochen Teilbelastung mit 10 kg, Motorschiene (CPM) für 3 Wochen
- Meniskusnaht (Fast-Fix, Smith & Nephew GmbH, Hamburg) bei frischen Riss:
3 Wochen Teilbelastung mit 10 kg.

2.3 Methodik klinischer Parameter

2.3.1 Die KT-1000-Arthrometer- Messung

Der KT-1000 Test wurde als quantitativer ein instrumentalisierter Lachmann Test angewendet⁴⁹. Als Seitendifferenz wurde zum einen das Passive Displacement (PD) bei definierten Kräften von 67, 89 und 134 N und zum anderen das vom Untersucher auslösbare Manual Maximum Displacement ($\leq 3,0$ mm: Normal) bestimmt. Am

Operationstag erfolgte die erste KT - 1000 Messung präoperativ nach Narkoseeinleitung unter Relaxierung. Weitere Untersuchungen folgten 6 und 12 Monate postoperativ.

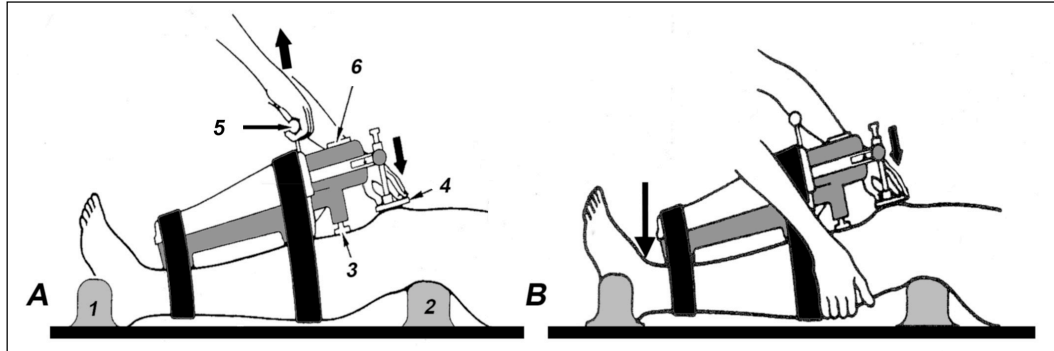


Abbildung 7: Das KT-1000-Arthrometer (MedMetric, San Diego, USA)

A (1 = Fußplatte, 2 = Oberschenkelbänkchen, 3 = Tibiasensor, 4 = Patellasensor, 5 = Handgriff, 6 = Analogskala)

B Messung des Manual Maximum Displacement (MMD)

Unter Berücksichtigung der von MedMetric als normal angegebenen Werte wurde folgende Einteilung für die Seitendifferenz des Manual Maximum Displacement vorgenommen:

Seitendifferenzen	mm
Normal	≤ 3,0
Noch normal	3,1-4,0
Abnormal	4,1-7
Stark abnormal	>7,0

Tabelle 4: Einteilung der Seitendifferenzen der MMD

2.3.2 Klinische Untersuchung

Als Funktionalitätsgesamtscore wurde der IKDC-Ligament-Score⁵⁰ verwendet. Dieser Score konnte sich in den vergangenen Jahren in Publikationen durchsetzen. In verschiedenen Rubriken flossen in diesen Score eine ausführliche klinische Untersuchung des Knies und einige subjektive Bewertungen der Patienten ein. Die Rubrik Röntgenkontrolle wurde wegen der eigenen MRT Untersuchungen heraus

genommen, Der Score beinhaltete folgende Rubriken: Subjektive Beurteilung durch den Patienten, Symptome, Bewegungsumfang, Untersuchung des Bandapparates, kompartmentale Befunde, Symptome an der Transplantatentnahmestelle und funktioneller Test. Die Bewertung des Testes ging von I (normal) bis IV (stark abnormal). Nachfolgend sind einige elementare Teile dieses Scores näher beschrieben.

➤ Lachmann-Test

In 25° Flexionsstellung wurde der Test nach Lachmann durchgeführt. Eine Hand des Untersuchers umfasste das Femur, die andere die Tibia. Das Femur konnte zusätzlich durch das Knie des Untersuchers unterstützt werden. Femur und Tibia wurden gegeneinander verschoben (siehe Abb.14). Bei klarer Verschiebbarkeit und weichem Anschlag im Vergleich zur Gegenseite konnte man von einer Verletzung des Bandes ausgehen⁵¹. Die Verschieblichkeit wurde in Millimetern graduiert.

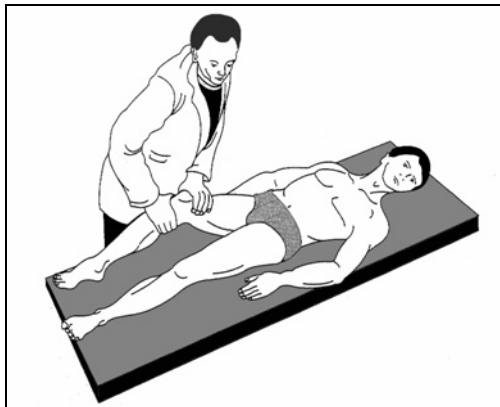


Abbildung 8: Lachmann-Test in 25° Flexionsstellung

➤ Vorderer Schubladentest

Die Untersuchung wurde in 90° Flexionsstellung durchgeführt. Der Untersucher fixierte dabei den Fuß des Patienten auf der Unterlage, indem er sich draufsetzte. Bei entspannter ischiokruraler Muskulatur wurde nun der Unterschenkel nach ventral gezogen und getestet, ob es zu einem festen Anschlag kam.

➤ Seitenbandtestungen (Valgus/Varus rotation):

Die mediale bzw. laterale Aufklappbarkeit wurde in Streck- und 30°-Flexionsstellung des Unterschenkels überprüft, um so Aufschluss über die Zustände der Kollateralbänder zu erhalten.

➤ Pivot- shift- Test:

Zu dieser Prüfung wurde das gestreckte Bein am Knöchel umfasst und angehoben bei gleichzeitiger Innenrotation. Mit der anderen Hand wurde Druck gegen das Knie (Valgisierung), sowie Druck auf das Bein in Längsrichtung von der Fußsohle her ausgeübt und dabei das Bein flexiert. Der Test war positiv, wenn bei ca. 30° Flexion ein „Schnappen“ wahrgenommen wurde, ausgelöst durch die Reposition des subluxiertem Tibiaplateaus¹⁸. Bei diesem Test wird das posterolaterale Bündel des VKBs geprüft.

➤ Krepitationen

Der Untersucher untersuchte das verletzte Knie auf Krepitationen beim Durchbewegen. Es wurde patellofemorale, im medialen und lateralen Kompartiment untersucht und graduiert.

➤ Funktionstest

Hier wurde ein Einbeinsprungtest durchgeführt. Der Patient musste danach das operierte Bein (in %) im Vergleich zu dem nicht operierten einstufen. Die Skala sah wie folgt aus: I (90-100%), II (76-90%), III (50-75%) und IV (<50 %).

2.3.3 Subjektive Bewertungsparameter

➤ Scores

In dieser Arbeit wurden drei verschiedene rein subjektive Bewertungsscores (siehe Anhang Patientenbögen) aus der Iowa knee evaluation verwendet. Bei diesen Scores handelte es sich um Bewertungsschemen mit denen man anhand eines Punkteschemas Kniegelenksfunktionen des täglichen Lebens, Schmerzen, Gang, Stabilität und Bewegungsumfang bewerten konnte⁵¹. Diese Scores wurden jeweils präoperativ und nach 6 bzw. 12 Monaten postoperativ mit den Patienten durch den Untersucher ausgefüllt.

Mit dem Meyer et al. Score wurden die Kniegelenksfunktionen abgefragt. Maximal waren 18 Punkte zu erreichen. Die Punkte Schmerz, Funktion und Bewegungsumfang (dieser wurde objektiv gemessen) waren hier inbegriffen.

Die körperliche Aktivität der Patienten bei Arbeit und im Sport wurde durch den Tegner und Lysholm Score⁵² dokumentiert und in 10 Stufen zwischen 0 (niedrigste) und 10 (höchste) eingeteilt.

Der Lysholm und Gillquist Score⁵³ diente dazu, Resultate nach einer Kniechirurgie zu beurteilen. Maximal waren hierbei 100 Punkte zu erreichen. Die Bereiche Gangbild, Gehhilfe, Schmerz, Athrophie des Oberschenkelmuskels, Schwellung, Instabilität, Möglichkeit zum Hinhocken und Treppenstufengehen waren integriert.

➤ Zusätzliche Auszüge aus dem IKDC-Ligament-Score

Die Punkte aktueller Aktivitätslevel, Funktion, Schmerzintensität, Startschmerzen, Schmerzen während einer Aktivität, Schwellung nach einer Aktivität und Giving Way wurden zusätzlich aus dem IKDC-Ligament-Score extrahiert, um detaillierte Vergleiche dieser Parameter mit anderen Kriterien erstellen zu können.

2.4 Methodik des MRTs

2.4.1 MR Technik

Die Untersuchung erfolgte an einem 1.5 Tesla Kernspintomographen (Philips Intera, Best, Niederlande) und einer Quadrantenkniespule. Das Protokoll der konventionellen MR Untersuchung bestand aus einer sagittalen T1-gewichteten Fast-Spinecho Sequenz (TR/TE, 400/12 ms; Matrix 256 x 256; Field-of-view 14 x 15 cm), einer sagittalen Protonen gewichteten Fast-Spinecho Sequenz mit spektraler Fettsättigung (SPIR) (TR/TE, 2000/15 ms) und einer koronaren T2 gewichteten fettsupprimierten Sequenz (Short-tau inversion recovery, STIR) (TR/TE/IR, 1500/50/150 ms). Anschließend wurde intravenös 0.1 mmol Gd- DTPA/kg KG gegeben, danach erfolgte intensives Bewegen der Extremität über 15 Minuten. Frühestens 15 Minuten nach KM Gabe wurde die Untersuchung als indirekte MR-Arthrographie fortgesetzt. Es wurde eine sagittale und koronare T1 gewichtete fettsupprimierte (SPIR) Fast- Spinecho-Sequenz akquiriert.

Die Auswertung der MR Bilder erfolgte an einer Auswertstation (Easy Vision der Fa Philips).

2.4.2 Kernspintomographische Kriterien

2.4.2.1 Die Signalintensitäten

Es wurden die Signalintensitäten im femoralen und tibialen Bohrkanal gemessen, in dem die VKB-Plastik eingebracht wurde. Zusätzlich wurden die Signalintensitäten außerhalb des Knies gemessen (Bestimmung des Rauschens („noise“)). Die Messung erfolgte an der sagittalen T1 Fast-Spinecho-Sequenz, an den sagittalen PD fettsupprimierten Bildern (konventionelle MR Aufnahmen), an der koronaren T2 fettsupprimierten Sequenz und an den sagittalen T1 gewichteten fettsupprimierten Bildern nach Kontrastmittelgabe. Der Quotient aus den Signalintensitäten des Bohrkanales und des Rauschens war dabei der aussagekräftige und deshalb zu ermittelnde Wert.

2.4.2.2 Messung der Bohrkanaldurchmesser und Banddicken

Außerdem wurden zur Bestimmung des TW in den sagittalen T1 gewichteten Fast-Spinecho Bildern die Durchmesser der Bohrkanäle mittels Längenmessfunktion der Workstation bestimmt. Femoral wurde 1cm vom Gelenk entfernt parallel zum Eingang im Bohrkanal gemessen. Tibial erfolgten 2 Messungen. Eine, analog der femoralen, ca. 1 cm im Bohrkanal, die andere vor der Öffnung des Kanals.

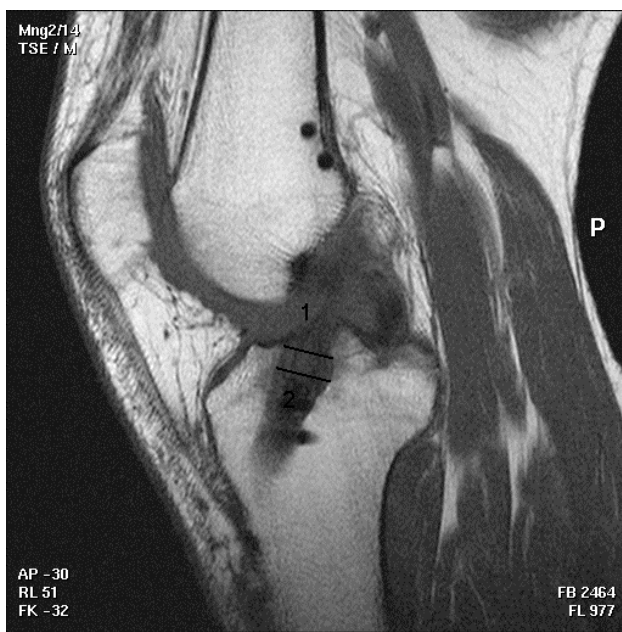


Abbildung 9: : Messung des Durchmessers der tibialen Bohrkanäle

1= ca. 5 mm im Bohrkanal
2= ca. 1 cm im Bohrkanal

Die Bestimmung der Transplantatdicke wurde mit der sagittalen PD fettsuprimierten Bildserie vorgenommen. Die Dicken wurden femoral und tibial im Bohrkanal sowie intraartikulär bestimmt. Es wurde senkrecht zum Verlauf der Bandfasern gemessen. Überprüft wurden die Messungen anhand der koronaren T2 gewichteten fettsuprimierten Sequenz.



Abbildung 10: * = Messung der Banddicke intraartikulär

2.4.2.3 Weitere Bewertungskriterien

Anhand der sagittalen fettsuprimierten T1 Fast-Spinecho-Sequenz nach Kontrastmittelgabe wurde, falls vorhanden, ein Knochenmarksödem („bone bruise“) in seiner Stärke nach der unten genannten Bewertungsskala eingestuft. Ein Knochenmarksödem ist eine trabekuläre Mikrofraktur mit Ödemen und Blutungen in das Knochenmark, das sich üblicherweise nach ca. 6-8 Wochen zurückbildet⁵⁴.

Ebenfalls nach diesem Schema wurde, falls vorhanden, ein femoraler und tibialer Bohrkanalreflux (Flüssigkeit im Bohrkanal) und ein Kniegelenkserguss klassifiziert. Diese beiden Parameter wurden anhand der sagittalen PD fettsuprimierten Bildern beurteilt.

Ausprägung	Wert
keine	A
gering	B
mäßig	C
deutlich	D
ausgeprägt	E
stark ausgeprägt	F

Tabelle 5: Bewertungsskala für die Parameter Knochenmarksödem, Erguss und Reflux

2.5 Statische Methoden

Sämtliche statistische Berechnungen oder Analysen wurden angefertigt bzw. durchgeführt mit der "open- source" Software R version 2.12.1 (R Development Core Team, 2010), einschließlich der Pakete lattice, Matrix und nlme. Für die statistischen Tests wurden konkret die R-Funktionen, `chisq.test()`, `fisher.test()`, `var.test()`, `t.test()` und `wilcox.test()` verwendet. Die Grafiken wurden mit Excel ausgearbeitet.

Im Folgenden werden die für die explorativen und inferenzstatistischen Analysen verwendeten Verfahren genauer beschrieben. Bei inferenzstatistischen Analysen werden generell p -Werte als statistisch signifikant erachtet, die das Signifikanzniveau von $p = 0.05$ unterschreiten. Alle dokumentierten p -Werte gelten für Tests mit zweiseitiger Alternative, wenn nicht anders angegeben. Bei der zusammenfassenden demographischen Analyse wurde zur Berücksichtigung des Effekts des multiplen Testens eine α -Fehleradjustierung mittels der Bonferroni-Methode der Division des Signifikanzniveaus α durch die Anzahl k der zu berücksichtigenden Tests durchgeführt und somit ein korrigiertes, für jeden Einzeltest anzuwendendes Signifikanzniveau α/k ermittelt. Dies garantiert, dass die zusammenfassende Aussage zur demographischen Analyse insgesamt das Signifikanzniveau p einhält. Es werden stets alle zur Verfügung stehenden Daten verwendet und nicht nur die, die von Patienten mit vollständigen Beobachtungen stammen. Das Fehlen von Werten wurde dabei als "missing completely at random" erachtet.

Demographische Daten

Die explorative und die inferenzstatistische Analyse der demographischen Daten hatte zum Ziel, die Vergleichbarkeit der (Teil-)Kollektive in den zwei Behandlungs-, d.h. Technik-Gruppen zu überprüfen.

(a) Für die explorative Analyse ausgewählter nominaler oder ordinaler Variablen (= Merkmale) wurden Tabellen absoluter und relativer Häufigkeiten ihrer Werte (= Ausprägungen) getrennt nach Zugehörigkeit zu Technik- Gruppe erstellt.

Die inferenzstatistische Analyse dieser Merkmale geschah mittels des approximativen χ^2 -Tests (= "Chi-Quadrat"- Tests) auf Homogenität der Technik-Gruppen hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung des jeweiligen Merkmals. D.h., es wurde geprüft, ob sich die Häufigkeitsverteilungen des Merkmals in den zwei Technik-Gruppen unterscheiden (was faktisch äquivalent zum χ^2 -Test auf Unabhängigkeit von Merkmal und Technik-Gruppe ist).

(b) Für die explorative Analyse ausgewählter metrischer Merkmale wurden sowohl zusammenfassende statistische Maßzahlen (Minimum, Maximum, 1. und 3. Quartil, Median, Arithmetisches Mittel, Standardabweichung sowie das 95 %-Konfidenzintervall für den Mittelwert) in jeder Gruppe separat bestimmt als auch entsprechende grafische Darstellungen.

Zur inferenzstatistischen Analyse wurde, falls die Normalverteilungsannahme gerechtfertigt erschien, mit Hilfe des F-Tests auf Varianzgleichheit und des Studentischen t-Tests auf Mittelwertgleichheit untersucht, ob sich die Verteilungen des jeweiligen metrischen Merkmals in den zwei Technik-Gruppen hinsichtlich Variabilität oder mittlerer Lage unterscheiden.

Analyse der longitudinal beobachteten Kriterien

(a) Für die ordinalen Merkmale geschah ihre explorative Analyse einerseits durch tabellarische Darstellungen ihrer Häufigkeitsverteilungen für jeden Beobachtungszeitpunkt. Damit wurde allerdings die intra-individuelle Gruppenstruktur der Daten, die durch die longitudinalen, also zeitlich wiederholten Beobachtungen am selben Individuum zustande kommt, ignoriert. Daher sind die ermittelten Häufigkeiten und ihre eventuell beobachteten Veränderungen entlang der Zeit mit großer Zurückhaltung zu interpretieren.

Andererseits wurde die Häufigkeitstabellarische Darstellung der intra-individuellen Übergänge von "Baseline"-Werten (entweder zum Zeitpunkt 0 oder zum Zeitpunkt 6 Monate post-OP) zu den Werten zum Zeitpunkt 12 Monate post-OP angefertigt. Diese "Übergangsmatrizen" sind aussagekräftiger, weil sie den Longitudinalcharakter der Daten besser berücksichtigen, zumindest im Vergleich zweier ausgewählter Zeitpunkte.

Für die inferenzstatistische Analyse dieser Longitudinaldaten war ihr ordinaler Charakter zu berücksichtigen, weswegen nichtparametrische Methoden zum Einsatz kamen (Brunner & Langer, 1999). Diese Verfahren wurden in der Statistik-Software R in Version 2.6.1 implementiert und ihre Implementierung an explizit durchgerechneten, dem Studiendesign entsprechenden Beispielen aus Brunner & Langer (1999) validiert.

(b) Für die metrischen Merkmale wurde eine analoge Art der explorativen Präsentation gewählt: Einerseits die zeitpunktspezifische Angabe zusammenfassender statistischer Maßzahlen ihrer beobachteten Werte (d. h. Minimum, Maximum, 1. und 3. Quartil, Median, Arithmetisches Mittel, Standardabweichung sowie das 95 %-Konfidenzintervall für den Mittelwert) – also ebenfalls in Ignoranz der Longitudinalstruktur der Daten – und andererseits desgleichen für die intra-individuellen Zuwächse von Baseline-Werten zu "späteren" Werten und somit unter Beachtung der Longitudinalstruktur. Für die metrischen Kriterien wurden zur inferenzstatistischen Analyse ihrer zeitlichen Verläufe dieselben nichtparametrischen Verfahren aus Brunner & Langer (1999) eingesetzt wie für die ordinalen Kriterien.

Erläuterungen:

Werden *mehr als zwei* Zeitpunkte in die Analyse des jeweiligen Kriteriums eingeschlossen (wie z. B. bei ALPresent die drei Zeiten 0, 6 und 12 Monate post-OP), so werden pro Effekt stets drei – verwandte – Tests dokumentiert: Einer vom Wald-Typ, einer vom ANOVA-Typ und einer vom Hotelling-Typ.

Liegen *nur zwei* Zeitpunkte für das jeweilige Kriterium vor (wie z. B. bei Erguss die Zeiten 6 und 12 Monate post-OP), so sind die drei o. g. Testtypen äquivalent und es wird pro Effekt nur eine Zeile präsentiert, deren erster Eintrag von der Bauart "Un(Effekt)" den untersuchten Effekt identifiziert.

Spezielle Fragestellungen

(a) Der Unterschied in den tibialen Tunnelweiten in Abhängigkeit von der Zeit wurde mit linearen “mixed effects”-Modellen analysiert (Pinheiro & Bates 2000). Auch hierfür wurde die Statistik-Software R Version 2.12.1 einschließlich des R-Paketes “nlme” (Pinheiro et al. 2007) verwendet.

(b) Erweiterung des Tunnels (femoral bzw. tibial) entlang der Zeit sowie Veränderung verschiedener Tunnel-Signalintensitäten (femoral bzw. tibial) entlang der Zeit:

In Ergänzung der nichtparametrischen longitudinalen Analysen konnte zur Beantwortung der hier einseitigen Fragestellungen ein (parametrischer) t-Test für gepaarte Beobachtungen eingesetzt werden, da die betrachteten Kriterien metrisch sind und nur zu zwei Zeitpunkten beobachtet wurden. Pro Patient war daher eine Paarbildung aus seiner frühen Beobachtung (6 Monate post-OP) und der späten (12 Monate post-OP) möglich, allerdings nur für die Patienten, deren Daten für das jeweils betrachtete Kriterium vollständig sind; ein fehlender Wert führte also zum Ausschluss des Patienten aus dieser Analyse.

3 Ergebnisse

3.1 Präoperative Daten

	EB	RF	p
Aktivitätslevel	III	III	0.281
Funktion	III	III	0.238
Schmerzintensität	I - II	II	0.054
Startschmerzen	I	I - II	0.854
Belastungsschmerzen	IV	IV	0.194
Schwellung bei Belastung	IV	IV	0.468
Giving Way	IV	IV	0.485

Tabelle 6: Subjektive Bewertungskriterien präoperativ; die Mediane und das Signifikanzniveau des approximativen Chi-Quadrat-Tests auf Unabhängigkeit sind angegeben.

Zusammenfassend lässt sich für die Homogenitätstests (= Unabhängigkeit von Technikgruppe und ordinalen Kriterium) sagen:

Jeder p-Wert ist in der Mehrzahl der Fälle viel größer als 0.05, so dass geschlussfolgert werden kann, dass es präoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen hinsichtlich der Häufigkeitsverteilungen der untersuchten ordinalen Kriterien bestanden.

	EB	RF
IKDC-Ligament-Score	IV	IV
Meyers et al. Score	14±3.3	12±3.5
Tegner/Lysholm Score	2±1.5	2±1.4
Lysholm/Gillquist Score	49±18	43±25

Tabelle 7: Scores vor der Behandlung; die Median bzw. Mittelwerte sind angegeben

Der approximative Chi-Quadrat-Test auf Unabhängigkeit zum Vergleich der Werte des IKDC- Scores zeigt einen p-Wert von 0.624 und gilt somit als nicht signifikant. Mit dem F-Test zum Vergleich zweier Varianzen wurde bei dem Meyer et al. Score ($p = 0.804$), dem Tegner/Lysholm Score ($p = 0.806$) und dem Lysholm/Gillquist Score ($p = 0.081$) bewiesen, dass sich die beiden Gruppen nicht signifikant unterschieden.

	EB	RF
Median	4.0	8.0
Minimum	1.0	2.0
Maximum	9.0	13.0
Mittelwert	4.17	7.97
Stdabw.	3.31	2.73

Tabelle 8: Messung der präoperativen KT-1000 Werte

Bei dem Vergleich der präoperativen KT-1000 Werte zeigte sich im zwei Proben t-Test ein signifikanter Unterschied ($p = 0.0038$), nicht jedoch im F-Test zum Vergleich zweier Varianzen ($p = 0.449$).

	EB	RF
Median	9.00	8.00
Minimum	8.50	7.00
Maximum	10.00	9.00
Mittelwert	9.10	7.90
Stdabw.	0.57	0.67

Tabelle 9: Verwendete Bohrerstärke

Die Zusammenfassung der inferenzstatistischen Vergleiche der Behandlungsgruppen bezüglich Variabilität und Mittelwert der verwendeten Bohrerstärke zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Tabellen und Grafiken für OPAAlter, Größe und Gewicht (jeweils pro Behandlungsgruppe) zeigen weder eine nennenswerte Asymmetrie, noch extreme

Ausreißer oder irgendein anderes Muster, das gegen die Normalverteilungsannahme spräche (siehe Kapitel 2.1.2 bis 2.1.4).

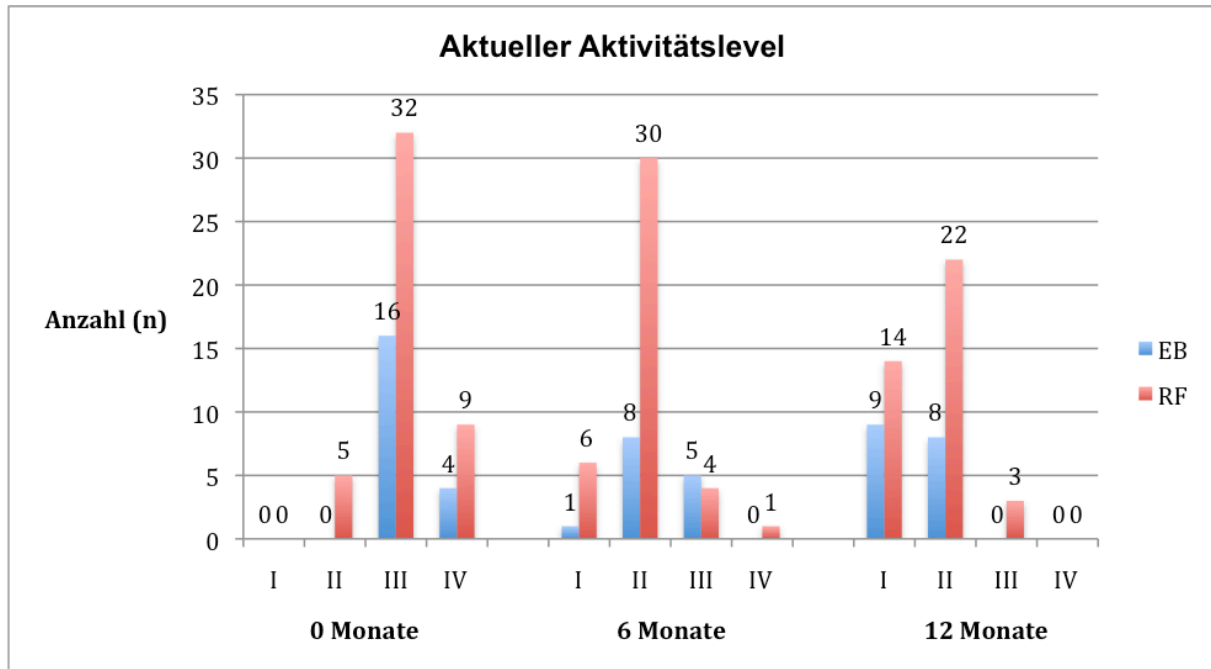
Schlussfolgerung als Zusammenfassung aller präoperativen Werte:

Insbesondere unter Berücksichtigung des Effektes des multiplen Testens (mittels der Bonferroni-Methode der Division des globalen Signifikanzniveaus von 0.05 durch die Anzahl der Tests (= 9 Tests auf Unabhängigkeit + 10 F-Tests + 10 t-Tests + 1 Wilcoxon Rangsummentest = 30), und somit ein für jeden einzelnen Test spezifisches Signifikanzniveau von 0.00167 erhaltend) liefert keiner der Tests ein signifikantes Resultat.

Alles in allem wird für das Gesamtkollektiv (einschließlich der Werte von Kapitel 2.1.2 bis 2.1.4) der Schluss gezogen, dass es keine Unterschiede zwischen den zwei Behandlungsgruppen sowohl hinsichtlich aller genannten demographischen Charakteristika als auch der ordinalen sowie metrischen Kriterien präoperativ gegeben hat.

3.2 Klinische Daten im Verlauf

3.2.1 Aktueller Aktivitätslevel

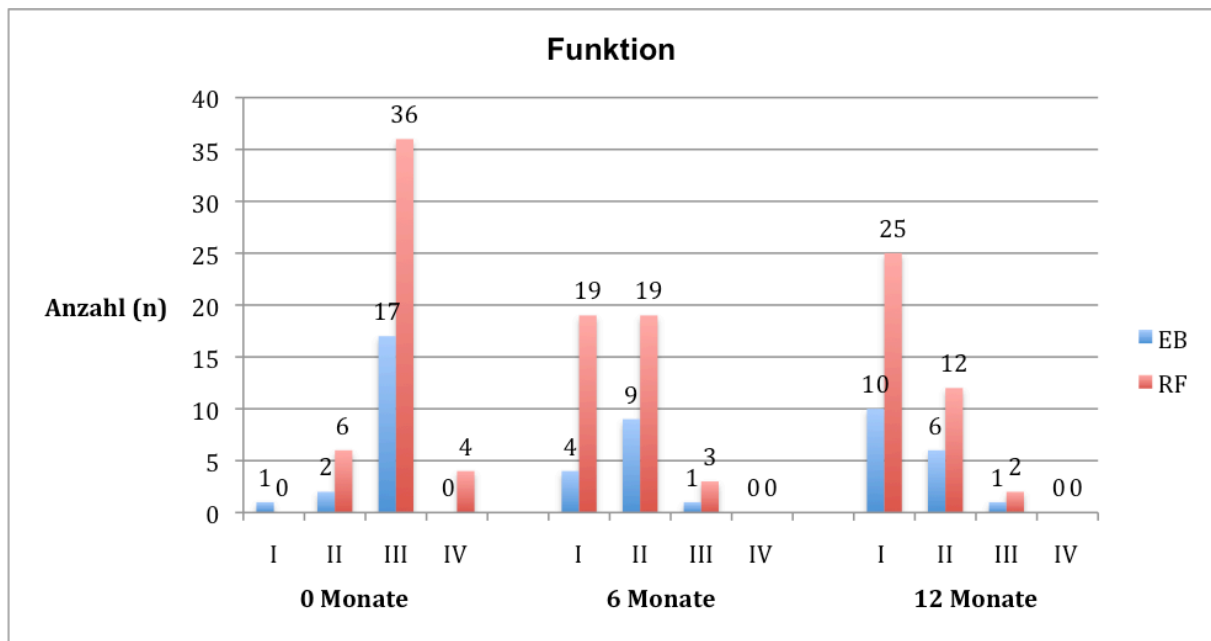


Grafik 1: Aktueller Aktivitätslevel auf Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

Die Mediane der EB und in der RF Gruppe liegen zum t6 bei II („Ich kann mit meinem Gelenk fast alles machen, was ich möchte“), zum t12 in der EB Gruppe bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen, was ich möchte“) und in der RF Gruppe bei II.

Nach dem Brunner & Langer Test (ANOVA-type) unterscheiden sich die Verläufe der beiden Gruppen signifikant ($p = 0.015$), wenn alle Fälle eingeschlossen sind. Beim Vergleich der Verläufe der beiden Gruppen auf Basis der vollständigen Fälle (EB = 12; RB = 38) zeigt sich jedoch kein signifikanter Unterschied im Verlauf ($p = 0.093$). Ein zufällig aus der Gruppe gezogener Wert liegt in der EB Gruppe zu t6 mit einer 49 % Wahrscheinlichkeit über dem Durchschnitt aller Werte der beiden Gruppen und allen Zeitpunkten zusammengefasst (relativer Marginaleffekt). In der RF Gruppe ist es eine 38 % Wahrscheinlichkeit. Zu t12 liegt die Wahrscheinlichkeit bei EB bei 22 % und in der RF Gruppe bei 30 %.

3.2.2 Funktion



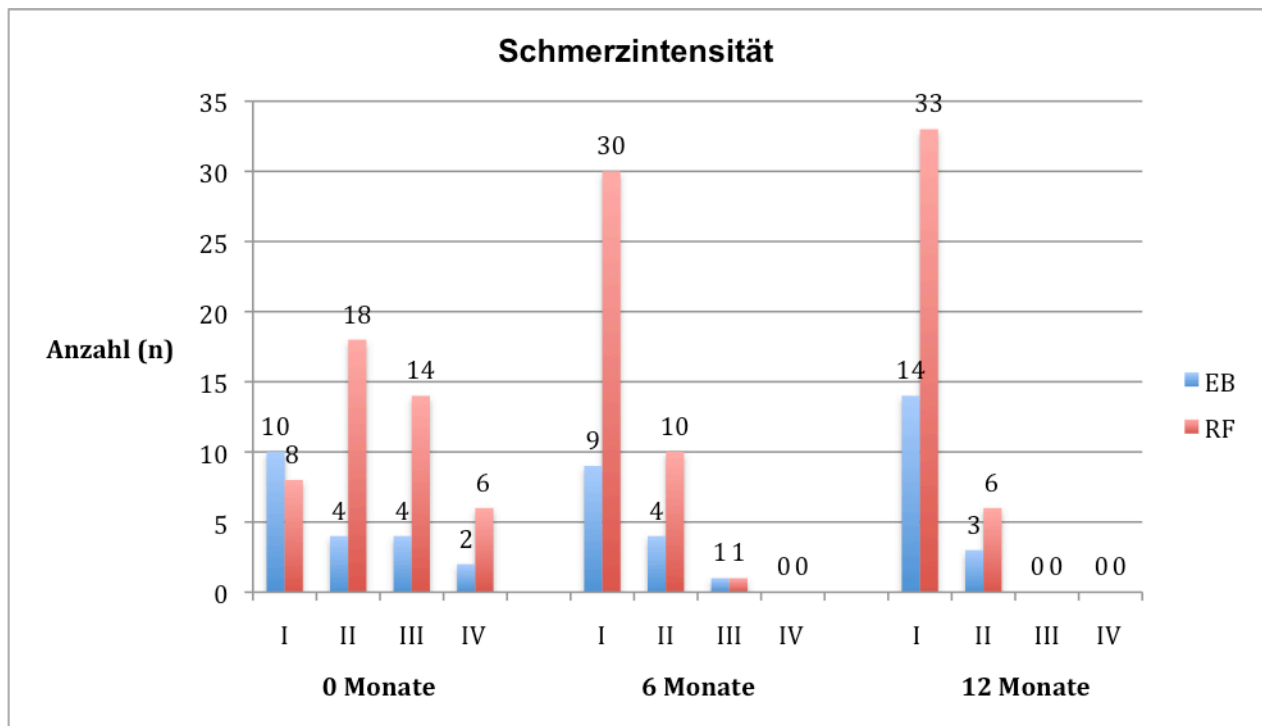
Grafik 2: Funktion auf der Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

In beiden Gruppen liegen die Mediane nach 6 Monaten bei II („Ich kann mit meinem Gelenk fast alles machen, was ich möchte“) und nach 12 Monaten bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen, was ich möchte“).

Es konnte kein signifikanter Unterschied in den Verläufen der beiden Gruppen auf Basis aller Fälle gezeigt werden ($p = 0.353$).

Der relative Marginaleffekt liegt in der EB Gruppe zum t6 bei 42%, in der RF Gruppe bei 36%. Zum t12 liegt er in der EB Gruppe bei 32 % und in der RF Gruppe bei 30%.

3.2.3 Schmerzintensität



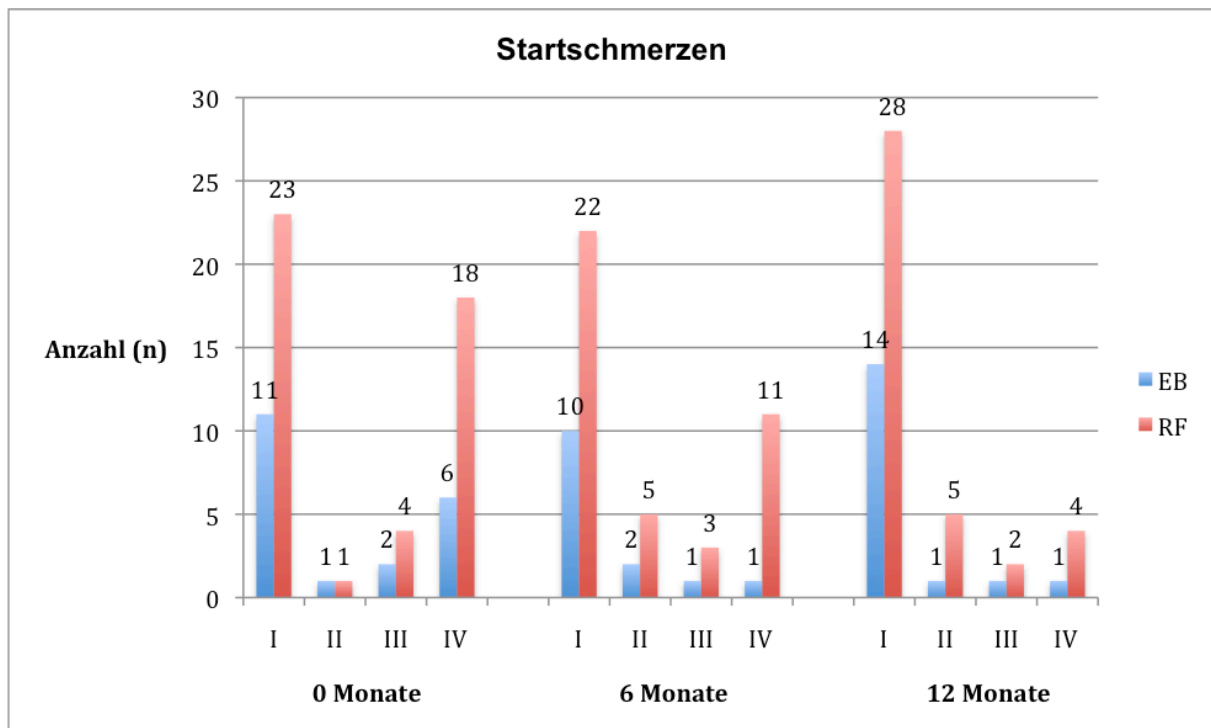
Grafik 3: Schmerzintensität auf Basis aller Fälle; Element des IKDC- Scores

Die Mediane liegen in beiden Gruppen zu beiden Zeitpunkten bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen, was ich möchte“).

Der Vergleich der beiden Gruppen auf Basis aller Fälle zeigt einen signifikanten Unterschied ($p = 0.008$) im Verlauf. Wenn man auf Basis aller Fälle den zeitlichen Verlauf vernachlässigt zeigt sich in diesen Kollektiven kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.464$).

Die relativen Marginaleffekte liegen in der EB Gruppe zum t6 bei 46 %, in der RF Gruppe bei 41 %. Zum t12 lagen sie in der EB Gruppe und in der RF Gruppe bei 37 %.

3.2.4 Startschmerzen



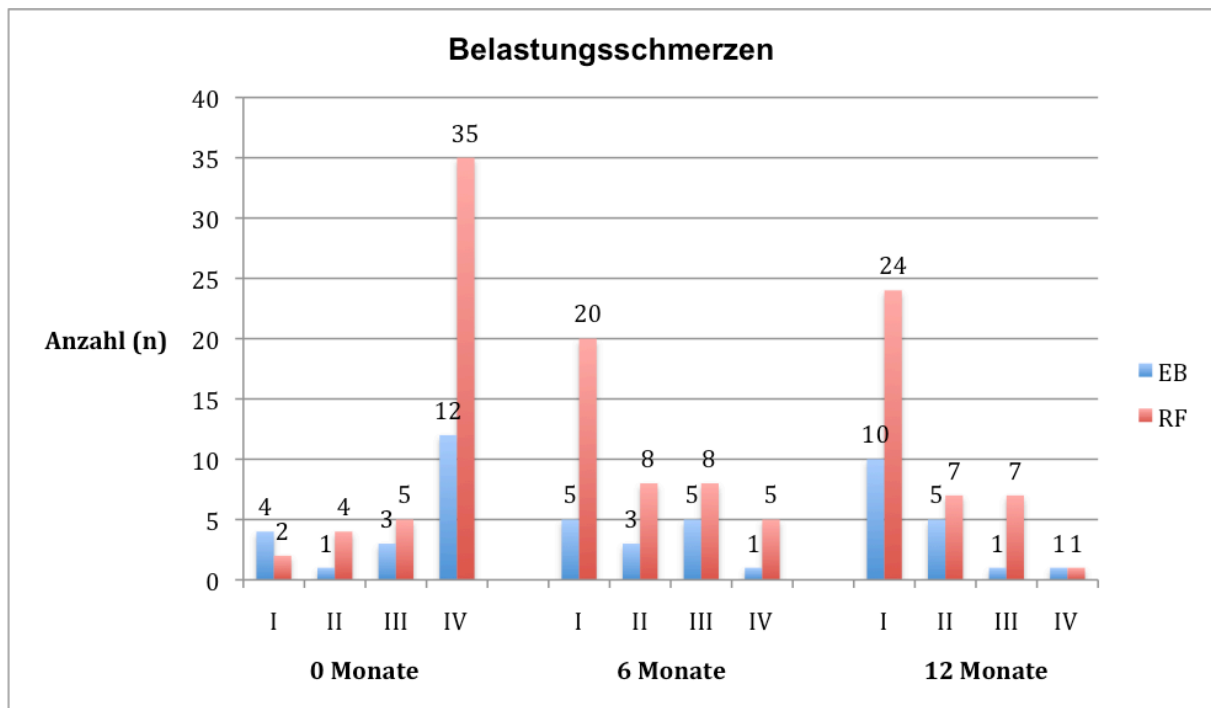
Grafik 4: Startschmerzen auf Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

In den beiden Gruppen liegen zu beiden Zeitpunkten die Mediane bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen, was ich möchte“).

Bei dem Vergleich der Verläufe der beiden Gruppen zeigt sich kein signifikanter Unterschied auf Basis aller Fälle ($p = 0.630$).

Die relativen Marginalwirkungen liegen in der EB Gruppe zum Monat 6 bei 43 % und in der RF Gruppe bei 53 %. Nach 12 Monaten in der EB Gruppe bei 38 % und in der RF Gruppe bei 43 %.

3.2.5 Belastungsschmerzen



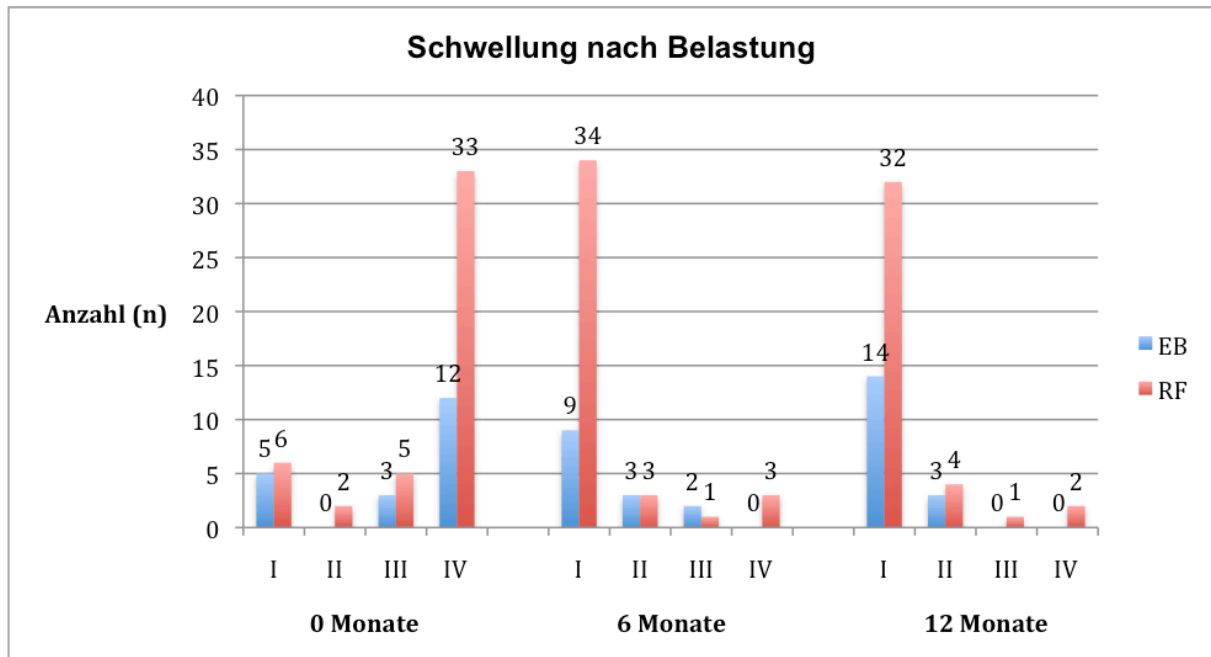
Grafik 5: Belastungsschmerzen auf Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

Die Mediane liegen in beiden Gruppen zum Monat 6 bei II („Ich kann mit meinem Gelenk fast alles machen, was ich möchte.“). Zum t12 lagen die Mediane in beiden Gruppen bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen was ich möchte.“)

Der Verlauf der beiden Gruppen unterscheidet sich nicht signifikant auf Basis aller Fälle ($p= 0.169$).

Die relativen Marginalwirkungen in der EB Gruppe liegen zum t6 bei 44% und zum t12 bei 32% und in der RF Gruppe zum t6 bei 40% und zum t12 bei 32%.

3.2.6 Schwellung nach Belastung



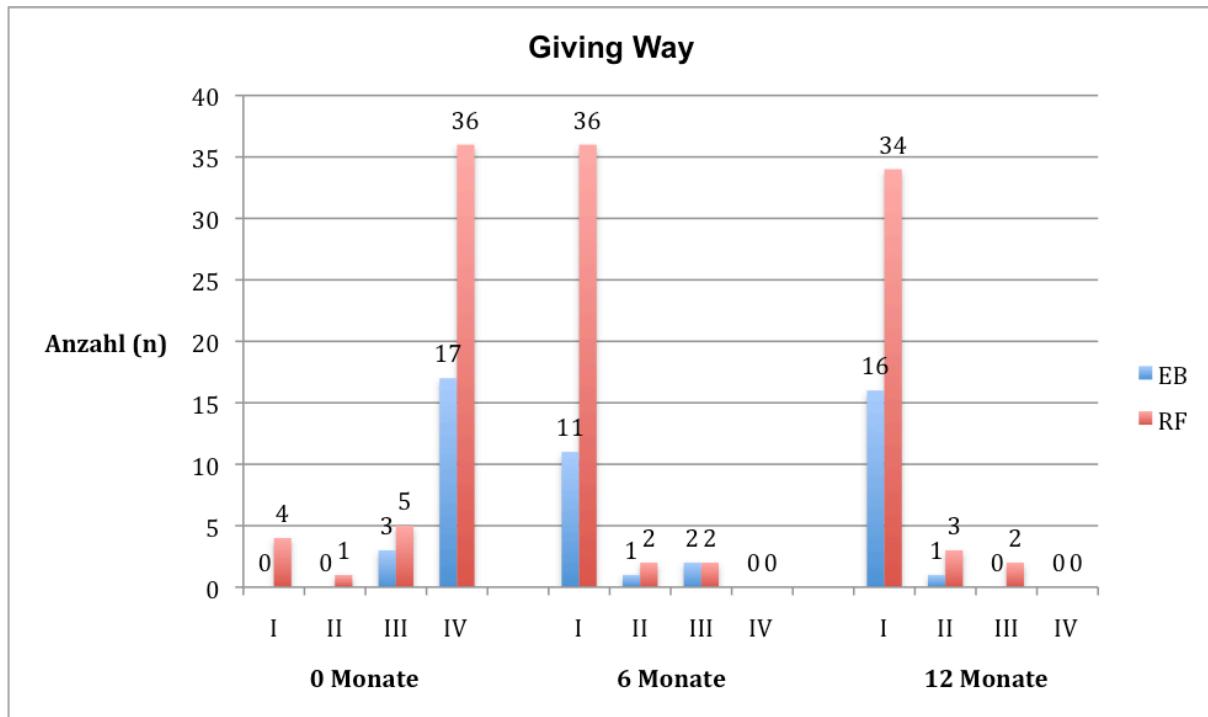
Grafik 6: Schwellung nach Belastung auf Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

Die Mediane liegen in beiden Gruppen zu beiden Zeitpunkten bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen was ich möchte.“).

Auf Basis aller Fälle ($p=0.238$) unterscheiden sich die Verläufe nicht signifikant.

Die relativen Marginalwirkungen auf Basis aller Fälle liegen in der EB Gruppe nach 6 Monaten bei 41 % in der RF Gruppe bei 36 %. Nach 12 Monaten liegen die Werte in der EB Gruppe bei 34 % in der RF Gruppe bei 36 %.

3.2.7 Giving Way



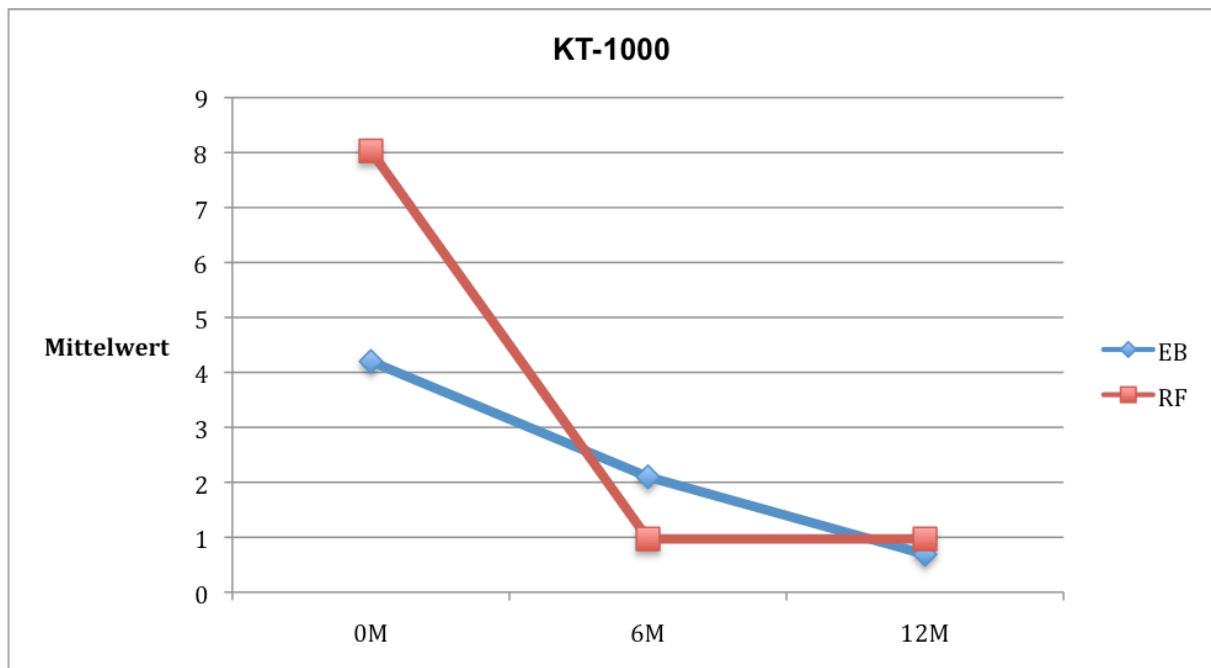
Grafik 7: Giving Way auf Basis aller Fälle; Element des IKDC-Knie-Score

Die Mediane liegen in beiden Gruppen zu beiden Zeitpunkten bei I („Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Gelenk machen was ich möchte.“).

Die Verläufe der beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant auf Basis aller Fälle ($p = 0.194$).

Die relativen Marginaleffekte zeigen in der EB Gruppe zum t6 einen Wert von 36 %, in der RF Gruppe von 32%. Zum t12 liegt der Wert in der EB Gruppe bei 31 % und in der RF Gruppe bei 33 %, beides auf Basis aller Fälle.

3.2.8 KT-1000-Messung



Grafik 8: KT-1000- Messung; getrennt nach Technik im Verlauf

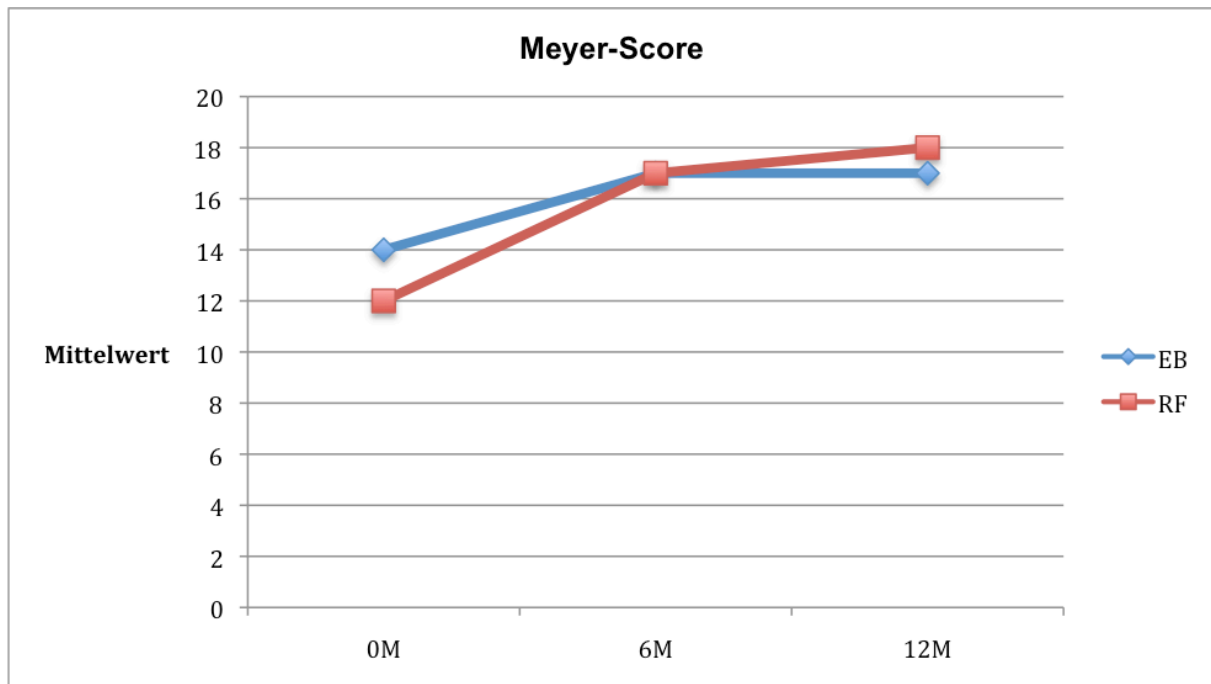
Die Mittelwerte für die EB Gruppe liegen zum t₆ bei 2.1 ± 4.1 mm und zum t₁₂ bei 0.69 ± 3.0 mm. In der RF Gruppe liegen sie zum t₆ und zum t₁₂ bei 0.97 ± 2.6 bzw. 2.4 mm.

Die Verläufe der beiden Gruppen von 6 auf 12 Monate, auf Basis aller Fälle, unterscheiden sich nicht signifikant ($p = 0.123$). Die Verläufe über den 12 Monatszeitraum, ebenfalls auf Basis aller Fälle, unterscheiden sich leicht signifikant ($p = 0.042$).

Der absolute Zuwachs von t₀ zu t₆ liegt in der EB Gruppe bei 0 mm und in der RF Gruppe bei $-6.3 \text{ mm} \pm 3.2$ mm (Mittelwert). Vom t₀ zum t₁₂ liegt er in der EB Gruppe bei $-1.8 \text{ mm} \pm 2.9$ mm und in der RF Gruppe bei $-6.6 \text{ mm} \pm 2.3$ mm.

3.3 Scores im Verlauf

3.3.1 Meyer-Score



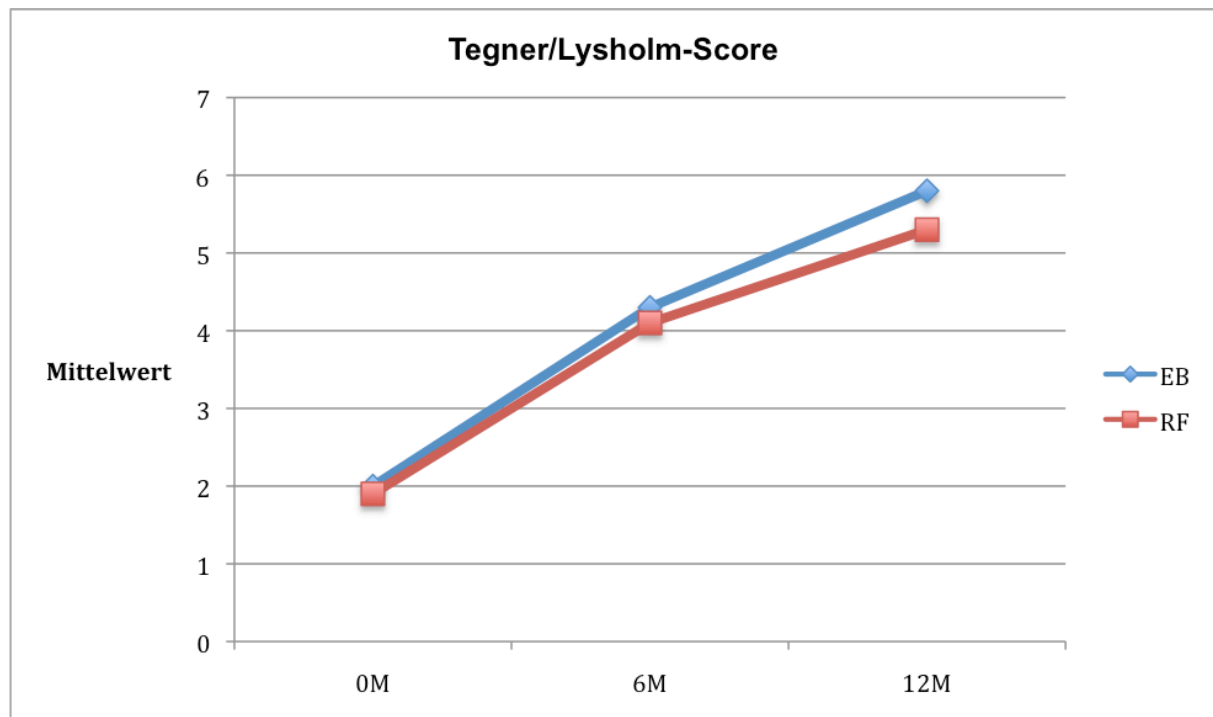
Grafik 9: Meyer-Score; getrennt nach Technik im Verlauf

Die Mittelwerte liegen zum t6 bei 17 Punkten in beiden Gruppen („Gut“) (EB: ± 1.2 ; RF: ± 2.7). In der EB Gruppe liegt der Mittelwert zum t12 ebenfalls bei 17 Punkten („Gut“) (± 1.4) und in der RF Gruppe bei 18 Punkten („Exzellent“) (± 0.85).

Die Verläufe der beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($p = 0.639$) über den 12 Monatszeitraum.

Die Mittelwerte des absoluten Zuwachses von t0 auf t6 liegen in der EB Gruppe bei 2.9 ± 2.6 Punkten (und 3.2 ± 2.2 Punkten von t0 auf t12) und in der RF Gruppe bei 4.5 ± 4.0 Punkten (5.3 ± 3.7 Punkten).

3.3.2 Tegner/Lysholm-Score



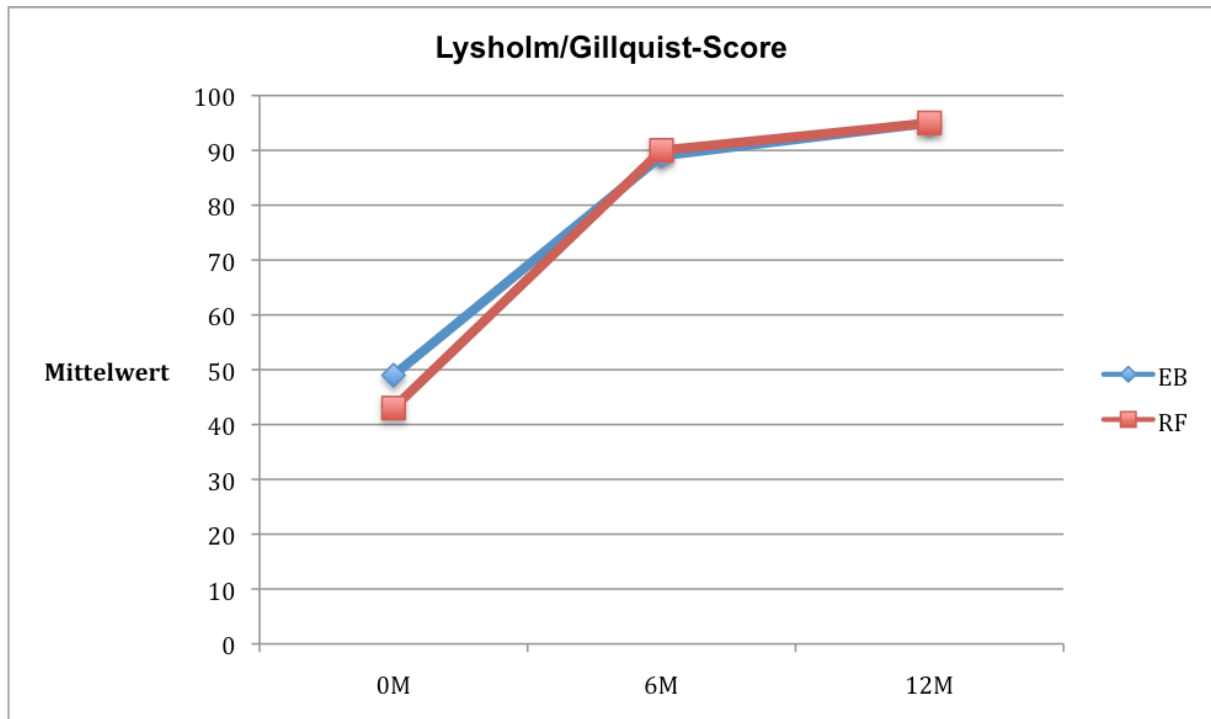
Grafik 10: Tegner/Lysholm-Score; getrennt nach Technik im Verlauf

Die Mittelwerte der beiden Gruppen liegen zum t6 bei 4.3 ± 1.3 Punkten (EB) und 4.1 ± 1.8 (RF) („mittelschweres Arbeiten möglich, Jogging auf unebenen Grund“), in der EB Gruppe zum t12 bei 5.8 ± 1.6 Punkten („Handball, Badminton und Basketball möglich“) und in der RF Gruppe bei 5.3 ± 1.9 Punkten („Harte Arbeit, Jogging auf unebenen Grund“).

Die Verläufe der beiden Gruppen auf Basis aller Fälle unterscheiden sich nicht signifikant ($p = 0.800$).

Die Mittelwerte des absoluten Zuwachses von t0 auf t6 liegen in der EB Gruppe bei 2.1 ± 2.1 Punkten (3.6 ± 2.0 Punkten von t0 auf t12) und in der RF Gruppe bei 2.2 ± 2.2 Punkten (3.5 ± 2.1 Punkten).

3.3.3 Lysholm/Gillquist Score



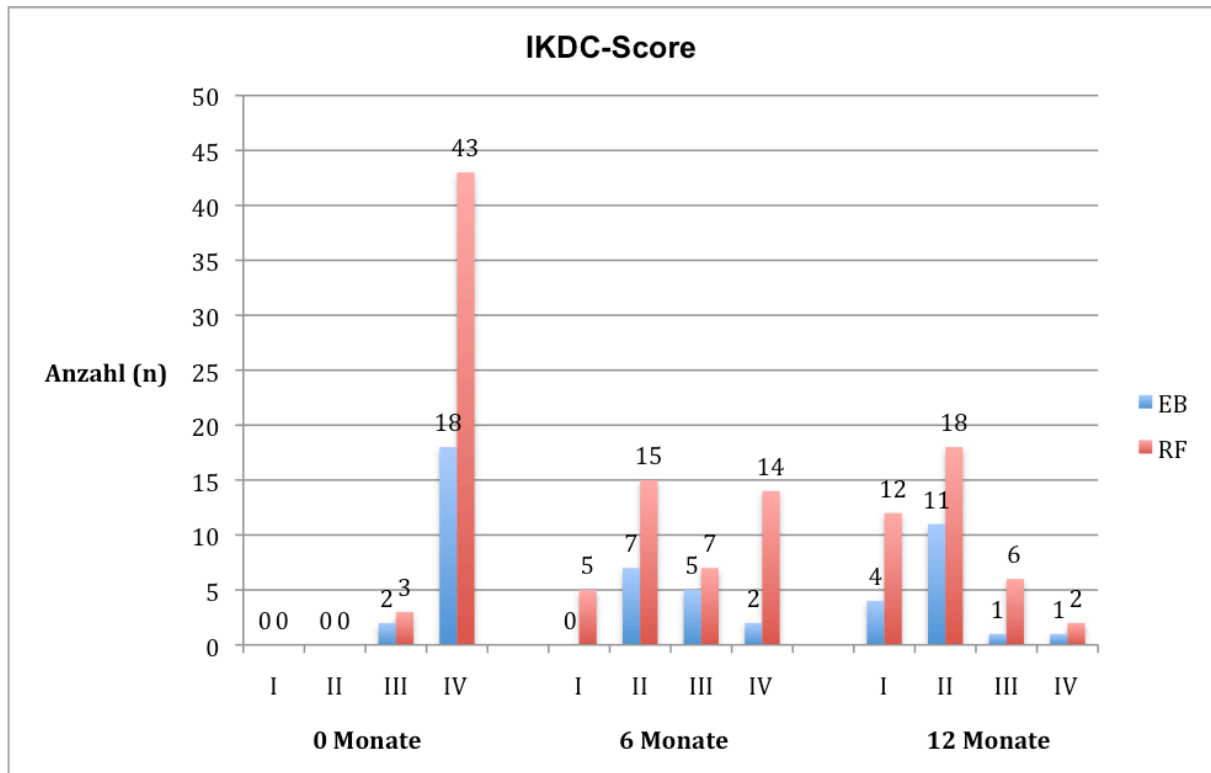
Grafik 11: Lysholm/Gillquist- Score; getrennt nach Technik im Verlauf

Der Mittelwerte in der EB Gruppe liegt zum t6 bei 89 ± 11 Punkten (siehe Anhang) und in der RF Gruppe bei 90 ± 9.1 Punkten. Zum t12 liegen beide Mediane bei 95 Punkten (EB: ± 7.7 ; RF: ± 7.4).

Die Verläufe der beiden Gruppen unterscheiden sich auf Basis aller Fälle nicht signifikant ($p = 0.878$).

Die Mittelwerte der des absoluten Zuwachses von t0 auf t6 liegen in der EB Gruppe bei 38 ± 15 Punkten (44 ± 17 Punkten von t0 auf t12) und in der RF Gruppe bei 48 ± 26 Punkten (53 ± 25 Punkten).

3.3.4 IKDC-Score



Grafik 12: IKDC-Knie-Score auf der Basis aller Fälle; getrennt nach Technik und Zeit, die longitudinale Datenstruktur ignorierend

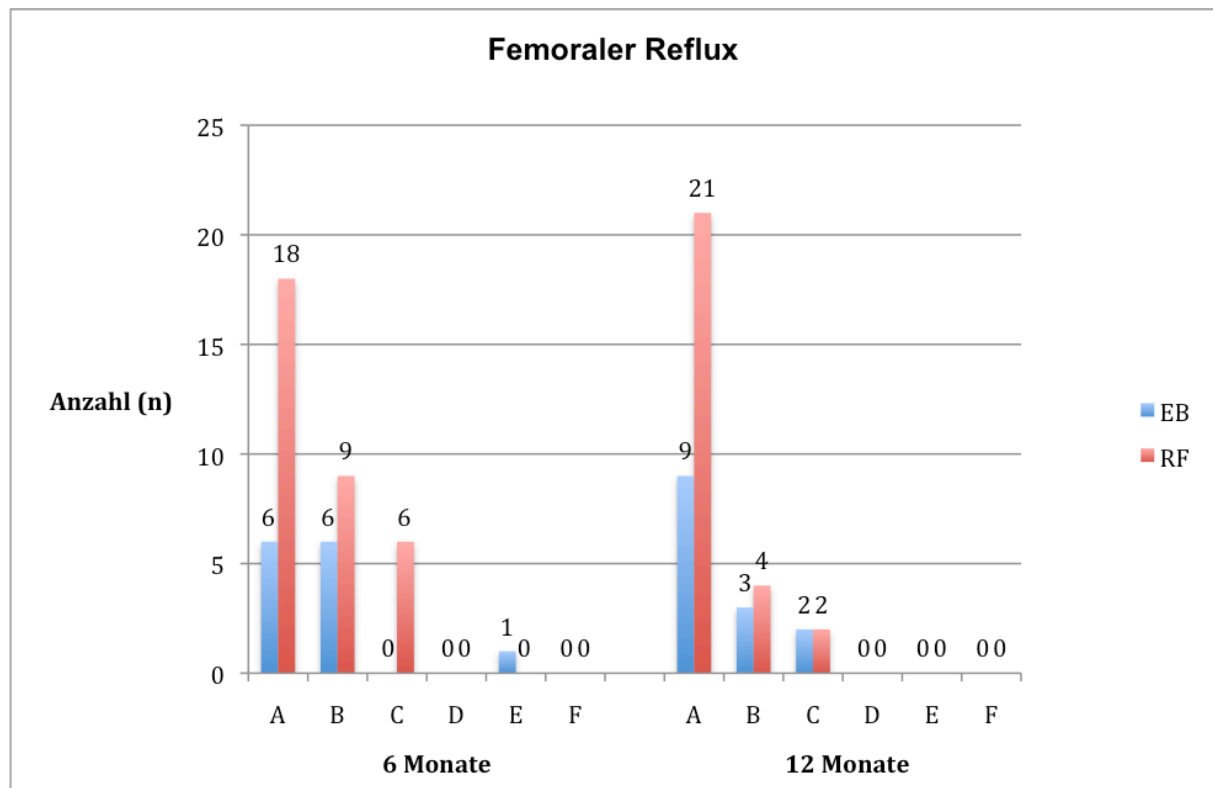
Die Mediane in der EB und RF Gruppe lagen zum t6 bei III („Ich bin eingeschränkt und kann viele Sachen, die ich gerne machen möchte, mit meinem Gelenk nicht ausführen“). Zum t12 liegen beide Gruppen bei II („Ich kann mit meinem Gelenk fast alles machen, was ich möchte“).

Die Verläufe der IKDC- Scores der beiden Gruppen unterscheiden sich auf Basis aller Fälle nicht signifikant ($p = 0.815$).

Die relativen Marginaleffekte liegen in der EB Gruppe zum t6 bei 41 %, in der RF Gruppe bei 45 %. Zum t12 lagen sie in der EB Gruppe bei 26 % und in der RF Gruppe bei 26 %.

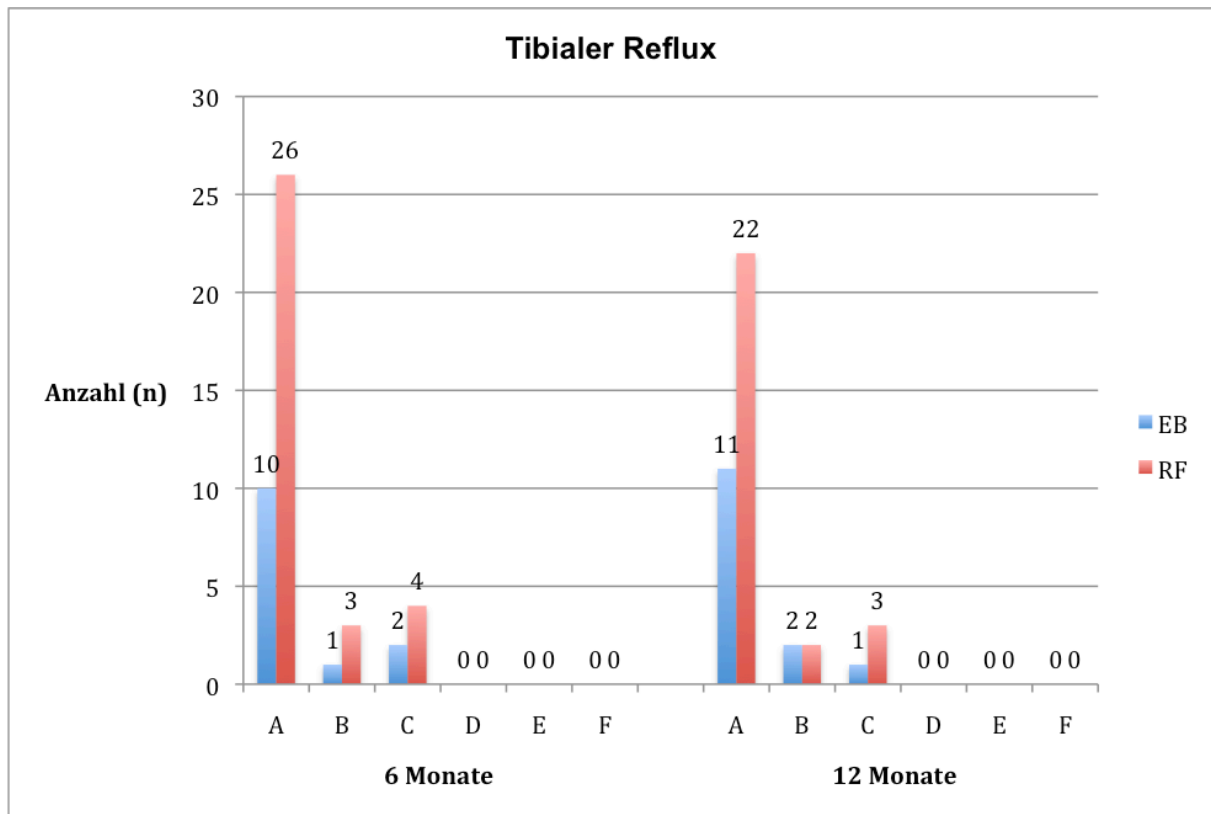
3.4 Kernspintomographische Daten im Verlauf

3.4.1 Reflux



Grafik 13: Quantifizierung des femoralen Refluxes

Der Median in der EB Gruppe liegt zum t6 bei B („geringe Spur“) und zum t12 bei A („kein Reflux“). In der RF Gruppe liegen die Mediane zu beiden Zeitpunkten bei A. Die Verläufe der beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($p = 0.550$). Die relativen Marginaleffekte liegen zum t6 in der EB Gruppe bei 56 % und in der RF Gruppe bei 54 % und zum t12 liegen in der EB Gruppe bei 49 % und in der RF Gruppe bei 42 %.



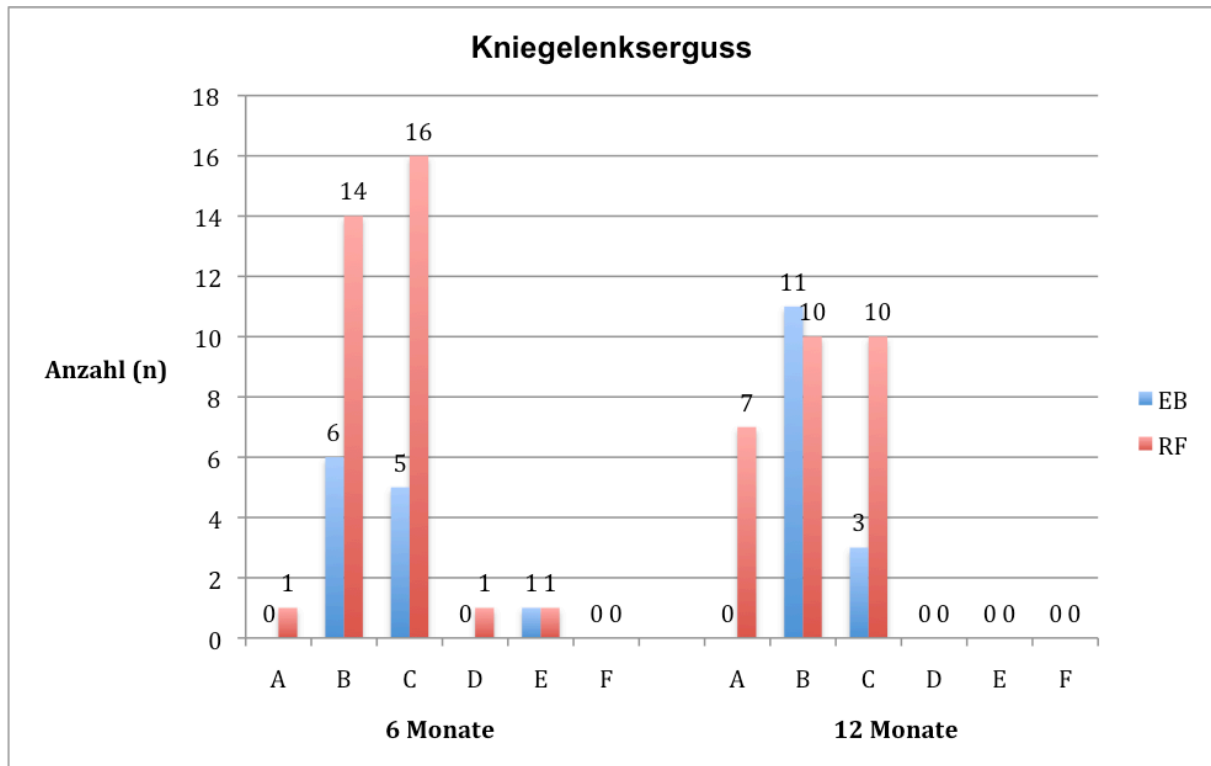
Grafik 14: Quantifizierung des tibialen Refluxes

Die Mediane liegen in beiden Gruppen, zu beiden Zeitpunkten bei A („kein Reflux“).

Die Verläufe in den beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($p = 0.934$).

Die relativen Marginalwirkungen der beiden Gruppen liegen zwischen 49 % und 51 % zum t6 und t12.

3.4.2 Kniegelenkserguss



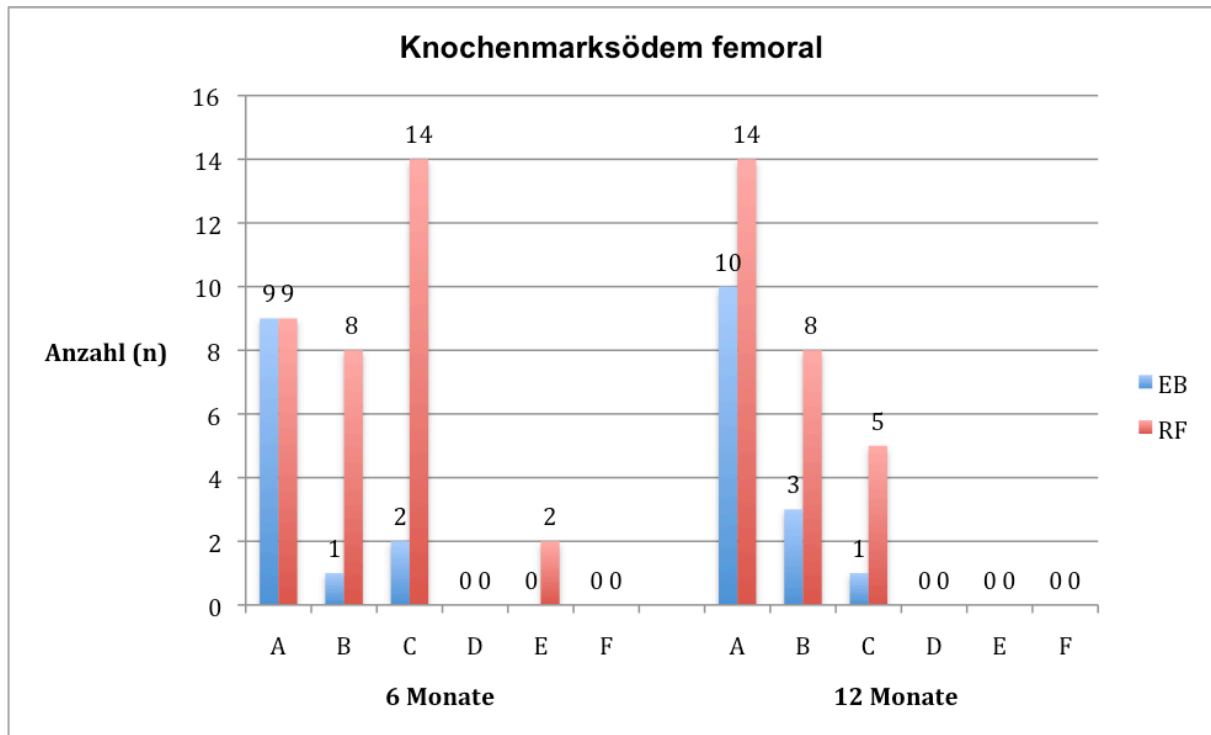
Grafik 15: Quantifizierung des Kniegelenksergusses

Die Mediane liegen zum t6 in der EB Gruppe bei B/C („geringe Spur bis mäßig“) und in der RF Gruppe bei C („mäßig). Zum t12 liegen beide Gruppen bei B.

Die Verläufe der Ergussbildung unterschieden sich in den beiden Gruppen nicht signifikant ($p = 0.873$).

Die relativen Marginaleffekte liegen in beiden Gruppen zum t6 bei 57 % und zum t12 bei 42 %.

3.4.3 Knochenmarksödem („bone bruise“)

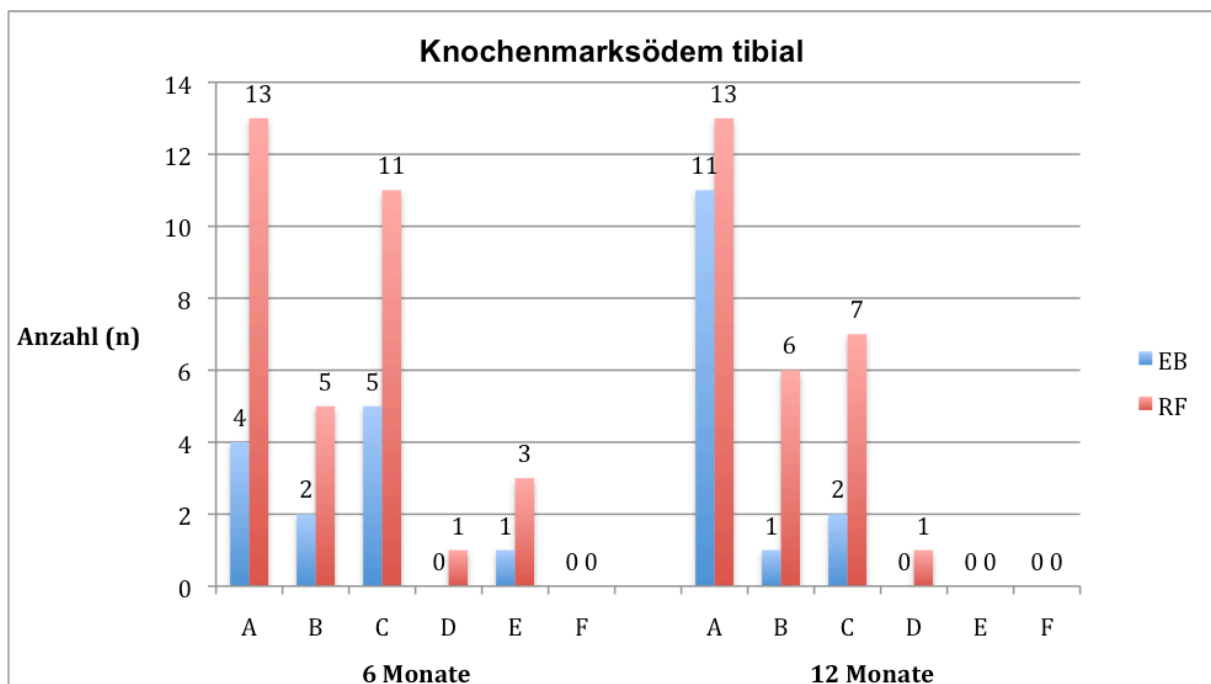


Grafik 16: Quantifizierung des femoralen Knochenmarködemes ("bone bruise")

Die Mediane in der EB Gruppe liegen zum t6 und t12 bei A („kein Erguss“) und in der RF Gruppe zum t6 bei B („geringe Spur“) und zum t12 bei A.

Auf Basis aller Fälle unterscheiden sich die Verläufe der beiden Gruppen signifikant ($p = 0.015$), auf Basis der vollständigen Fälle nicht ($p = 0.883$).

Die relativen Marginaleffekte in der EB Gruppe liegen nach 6 Monaten bei 38 % und nach 12 Monaten bei 36 %. In der RF Gruppe bei 63% und 46 %.



Grafik 17: Quantifizierung des tibialen Knochenmarködemes ("bone bruise")

In der EB Gruppe liegt der Median zum t6 bei B/C („geringe Spur“ bis „mäßig“) und geht zum t12 auf A („kein Erguss“) zurück. In der RB Gruppe zeigte sich zu beiden Zeitpunkten die Intensität B („geringe Spur“) eines tibialen Knochenmarködemes.

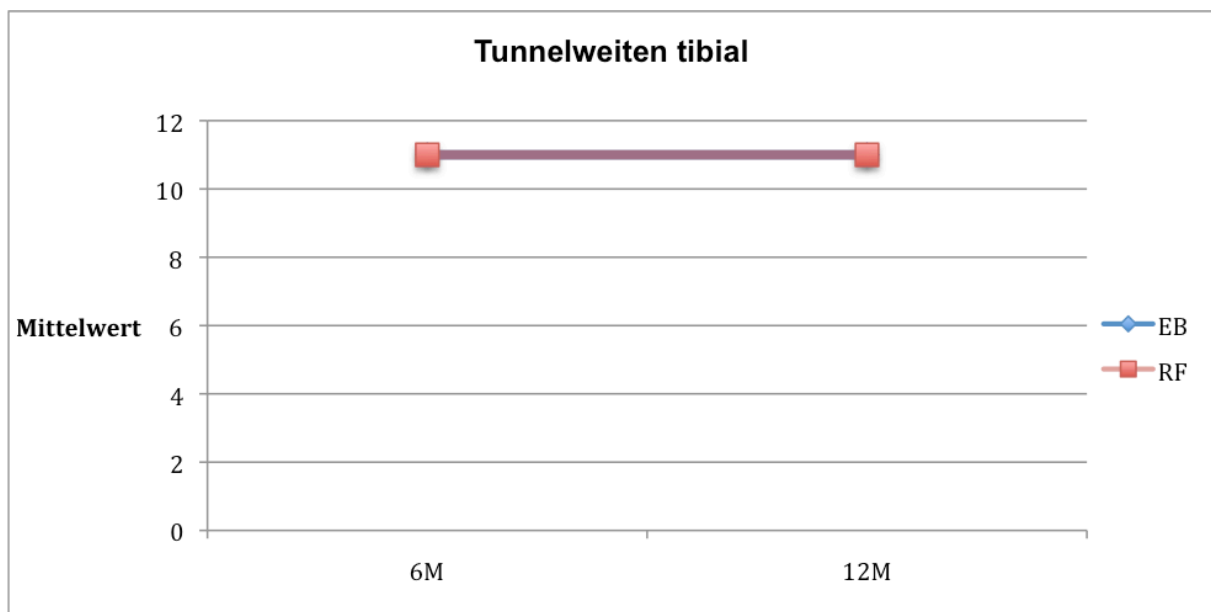
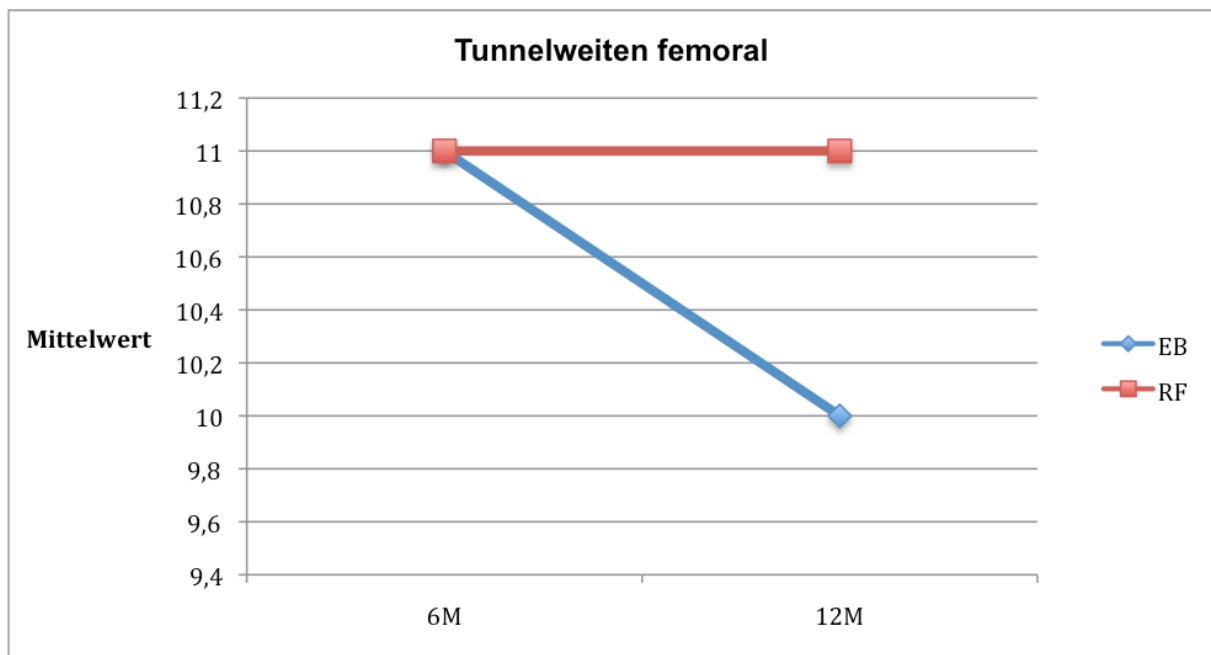
Die Verläufe auf Basis aller Fälle unterscheiden sich zwischen den beiden Gruppen signifikant ($p = 0.018$), auf Basis der vollständigen Fälle nicht ($p = 0.076$).

In der EB Gruppe liegen die relativen Marginalwirkungen zum t6 bei 58 % (34% zum t12) und in der RF Gruppe bei 56% zum t6 (48% zum t12).

3.5 Ergebnisse der speziellen Fragestellungen

3.5.1 Femorale und tibiale Tunnelaufweitung

Mit dieser Analyse sollte gezeigt werden, wie sich die femoralen und tibialen Tunnel über die Zeit verändern und ob es zu einer signifikanten femoralen oder tibialen Tunnelaufweitung („tunnel widening“, „tunnel enlargement“) nach 6 oder 12 Monaten gekommen ist.



Grafik 18 und Grafik 19: femorale und tibiale Tunnelweiten; getrennt nach Technik und Zeit, die longitudinale Datenstruktur ignorierend, Angaben in mm

Die femorale Tunnelweite betrug in der EB-Gruppe zum t6 11 ± 1.6 mm und zum t12 10 ± 1.5 mm. In der RF Gruppe lagen die Werte bei 11 ± 1.4 mm zum t6 und zum t12 bei 11 ± 1.5 mm. Damit unterscheiden sich die Verläufe der beiden Gruppen signifikant ($p < 0.01$) bei den Werten des femoralen Tunnels.

Nicht jedoch bei den Verläufen der tibialen Tunnelweite ($p = 0.99$). Dabei zeigten sich in der EB-Gruppe Werte von 11 ± 1.6 mm zum t6 und t12, in der RF-Gruppe 11 ± 1.3 mm/bzw. 2.3 mm zum t6 bzw. t12.

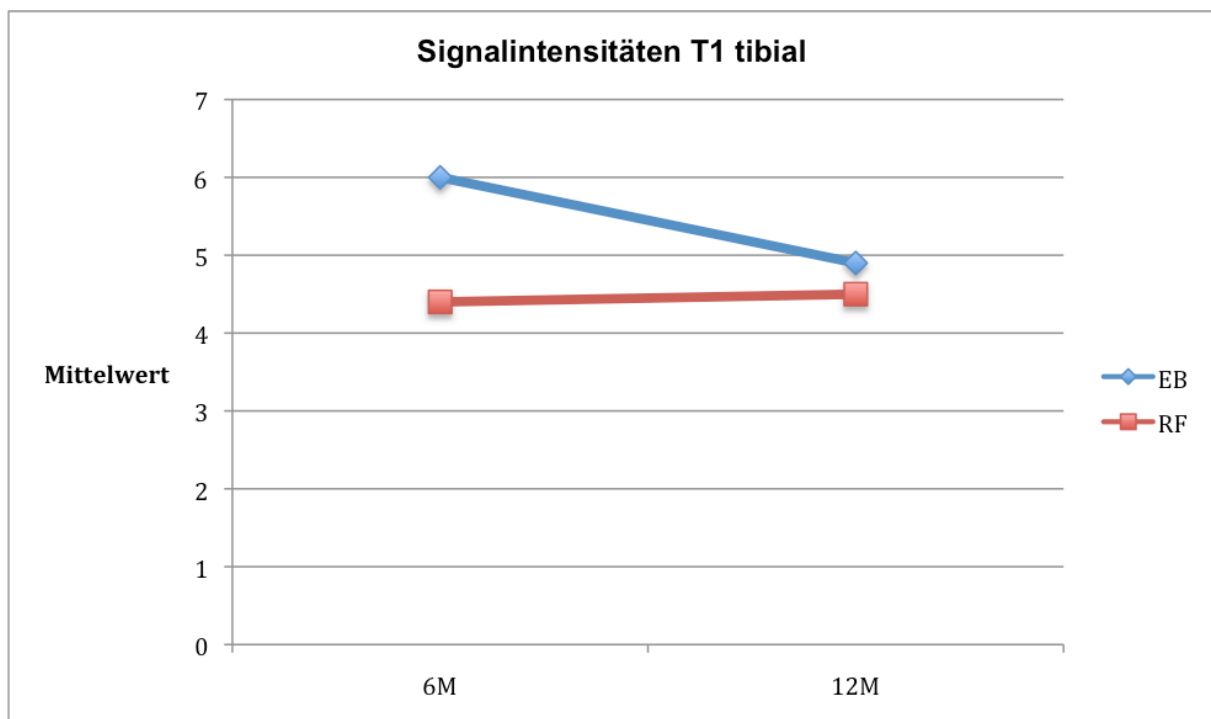
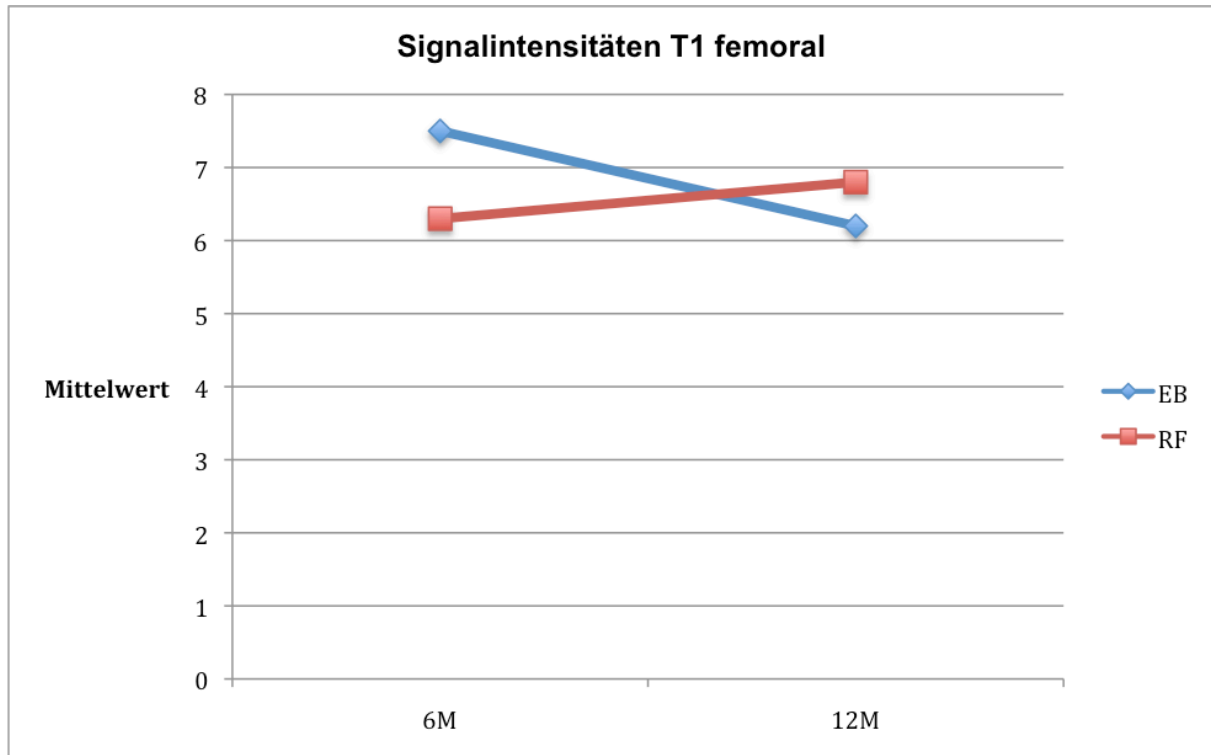
Unter Berücksichtigung des Effektes des multiplen Testens (mittels der Bonferroni-Methode der Division des „globalen“ Signifikanzniveaus von 0.05 durch die Anzahl 4 der t-Tests und somit ein für jeden einzelnen t-Test spezifisches Signifikanzniveau von 0.0125 erhaltend) liegt lediglich femoral 12 Monate post-OP ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen vor.

Der absolute Zuwachs der femoralen Tunnelweiten in der EB Gruppe lag nach 12 Monaten durchschnittlich bei -0.18 ± 0.20 mm (prozentual -1.9 %). In der RF Gruppe lag er durchschnittlich nach 12 Monaten bei -0.41 ± 1.60 mm (-2.9 %).

Bei den tibialen Tunnelweiten liegt der absolute Zuwachs der EB Gruppe zum t12 bei 0.68 ± 1.5 mm (+6.9 %), in der RF Gruppe bei 0.49 ± 2.5 mm (+4.8 %).

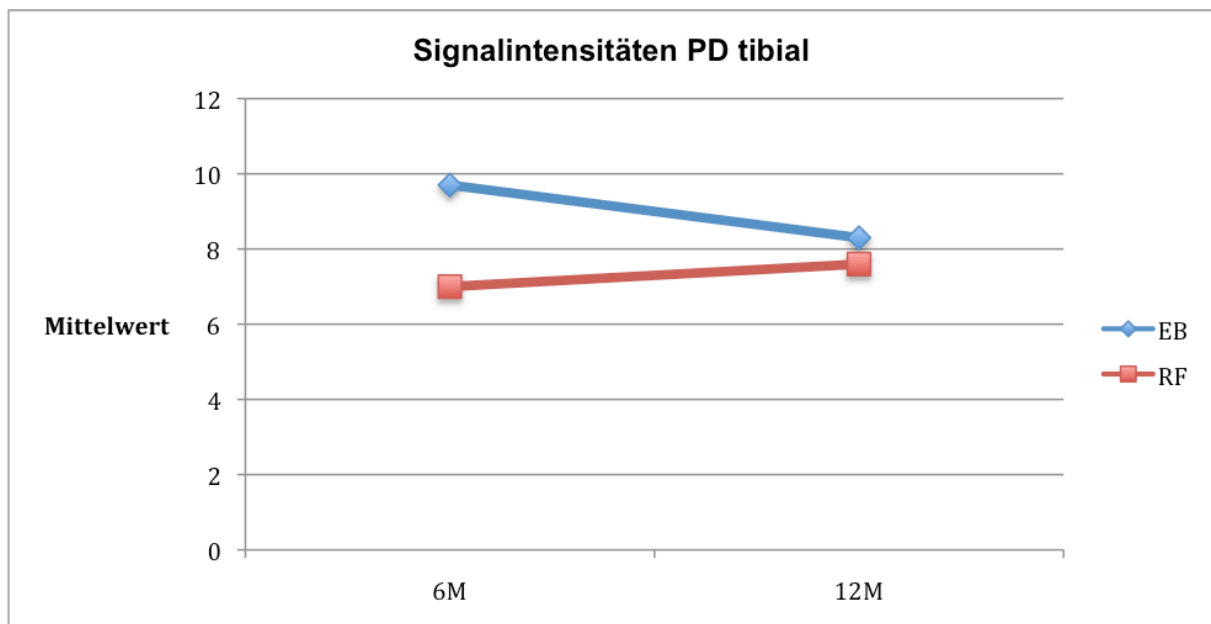
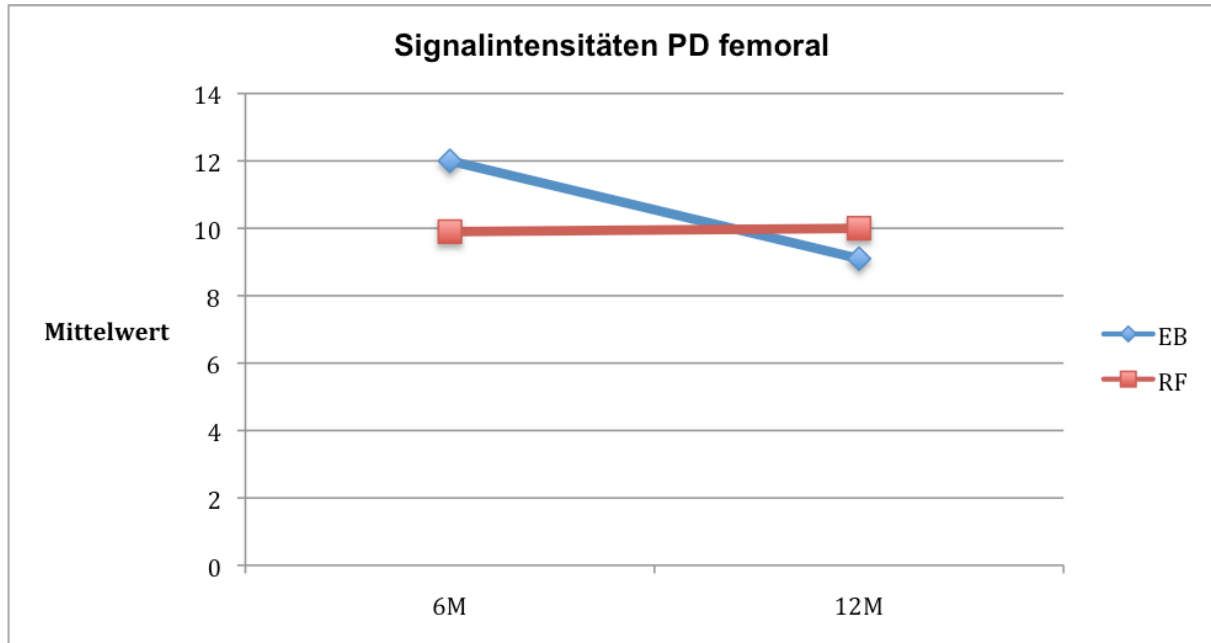
3.5.2 Signalintensitäten über die Zeit

Es wurden die Signalintensitäten in den femoralen und tibialen Tunneln, getrennt nach Fixationstechnik, über den 12 Monatszeitraum beobachtet werden.



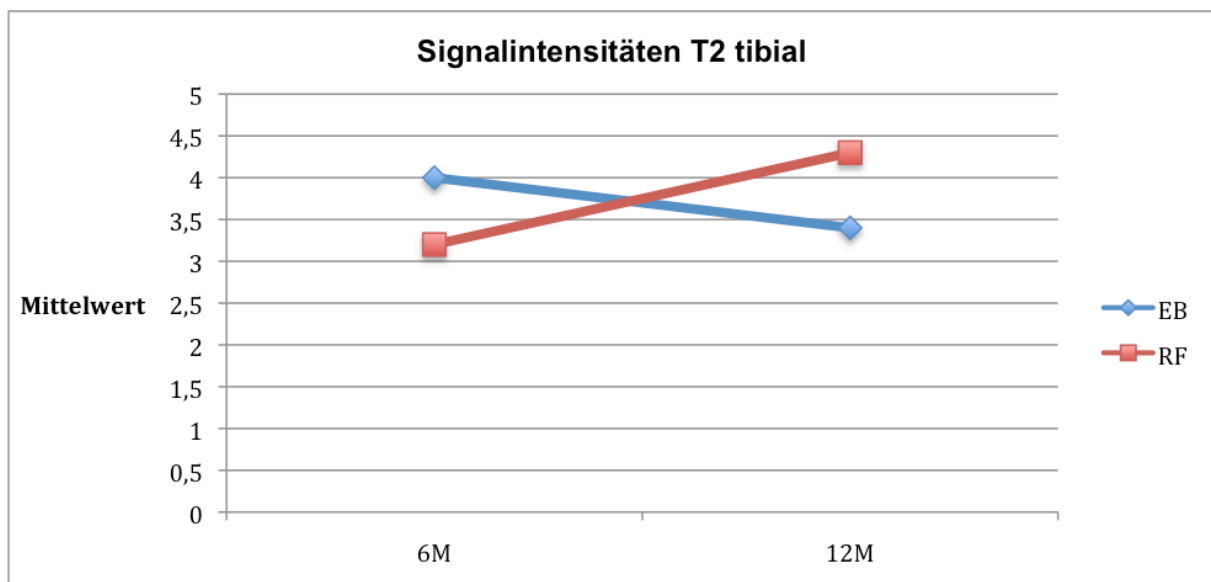
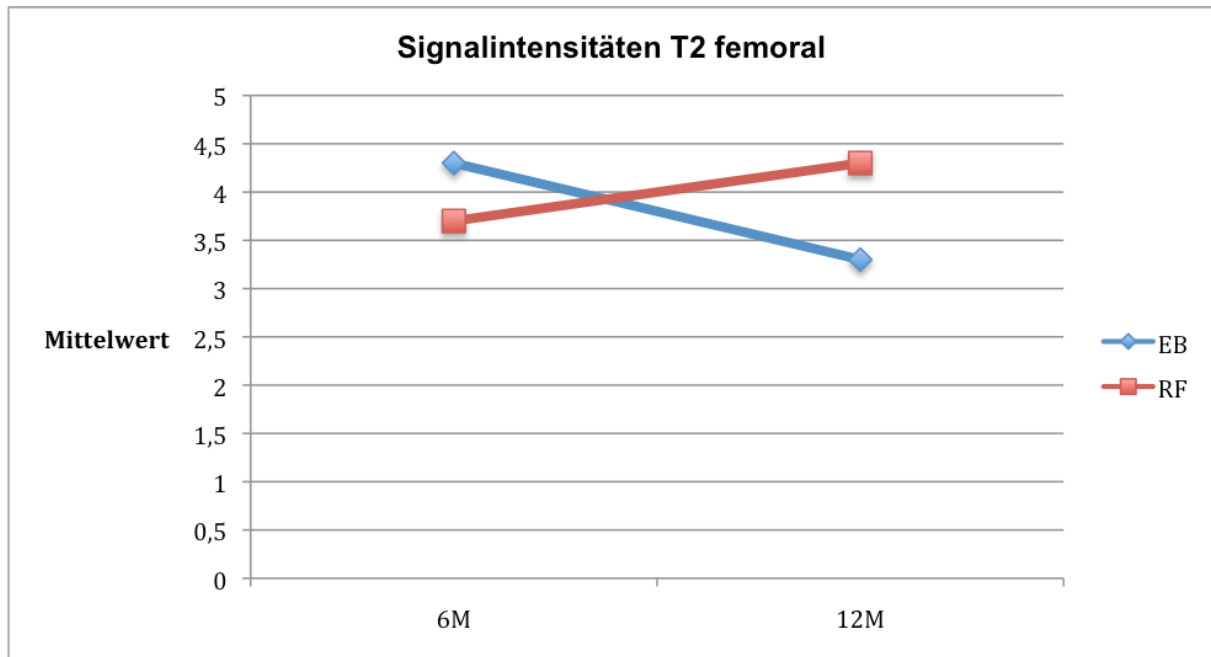
Grafik 20 und Grafik 21: Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der T1-Wichtung

Bei separater Betrachtung mittels paired-t-test einer jeden Technik-Gruppe gibt es weder femoral noch tibial eine signifikante Erhöhung der T1-Signalintensitäten von 6 zu 12 Monate post-OP (Signifikanzniveaus liegen zwischen 0.11 und 0.9).



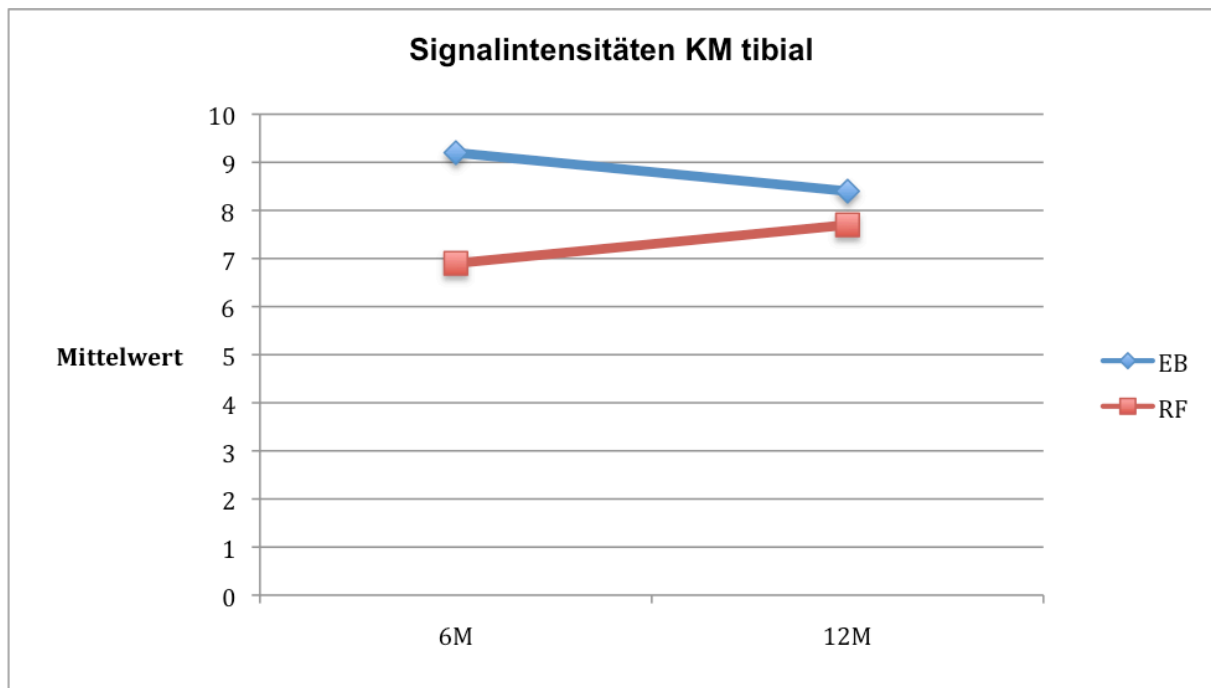
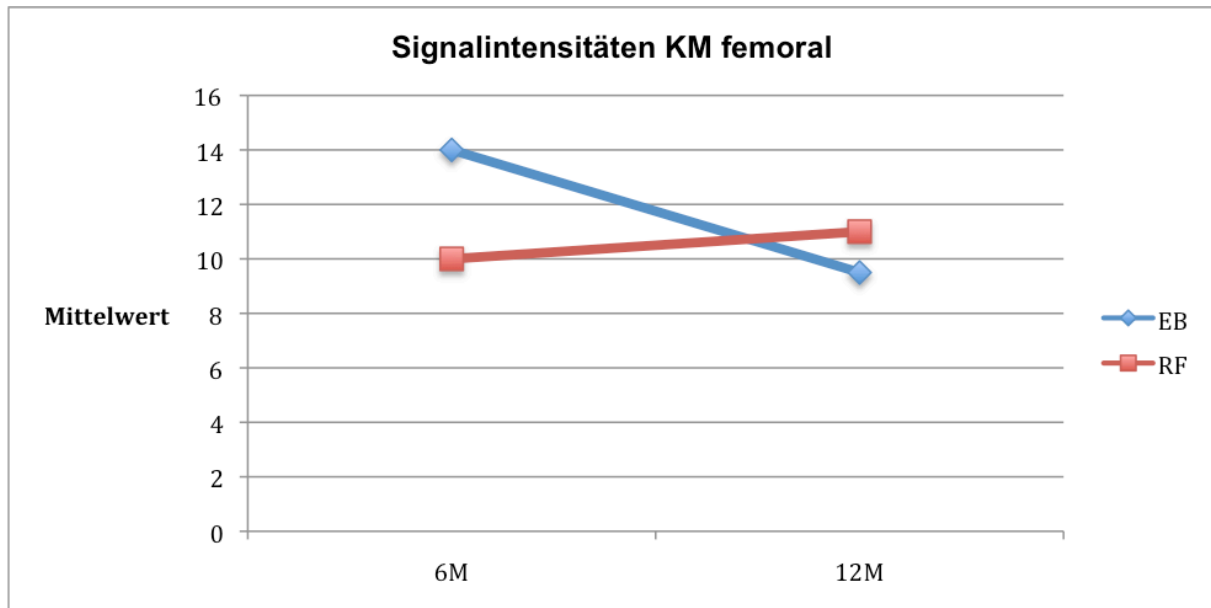
Grafik 22 und Grafik 23: Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der PD-Wichtung

Bei separater Betrachtung mittels paired-t-test einer jeden Technik-Gruppe gibt es weder femoral noch tibial eine signifikante Reduktion der PD-Signalintensitäten von 6 zu 12 Monate post-OP (p liegt zwischen 0.22 und 0.48).



Grafik 24 und Grafik 25: Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der T2 Sequenz

Bei separater Betrachtung einer jeden Technik-Gruppe mittels paired-t-test gibt es weder femoral noch tibial eine signifikante Reduktion der T2-Signalintensitäten von 6 zu 12 Monate post-OP (p liegt zwischen 0.26 und 0.95).

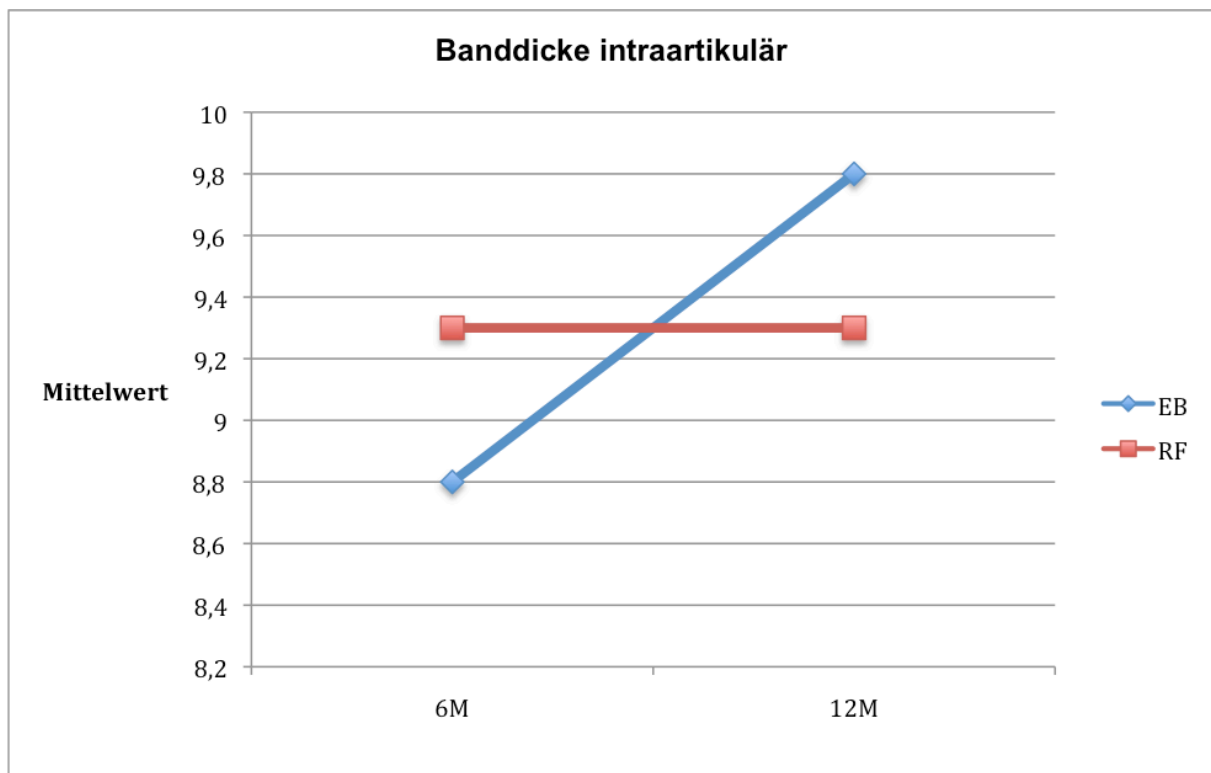


Grafik 26 und Grafik 27: Signalintensitäten im femoralen und tibialen Tunnel in der Kontrastmittelsequenz

Bei separater Betrachtung der Technik-Gruppen mittels paired-t-test gibt es in der EB-Gruppe weder femoral noch tibial eine signifikante Erhöhung der KM-Signalintensitäten (p über 0.14) von 6 zu 12 Monate post-OP, wo hingegen in der RF-Gruppe femoral eine signifikante Erhöhung der KM-Signalintensitäten von 6 zu 12 Monate post-OP zu sehen ist ($p= 0.017$), jedoch tibial nicht ($p=0.059$).

3.5.3 Dicke der Plastik intraartikulär über die Zeit

Diese Auswertung soll zeigen, ob es bei der Dicke der VKB-Plastik, intraartikulär gemessen, getrennt nach Fixationstechniken, zum Zeitpunkt 6 und 12 Monate postoperativ zu einer Veränderung gekommen ist.



Grafik 28: Intraartikuläre Plastikdicke und absoluter Zuwachs von t6 zu t12; getrennt nach Technik und Zeit, die longitudinale Datenstruktur ignorierend

Der Mittelwert der Dicke der intraartikulären Plastik ändert sich in der EB Gruppe von 8.8 ± 2.1 mm auf 9.8 ± 2.2 mm von t6 auf t12. In der RF Gruppe blieb der Mittelwert bei 9.3 (t6= 2.0mm und zum t12=1.8 mm). Weder in der EB-Gruppe ($p = 1.0$) noch in der RF Gruppe ($p= 0.870$) gibt es eine intraartikuläre signifikante Veränderung der Plastikdicke von t6 zu t12. Analysiert wurde mittels paired-t-test. Die Mittelwerte des absoluten Zuwachses liegen in der EB Gruppe bei 0 ± 1.2 mm und in der RF Gruppe bei 0.063 ± 1.6 mm.

4 Diskussion

Nach zahlreichen Publikationen in den letzten Jahren über die verschiedenen möglichen Transplantate und Fixationsverfahren für eine VKB Plastik beschäftigt sich diese Arbeit mit dem konkreten Vergleich zwischen der transfemorale, transversalen Pin-Fixation (RigidFix) und der extrakortikalen Anker-Fixation (EndoButton) der VKB-Plastik. Dafür konnten 67 Patienten in diese Studie aufgenommen werden. Es gab eine präoperative klinische Untersuchung, sowie jeweils eine klinische und kernspintomographische Untersuchung nach 6 und 12 Monaten.

Diese Evaluationsstudie hat ein prospektives Design.

Ein kritisch zu beachtender Aspekt dieser Studie ist die sich stark unterscheidende Anzahl an Patienten in den beiden Kollektiven. In der EB-Gruppe konnten 21 Patienten für diese Studie gewonnen werden, in der RF-Gruppe waren es 46. Dies ist zu erklären durch den Wechsel der Operationstechnik in diesem Zeitraum durch den Operateur. Es könnte zur Folge haben, dass ein zu kleiner Anteil an nachuntersuchten Patienten zu Fehlinterpretationen bezüglich des Operationsergebnisses geführt haben könnte⁵⁵.

Für die Einschätzung der Ergebnisse war es wichtig das Patientenkollektiv genau zu erfassen. Generell handelte es sich um sportlich aktive und hoch motivierte Patienten, die nach der Operation bestrebt waren, schnellst möglich wieder in die berufliche und sportliche Aktivität zurückzukehren. Um Unschärfen im Patientengut bestmöglich zu reduzieren, wurden alle Patienten, die ab Januar 2001 von 2 erfahrenen Operateuren operiert wurden und den Einschlusskriterien entsprachen, eingeschlossen.

Die Untersuchungen konnte immer unter nahezu identischen Verhältnissen durchgeführt werden. Die Patienten wurden alle von der gleichen Person, die keiner der Operateure war, nachuntersucht, um interindividuelle Interpretationsunterschiede sowie verschiedene Messtechniken zu vermeiden.

Vergleiche der vielen publizierten Studien zur Fixation von Sehnen bei vorderer Kreuzbandplastik werden als schwierig beschrieben, da es sich oft um verschiedene Studiendesigns mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen handelt⁵⁶. Petersen schreibt 2009, dass es sinnvoll wäre, internationale Standards zur experimentellen Testung einzuführen⁵⁶. Ebenfalls wird bemängelt, dass sich die Studien zum größten

Teil nur mit Teilaspekten der mechanischen Funktion, oft mit der femoralen Verankerung⁵⁷, nach vorderer Kreuzbandplastik beschäftigten. Der Ersatz müsste jedoch immer als Gesamtkonstrukt gesehen werden, da sich die Nachbehandlung in der Klinik an der schwächsten Komponente orientieren müsse^{56,58,59}.

Viele Publikationen beinhalten nur Untersuchungen 2 Jahre postoperativ oder später. Damit ist die vulnerable Phase des Konstruktes in der „Ligamentation“ bzw. während des Remodellings nicht überwacht. Zu fordern war deshalb eine Untersuchung, welche in dieser kritischen Zeit stattfinden sollte, möglichst mit kernspintomographischer Untersuchung, um die geweblichen Umbauten zu spezifizieren oder ein sich abzeichnendes Therapieversagen aufzudecken.

Eine Diskrepanz in der Kreuzbandchirurgie besteht weiterhin darin, dass zwar bis zu 85% aller Patienten gute bis sehr gute klinische Ergebnisse, ohne einen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Fixationsverfahren, zeigen^{60,61,62,63,64} aber nur ca. 50-65 % der Patienten das Aktivitätsniveau wie vor der Verletzung wieder erreichen können^{60,61,62,64}.

In verschiedenen Studien konnte belegt werden, dass das Alter bzw. die Qualität des Knochens sowie das verwendete Knochenmodell auf die mechanischen Eigenschaften des Konstruktes einen erheblichen Einfluss haben. Die signifikante Korrelation zwischen geringer Knochendichte und verminderter mechanischer Stabilität ist nachgewiesen^{58,65}. Brown et al.⁶⁵ zeigten mit ihrer Studie, dass das Knochenalter einen wesentlichen Einfluss auf die mechanische Stabilität des Konstruktes bei Fixation mit Interferenzschrauben hat. Woo et al.⁶⁶ bewiesen den Zusammenhang zwischen zunehmendem Patientenalter und abnehmender Stabilität des VKBs.

Präoperative Datenerhebung

Die Ergebnisauswertung unserer präoperativen klinischen Daten zeigt, dass es keine Unterschiede zwischen den zwei Behandlungsgruppen gegeben hat und ist Voraussetzung dafür, dass in den beiden Gruppen präoperativ gleiche Ausgangsbedingungen bestanden haben.

In einer Studie von MC Hugh et al. (1998)⁶⁷ wurde gezeigt, dass Patienten, welche präoperativ nach einer VKB- Ruptur ein Flexionsdefizit hatten, auch postoperativ länger brauchten um die volle Flexionskraft wiederzuerlangen als Patienten, bei

denen präoperativ kein Flexionsdefizit bestanden hatte. Bei der Extension konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden.

Fixationsverfahren im Vergleich

Gelenksferne Fixationen können in direkte und indirekte eingeteilt werden. Direkt heißt, dass das Transplantat mit einer Schraube oder einer Krampe direkt am Knochen befestigt wird. Indirekt bedeutet, dass das Transplantat über eine Schlaufe aus Fadenmaterial an einem Anker, einer Schraube oder einer Krampe befestigt wird (z.B. EndoButton). Dadurch können kürzere Transplantate verwendet werden⁵⁶. Bei der indirekten Verankerung können zwei verschiedene Gegebenheiten der Laxizitätszunahme des Transplantates zugrunde liegen. Das Transplantat an sich oder die Verankerungskomponenten können an Länge zunehmen^{68,69,70,71}.

Damit hängt die Festigkeit in hohem Maße von dem verwendeten Fadenmaterial ab⁷². Da sich in den letzten Jahren das Fadenmaterial stark verbessert hat, beträgt die maximale Last eines mit EndoButton fixierten Transplantates je nach Studie zwischen 864 N bis 1086 N. Auch in zyklischen Tests zeigte sich hier weniger Elongation als bei der Fixation mit einer Interferenzschraube⁵⁶. Als Nachteil der extrakortikalen, indirekten Fixationen wird die geringe Steifigkeit angesehen⁷³. Die Steifigkeit der Fixation wurde als sehr wichtig erkannt, da die Mikrobewegungen zwischen Tunnel und Transplantat die Knochen-Sehnen-Heilung beeinflussen und longitudinalen Mikrobewegungen eine Tunnelerweiterungen („Bungee cord effect“) herbeiführen können⁵⁶.

Goradia et al. (2000)⁷⁴ konnten am Schafsmodell unter Verwendung einer gedoppelten Semitendinosussehne mit femoraler EndoButton- und tibialer Spongiosafixation als Kreuzbandersatz im ersten postoperativen Jahr einen histologischen Umbauprozess nachweisen, der sich dem feingeweblichen originären Kreuzband sehr annähert.

Hoffmann et al. (1998)⁷⁵ fanden bei 35 Patienten nach Kreuzbandersatzplastik mit vierfach gelegter Semitendinosussehne und femoraler EndoButton-Fixation (durchschnittliche Nachuntersuchungszeit 23 Monate) gute Ergebnisse im Hinblick auf die erzielte Stabilität: Präoperativ ermittelten die Autoren einen mittleren KT-1000-MMD-Wert von 7,5 mm (vorliegende Untersuchung: 4,3 mm), 23 Monate p.o. einen mittleren MMD-Wert von 1,9 mm (vorliegende Untersuchung 6 Monate p.o.: 2,1 mm und 12 Monate p.o.: 0,43mm).

Gelenksnahe Fixationen (z.B. Interferenzschraube) verankern das Transplantat direkt auf Gelenkshöhe (andere Bezeichnung: Öffnungsfixation). Einige Autoren beschreiben diese Fixation als anatomisch.

Die Fixation mit transfemorale Pins kann in keine der beiden Gruppen eingeordnet werden und wird von einigen Autoren als semianatomisch bezeichnet. Die Verankerung mit RigidFix-Pins erfüllt jedoch die Kriterien einer Öffnungsfixation, da hierbei 2 Pins verwendet werden, wobei der eine nahe der Gelenkshöhe zum Liegen kommt⁵⁷.

Eine Studie von Woo et al.⁶⁶ zeigte, dass bei der Fixation mit RigidFix-Pins der erste Pin die Festigkeit bestimmt, der zweite an der Festigkeit nichts mehr ändert, jedoch als Sicherheit im Falle eines Versagens des ersten Pins steht.

In einer Studie von McKeon et al.⁷⁶ wurde die sichere Zone für die Einbringung des Führungsdrahtes zur Fixation der femoralen Pins bestimmt, bei der keine Gefäße und Nerven (N. saphenus, N. peroneus und A. femoralis) verletzt werden können. Es ergab sich hierbei eine Spanne von +20° (0° wäre parallel zur Gelenkshöhe) und -40°.

Shen et al. (2009)⁷⁷ zeigten in einer Studie an 20 Schweineknieen, bei denen 10 eine femorale Fixation mit EndoButtons und 10 eine femorale Fixation mit transversalen Pins erhielten, dass sich die beiden Fixationssysteme in den Kriterien maximale Belastungsgrenze, Festigkeit und maximale Zugkraft nicht signifikant unterscheiden. Es zeigte sich jedoch eine signifikant geringere Femur-Plastik-Tibia- Dislokation in der Pin-Fixationsgruppe als in der EndoButton-Gruppe.

In einer kontrollierten randomisierten Studie zum Vergleich verschiedener Fixationstechniken bei VKB-Plastik von Harilainen et al. (2009)⁷⁸ wurden 120 Patienten in 4 Gruppen geteilt. 2 Gruppen erhielten eine femorale Fixation mit RigidFix- Pins und 2 Gruppen eine BioScrew Interferenzschraube. Die tibiale Fixation erfolgte jeweils einmal mit Intrafix und einmal mit BioScrew Interferenzschrauben. Im Vergleich der Techniken zeigten sich 2 Jahre postoperativ keine klinisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden femoralen Fixationen. Zu gleichen Ergebnissen kamen Stengel et al.⁷⁹ in 2009. Sie untersuchten 54 Patienten, ebenfalls in einer kontrolliert randomisierten Studie, mit teils femoraler Pin-Fixation und teils femoraler bioresorbierbarer Interferenzschrauben-Fixation nach einem und zwei Jahren nach. Es wurden der IKDC-Score, die KT-1000-Messung und weitere Scores erhoben. Die

Ergebnisse ließen keinen signifikanten Unterschied in den untersuchten Kriterien zwischen den beiden Gruppen erkennen.

In den biomechanischen Eigenschaften unterschied sich die Fixation mit dem EndoButton nicht von den transversalen Fixationsverfahren⁵⁶.

Klinische Ergebnisse

Die KT-1000-Messung ist ein objektives Instrument zur Quantifizierung des tibialen Vorschubes gegen den Femur und damit für die Stabilität des vorderen Kreuzbandes⁸⁰. Die Durchführung der KT-1000-Messung hat bei einem sehr geübten Untersucher eine Spezifität von 100% und eine Sensivität von 98%⁸¹. Ein Nachteil des KT1000-Arthrometer ist, dass nur die Stabilität in ap-Richtung gemessen wird. In unserer Studie wurde die Messung immer von der gleichen Person durchgeführt und von einer weiteren, ebenfalls nicht wechselnden Person, unabhängig kontrolliert. Es zeigten sich fast keine Diskrepanzen zwischen den gemessenen Werten.

Blagojevic et al. zeigten in einer Studie, in der sie 30 Patienten mit Hamstringplastik und einer femoralen Rigid-Fix-Pinfixation nachuntersuchten, gute Ergebnisse im Lysholm-Score. 85% waren im exzellenten und 15 % im sehr guten Bereich⁸². Ahn et al.⁸³ erhielten ebenfalls gute bis sehr gute Ergebnisse bei 117 Patienten durchschnittlich 2,5 Jahre nach Hamstringplastik mit RigidFix-Fixation im Lachmann-Test, Pivot-Shift-Test und der KT-2000-Messung. Sie beschreiben, dass in 93,1% die ventrale tibiale Translation unterbunden werden konnte.

Der IKDC-Score wurde entwickelt, um Mängel wie Nicht-Vergleichbarkeit zu minimieren. Nach Ansicht einiger Autoren bewertet z.B. der Lysholm-Score das postoperative Ergebnis eher zu gut, während die Ergebnisse der IKDC-Qualifikation als angemessen beurteilt wurden⁵⁰.

Eine Problematik ist die Art der Patientenbefragung mittels z.B. IKDC-Score, Tegner-Scores und Lysholm-Scores. Eine genaue Unterweisung und Erklärung des Bogens sollte vor dem Ausfüllen durch den Patienten stattfinden. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist ansonsten nicht gewährleistet. Ein motivierter Sportler würde wahrscheinlich seine Situation (z.B. zu welcher Tätigkeit/Sport er fähig wäre) anders einschätzen und bewerten als z.B. eine Person, die keinen Sport betreibt. Die Problematik wurde bereits 1997 von Höher et al.⁸⁴ erkannt und beschrieben. In einer Studie verglich er selbständig ausgefüllte Fragebögen mit solchen, welche unter Anleitung ausgefüllt wurden (z.B. Lysholm-Score). Es bestand eine signifikante

Differenz zwischen den beiden Kollektiven. Die selbstständig ohne Anleitung ausgefüllten Bögen ohne Anleitung führten in 31% zu einer schlechteren Eingruppierung. Wir haben dieses Problem umgangen, indem wir die Bögen selbst ausgefüllt haben und den Patienten die einzelne Punkte vor der Beantwortung genau erklärt haben.

Die Erfassung zum t6 des IKDC-Scores, des Tegner-Scores, des Meyer-Scores und des Lysholm-Score muss vor dem Hintergrund der im Nachbehandlungsschema geforderten sportlichen Limitierung bis zu diesem Zeitpunkt gesehen werden.

Als Zusatz zu den gewählten Scores haben wir einige für uns interessante Elemente des IKDC-Scores (z.B. Schwellung und Schmerzen bei Belastung, Startschmerz und ein Giving Way) aufgegriffen und eliminiert um eine individuelle Vergleichbarkeit besser zu gewährleisten. Hierbei zeigten sich in beiden Gruppen gute Ergebnisse zum t6 und t12 (von „Ich kann mit meinem Knie fast alles machen, was ich möchte“ bis „Ich kann uneingeschränkt alles mit meinem Knie machen“). Zwischen den beiden Gruppen zeigten sich im Verlauf keine signifikanten Unterschiede, was von der subjektiven Zufriedenheit her zu diesen Zeitpunkten auf eine Gleichheit schließen lässt.

Kernspintomographische Parameter

Zur quantitativen Bestimmung der Knochenkanäle eignen sich Schnittbildverfahren wie CT und MRT besser als native Röntgenbilder⁸⁵. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung und der besseren Aussagekraft zum Sehnenransplantat und Reflux haben wir in unserer Studie die MRT bevorzugt. Auch der Resorptionsgrad der Pins ließ sich mittels MRT sehr gut darstellen. Bei einer MRT-Untersuchung des Kniegelenkes werden zur optimalen Interpretation von Bändern und Menisken sagittale, coronare und axiale Schnittbilder gefordert⁸⁶. Der Abbau resorbierbarer Fixationssysteme folgt in vivo nicht immer dem Beispiel von Tiermodellversuchen⁸⁷.

In unserer RF Versuchsgruppe waren die Pins 12 Monate nach OP im MRT gut abgrenzbar und allenfalls fragmentiert - allerdings ohne Granulomsäume. Die klinische Untersuchung der Knie mit gebrochenen Pins zeigte keinen signifikanten Unterschied zu den Knien mit intakten Pins (siehe Abbildung 12). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cossey et al.⁸⁸ in einer Studie.

Choi et al.⁸⁹ untersuchten 31 Patienten nach 6 Monaten postoperativ mit Hamstringplastik mit RigidFix-Fixation nach und fanden in 12 Patienten mindestens

einen gebrochenen Pin. Bei diesen 12 Patienten zeigten sich erhöhte Werte in der KT-1000-Messung im Vergleich zu den 19 Patienten, bei denen die Pins nicht gebrochen waren. Lachmann und Pivot-Shift-Test zeigten jedoch keinen signifikanten Unterschied. Auffällig war in dieser Studie, dass alle gebrochenen Pins mit der Pin Spitze durch die posteriore Kortikalis des Femurs reichten, die intakt gebliebenen Pins jedoch in der Mehrzahl der Fälle nicht.

Chen et al.⁹⁰ untersuchten in einer Fallstudie eine 32-jährige Patientin, die 2 Jahre nach Hamstringplastik mit Doppel-Pin-Fixation ein Fremdkörpergefühl im Kniegelenk verspürte. Kernspintomographisch konnte angenommen werden, dass es sich bei dem Fremdkörper um Teile der Fixationspins handelte, die in die Notch disloziert waren.

Die in unserer Studie in der EndoButton-Gruppe vermehrt gefundenen Flüssigkeitssäume scheinen keine klinische Bedeutung zu haben, weisen jedoch auf einen unterschiedlichen Einheilungsverlauf zwischen beiden Methoden hin⁹¹.

Das sich bildende Synovialgewebe und die Revasaskulisierung entwickeln sich kontinuierlich (ab 2-3. Monat). Daher sollten die T1 Aufnahmen und die Aufnahmen mit Kontrastmittel nach 6 Monaten eine mäßig erhöhte Signalintensität zeigen⁹². Die PD und T2- Sequenzen sollten eine geringere Signalintensität zeigen. Nach 12 Monaten sollte sich das Ödem im Vergleich zu 6 Monaten verringert haben (Abnahme der Signalintensitäten T2 und PD, leicht höheres oder gleiches Signal in T1), das Granulationsgewebe sollte kräftiger werden (Zunahme der Signalintensität in den Postkontrastmittelaufnahmen).

Bei Betrachtung der beiden Gruppen zeigten sich diese Effekte in unserer Studie nicht. Es kam zu keiner signifikanten Reduktion der Signalintensitäten im PD und im T2 von 6 auf 12 Monate und zu keiner signifikanten Erhöhung der Signalintensitäten im T1 und in den Postkontrastmittelserien von 6 auf 12 Monate.

Die MR-Signalintensitäten einer Semitendinosussehnplastik ähneln denen einer Patellarsehnplastik, jedoch muss hierbei berücksichtigt werden, dass es durch die 4-fach gelegten Sehnen zu zarten hyperintensiven Längsstreifen kommen kann, die keinesfalls als Partialruptur fehlinterpretiert werden dürfen^{93,94}.



Abbildung 11: Hamstringplastik nach 6 Monaten mit hyperintensiven Längsstreifen in der Plastik

In den ersten postoperativen Monaten hat sich gezeigt, dass die Plastiken avaskulär sind und somit sich eine niedrige Signalintensität in den Pulssequenzen im MR zeigen⁶⁸. Im Laufe der Zeit wächst synoviales Gewebe und die vaskuläre Versorgung wird sichergestellt³⁴. Dabei steigen die Signalintensitäten an. Der Ligamentationsprozess beginnt ca. 6 Monate postoperativ und kann bis zu 18 Monaten postoperativ andauern. In dieser Zeit kommt es zur einer vollständigen Revaskularisierung und Resynovialisierung der Plastik. Durch die histologischen Umbauprozesse ist die Bandplastik in diesem Zeitraum geschwächt und besonders anfällig für Schädigungen bis hin zu Rupturen⁹⁴. In unserer Studie kam es bei zwei Patienten aus der RigidFix- und einem Patient aus der EndoButton-Gruppe innerhalb der ersten 12 Monate zu einer Verletzung bis hin zur Reruptur der VKB-Plastik. Nach diesem Prozess erscheint die Bandplastik in ihren Signalintensitäten gleich einem nativen vorderen Kreuzband⁹². Dieser Prozess ist bei den Patellarsehnenentransplantaten und den Hamstringsehnenentransplantaten fast identisch⁹⁴.



Abbildung 12: Gebrochener, beginnend resorbierter femoraler Pin nach 6 Monaten

Komplikationen

Bei Fixationstechniken von Kreuzbandplastiken spielen neben primärer Festigkeit auch Sicherheit, technische Durchführbarkeit und die biologische Verträglichkeit eine Rolle. Das bereits in den 90ern beschriebene tunnel widening wurde zunächst auf einen Reflux von Synovialflüssigkeit⁹⁵ bei Ethylenoxid-sterilisierten Allografts zurückgeführt. Dass Reflux von Synovialflüssigkeit das Bonding von Sehne und Knochen im Kanal stören kann, zeigt die Studie von Demirag et al.⁹⁶, bei welcher die tierexperimentelle Blockade von Metallo-Proteinasen die Sehneneinheilung verbessern konnte. Einen biomechanischen Ansatz verfolgte die Studie von L'Insalata et al.⁹⁷ und fand, dass ein TW bei Hamstringtransplantaten häufiger auftrat als bei Patellarsehnen. Als weiterer Faktor wurde der Fixationspunkt des Transplantates in Studien untersucht. Je weiter der Fixationspunkt sich von der Gelenklinie entfernt, desto mehr Beweglichkeit weist das Transplantat im Knochentunnel auf. Dieser Effekt wurde als „Bungee-Cord“ oder „Windshield Wiper“ definiert^{97,98}. Der Gegenbeweis wurde jedoch von Buelow et al.⁴⁷ und Clatworthy et al.⁹⁹ erbracht. Diese fanden dass ein TW durch gelenknahe Fixation nicht verhindert werden konnte. Allerdings können die zur gelenknahe Fixation verwendeten

Interferenzschrauben selbst schon eine Ursache für ein TW sein⁴⁷. Als weitere Ursache haben Yu et al. das Rehabilitationsprotokoll untersucht und signifikant höhere TW Raten bei aggressiver Nachbehandlung von Kreuzbandplastiken gefunden^{46,100}. Dass Bewegung bei der Entstehung des TW eine Rolle spielt zeigt die Studie von Rodeo et al.¹⁰¹ mit Hinweis auf eine langsamere Sehnen-Einheilung am Tunneleingang im Vergleich zum gelenkferneren Tunnelausgang. Hier konnte im Tierversuch eine erhöhte Osteoklastenaktivität im Bereich der Resorptionszonen nachgewiesen werden. Allerdings fand keine Studie einen Einfluss des TW auf das klinische Ergebnis^{47,99,102,103}. Letztendlich ist unbestritten, dass es sich bei der Entstehung des TW um ein multifaktorielles Geschehen handelt, das nicht zwangsläufig eine klinische Bedeutung zu haben scheint^{47,99}. Darin sehen wir auch die Einschränkungen in der Aussagekraft klinischer Studien.

Der Zusammenhang zwischen Fixationstechnik und TW wurden in mehreren Studien untersucht. Kuskucu et al.¹⁰⁴ fanden beim Vergleich zwischen femoraler EndoButton und Crosspin-Fixation eine leicht höhere TW-Rate in der EndoButton Gruppe. Diverse Studien haben gezeigt, dass bei der Fixation mit Endobutton, falls es zu einem tunnel widening gekommen war, der femorale Tunnel besonders häufig betroffen war^{105,106,107,108}.

Klein et al.¹⁰⁹ fanden in einer einarmigen retrospektiven Analyse von Crosspin Fixationen ebenfalls ein TW, jedoch ebenfalls ohne klinisches Korrelat.

Zysk et. al. (2000)¹¹⁰ fanden in einer Studie bei 29 Patienten (durchschnittlich 28 Monate postoperativ) die durch eine dreifach gelegte Semitendinosussehne mit femoraler EndoButton-Fixierung eine vordere Kreuzbandersatzplastik erhielten, keinen Zusammenhang zwischen den ebenfalls femoral und tibial deutlich ausgeprägten Tunnelerweiterungen und einem Verlust an vorderer Kniegelenksstabilität.

In unserer Studie konnte in beiden Gruppen kein wesentliches TW nachgewiesen werden. Hierbei ist anzumerken dass wir in Kenntnis der Rolle des synovialen Reflux eine besonders knappe Bemessung des Sehnentransplantates zum Bohrkanal vorgenommen haben. Das Sehnentransplantat sollte sich idealerweise nach der Präparation nur mit größerer Kraftanstrengung durch relativ enge Knochenkanäle ziehen lassen, um somit eine bessere Abdichtung gegenüber Synovialflüssigkeit gewährleisten. Zur Prävention eines TW wurde von Robert et al. die Verwendung

eines Periostlappens klinisch erfolgreich angewendet¹¹¹. Ob die Verdichtung des Knochens im Knochenkanal eine präventive Rolle zur Vermeidung eines TW spielt wird kontrovers diskutiert^{112,113}.

Die Anzahl der anderen aufgetretenen postoperativen Komplikationen in unserer Studie war verhältnismäßig gering. Eine Komplikation nach VKB-Plastik ist die Arthrofibrose, die definitionsmäßig mit einem anhaltenden Extensionsdefizit von mehr als 10 ° und Flexionsdefizit von mehr als 15 ° des Kniegelenkes einhergeht^{114,115}. Die Ätiologie der primären Arthrofibrose wird nach wie vor kontrovers diskutiert¹¹⁶. Zum ersten Mal wurde sie 1990 von Jackson beschrieben¹¹⁷. Kernspintomographisch lässt sich die Arthrofibrose am besten im sagittalen T2 identifizieren⁹⁴.

Das Cyclops-Syndrom ist eine sekundäre Form der Arthrofibrose (anteriore Arthrofibrose). Hierbei kommt es beim Versuch der Extension des Kniegelenkes durch die gebildete Narbenformation zwischen Femur und Tibia zu einem Notchimpingement¹¹⁸. Die Cyclops-Läsion kann von einem nicht resezierten Stumpf des nativen VKBs, von einer infrapatellaren Fettkörpermetaplasie, einer interkondylären Fibrose oder von der Plastik selbst ausgehen¹¹⁹. Histologisch hat sich in einigen Untersuchungen gezeigt, dass diese Struktur knöcherner, knorpeliger, fibröser und synovialer Anteile beinhalten kann¹²⁰.

Mayr et al.¹²¹ untersuchten in einer Studie 223 Patienten, die nach vorderer Kreuzbandplastik eine Arthrofibrose erlitten und anschließend eine Arthrolyse erhielten. Bei 70% der Patienten zeigte sich eingeschränkte Bewegungsfreiheit. Bei 30% zeigte sich ein Cyclops-Syndrom. Die Untersuchungen zeigten, dass präoperative Schmerzen und eingeschränkte Bewegungsfreiheit eine postoperative Arthrofibrose nach VKB-Plastik begünstigen zu scheinen. Daher sollte mit Kryotherapie, NSARS und Physiotherapie in solchen Fällen schon präoperativ begonnen werden. Laut Autoren sollte nach Auftreten einer Arthrofibrose die Arthrolyse schnellstmöglich, jedoch zumindest im ersten Jahr erfolgen. Eine Patientin aus der RigidFix-Gruppe unserer Studie wies eine anteriore Arthrofibrose („Cyclops-Syndrom“) auf, welche durch eine arthroskopische Arthrolyse behoben werden konnte.

Bei einer unserer Patientinnen trat eine lokale Reizung über den femoral eingebrachten Pins auf, da diese sich leicht aus dem Knochen dislozierten. Es zeigte sich hierdurch keine Lockerung der Plastik. Die Beschwerdesymptomatik konnte

durch eine Abtragung der Pinanteile, die über den Knochen überstanden, behoben werden. Gleiches Ergebnis beschreiben auch Marx et al.¹²² in einer Fallstudie. Bei keinem der Patienten kam es zu einer Infektion des Kniegelenkes.

Es zeigte sich bei keinem der Patienten ein Impingement der Plastik in der Notch. Ein Notchimpingement kann durch eine Fehlplatzierung der Bohrkanäle bedingt sein. Vor allem wenn der tibiale Tunnel zu weit anterior platziert wurde.

Uzümcügli et al. (2009)¹²³ führten eine retrospektive Studie an 30 Patienten, die alle eine VKB-Plastik mit transfemorale Pin-Fixation erhalten hatten durch um den Einfluss von femorale und tibiale Tunnelplatzierung zu untersuchen. Sie fanden heraus, dass die Tunnelplatzierung, vor allem die tibiale, einen erheblichen Effekt auf die Kniefunktion hat.

Saowaprut et al.¹²⁴ (2009) verglichen in einer Studie 70 Patienten mit vorderer VKB Plastik mit Patienten mit noch nativem VKB. Unter anderem wurde kernspintomographisch der Winkel in dem das VKB durch die Notch zieht bestimmt. In der nativen Gruppe zeigte sich ein durchschnittlicher Winkel von 50°, in der postoperativen Gruppe ein Mittelwert von 58°. Die vertikalere Lage der VKB Plastik brachte keine Nachteile in der KT-1000-Messung und dem Lysholm-Score im Vergleich zur nativen Gruppe, so lange es nicht zu einem Notchimpingement kam.

Nachbehandlungsschemata

Die physiotherapeutische Nachbehandlung hat einen großen Einfluss auf die Stabilität der Plastik sowie auf die postoperative Beweglichkeit.

Der mechanische Anspruch an das Konstrukt ist in den letzten Jahren (gerade innerhalb der ersten 6 Monate) stark gestiegen. Der Wunsch möglich schnell wieder zum ursprünglichen Aktivitätsniveau zurückzukehren steht dabei an erster Stelle.

Über den zeitlichen Beginn der Übungen, die über eine Bewegungsschulung bzw. Erlangung des vollen Bewegungsumfanges hinausgehen sowie deren Belastungsnormative, herrscht keine Einigkeit.

Teils hat sich eine aggressivere Rehabilitation durchsetzen können, um eine Muskelatrophie, Bewegungsdefizite, Kapselkontrakturen, Arthrofibrose, Schmerzen und Schwellung zu vermindern^{125,126,127}. Die direkt postoperative Vollbelastung mit uneingeschränkter Bewegungsfreiheit und früher Beginn mit Kräftigungsübungen wird auch als akzelerierte Rehabilitation bezeichnet¹²⁷.

Neuere Studien zeigten aber, dass eine frühe und belastende Rehabilitation bei der STS-Plastik, insbesondere bei der EndoButton-Fixation, ein höheres Risiko der viskoplastischen Längenzunahme bzw. erneuten vorderen Instabilität bringt^{37,128}. Valada et al.¹²⁹ konnten zeigen, dass sich postoperativ der Durchschnitt des femoralen Tunnels in der Gruppe mit einer moderaten Rehabilitation von 9,04 mm auf 9,3 mm vergrößerte. In der Gruppe mit der akzelerierter Rehabilitation vergrößerte er sich jedoch von 9,04 mm auf 9,94 mm.

Auch Hantes et al.⁴⁵ bestätigten diese These.

Yasuda et al. zeigten in einer Studie mit 65 Patienten, dass es nach vorderer Kreuzbandplastik mit Hamstringsehnen zu einer signifikanten Abnahme der Beugekraft in den ersten postoperativen Monaten kam. Hingegen nahm die Quadrizepstätigkeit auf der kontralateralen Seite bis auf 120% Leistung zu¹³⁰. Viele andere klinischen Studien haben gezeigt, dass die Hamstringsehnen im Verlauf wieder nahezu regenerieren, im Ansatz jedoch etwas weiter proximal²⁷.

Eriksson et al. (2001)¹³¹ fanden ein Jahr p.o. nach Semitendinosussehnenentnahme weiterhin Kraftdefizite der Flexorenguppen. Andere Studien zeigten hingegen, dass die Defizite in der Flexorenkraft durch Hypertrophie der umliegenden synergistischen Muskeln (M. biceps femoris und M. semimembranosus) kompensiert wurden mit proximalem Aufwachsen des Muskelbauches^{131,132,133,134}.

In der Studie von Ageberg et al. (2001)¹³⁵ wurde der Muskelstatus von Patienten nach vorderer Kreuzbandersatzplastik in Abhängigkeit des Nachbehandlungsschemas untersucht. Das Kollektiv von 63 Patienten (mittleres Alter 24 Jahre) wurde nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen eingeteilt: Die eine Gruppe trainierte nach stationärer Entlassung unter fachkundiger Aufsicht, während die andere Gruppe ein Aufbauprogramm in „Eigenregie“ durchführte. Der seitenvergleichende Muskelstatus wurde drei, zwölf und 36 Monate p.o. erhoben. In der Patientengruppe, die das muskuläre Aufbauprogramm in „Eigenregie“ durchführte, zeigten sich Defizite insbesondere im M. quadrizeps-Bereich im Vergleich zur anderen Gruppe. Diese Ergebnisse sprechen für längerfristige, qualitativ hochwertige Rehabilitationsmaßnahmen.

Wir haben uns für eine moderate Rehabilitation entschieden. In den ersten beiden postoperativen Tagen wurde aus einem postoperativ angelegten Oberschenkelgipstutor heraus vorsichtig mit ersten passiven Bewegungsübungen begonnen. Ab dem 3. postoperativen Tag wurde mit einer Orthese eine

Winkellimitierung von 0-10-90° für 6 Wochen realisiert. Während der gesamten Rehabilitation war die Vollbelastung des Beines erlaubt und es fand eine intensive medizinische Trainingstherapie statt. Bei mitbehandelten Zusatzverletzungen wie Meniskusnähten oder Mikrofrakturierungen wurde die Reha entsprechend angepasst.

Fazit

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die neuere RigidFix-Technik mittelfristig zu gleichen klinischen Ergebnissen wie die EndoButton-Technik führt. Auch die subjektiven Stabilitätsparameter waren in beiden Gruppen äquivalent. Es konnten im MRT bezüglich eines tunnel widening keine Unterschiede nachgewiesen werden, dagegen fiel eine signifikant höhere Refluxrate in der EndoButton Gruppe auf, die jedoch keine klinische Relevanz zeigte.

Beide untersuchten Techniken sind vergleichbar und bieten sowohl Vorteile als auch Nachteile. Die EndoButton-Fixationstechnik ist ein etabliertes Verfahren mit validen Langzeitergebnissen und kommt ohne Kontakt zwischen Transplantat und Knochentunnel aus. Die Verwendung der neueren RF Pins bietet aus unserer Sicht praktische Vorteile. Das Instrumentarium ist einfach zu bedienen und die Präparation ist unkompliziert. Es handelt sich bei den Pins um ein geringvolumiges resorbierbares Material welches im Vergleich zu resorbierbaren Interferenzschrauben einen wesentlich geringeren Kontakt zum Transplantat hat. Dadurch, dass Knochenkanal und Transplantat durchspießt werden interferiert der Pin nur minimal mit der Knochen-Sehnen Kontaktzone. Dies könnte insofern wichtig sein, da resorbierbare großvolumige Implantate bisweilen zu erheblichen Granulomsäumen führen, was langfristig gesehen ein Problem bei Revisionseingriffen darstellt. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Vermeidung von Faktoren die zu einem tunnel widening oder zu einem synovialen Reflux geführt haben (z.B. aggressive Rehabilitation) gezielt umgangen werden können.

5 Zusammenfassung/Summary

Studienziel: Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes gehört zu den häufigsten Bandverletzungen des Menschen im jungen Alter. Aufgrund der hohen Inzidenz und der damit einhergehenden funktionellen Einschränkungen besteht ein anhaltendes Interesse an der Verbesserung bestehender bzw. Entwicklung neuer, besserer Techniken zur Rekonstruktion dieses kniestabilisierenden Bandes mit autologen Sehnen. Die stabile und biologisch verträgliche Verankerung des Sehnentransplantates stellt einen der wichtigsten Aspekte für die erfolgreiche Transplantateinheilung dar. Im Rahmen einer prospektiven Fallgruppenanalyse wurde ein Vergleich zwischen einer transversalen Pin-Fixation und einer extrakortikalen Anker-Fixation mit Hamstrings angestellt.

Material & Methoden: 67 Personen, mit einem mittleren Operationsalter von 33 Jahren wurden in eine prospektive Studie eingeschlossen und präoperativ klinisch sowie nach 6 und 12 Monaten postoperativ klinisch und kernspintomographisch untersucht. Alle Patienten erhielten eine autologe Sehnenplastik aus Hamstringsehnen. In einer Gruppe (21 Fälle) wurde der EB als Vertreter der gelenkfernen extrakortikalen Verankerung gewählt. In der zweiten Gruppe (46 Fälle) wurde eine gelenknahe Fixation mittels RF angewendet. Untersucht wurden folgende Aspekte:

- 1.) Klinische Untersuchungen: KT-1000-Messung, Lachmann-Test, Pivot-Shift-Test, Neutral-Null-Methode.
- 2.) Klinische Scores: IKDC-Score, Lysholm-Score, Tegner-Score, Meyers-Score.
- 3.) Kernspintomographie: Reflux, Knochenmarksödem ("bone bruise"), Kniegelenkserguss, Signalintensitäten der Bohrkanäle, Knochenkanalerweiterung ('tunnel widening' = TW).

Ergebnisse: Bei den klinischen Nachuntersuchungen zeigte die RF-Gruppe höhere Stabilitätswerte nach 6 Monaten (t6) in der KT-1000-Messung. Dies relativierte sich jedoch nach 12 Monaten (t12) wieder, wonach kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den Gruppen bestand.

Die subjektive Zufriedenheit der Patienten und damit die durchgeführten klinischen Scores zeigten für beide Gruppen vergleichbare Werte zu beiden Zeitpunkten ($p \geq 0.589$).

Die gemessenen kernspintomographischen Parameter unterschieden sich zu frühen Zeitpunkten leicht. In der Kategorie 'femorale Reflux' zeigten sich in der EB Gruppe zum t6 „geringe Säume“, die sich aber zum t12 in „keinen Reflux“ zu der RF Gruppe angleichen. Tibial zeigte sich in beiden Gruppen zu beiden Zeitpunkten „kein Reflux“. Es zeigte sich in keiner der beiden Gruppen ein TW.

Diskussion: Die Vertreter zweier unterschiedlicher Fixationstechniken zeigten im 12monatigen Zeitverlauf keinen wesentlichen Unterschied bei klinischen und MRT radiologischen Ergebnissen. Diskrete Unterschiede im Reflux von Synovialflüssigkeit und KT- 1000 Stabilität zum t6 weisen auf einen unterschiedlichen Einheilungsverlauf in der frühen Phase hin. Nach 12 Monaten gab es anhand der gemessenen Werte jedoch keinen Anhalt mehr auf eine unterschiedliche Integration der Transplantate. Beide Verfahren zeigen sichere Verläufe und erfolgreiche Ergebnisse bei unterschiedlichen Verankerungstechniken. Die Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass eine gelenkferne Verankerung alleine nicht für das Auftreten eines TW verantwortlich gemacht werden kann.

Aim: Anterior cruciate ligament rupture in young people is a common clinical presentation showing a high incidence and resulting in loss of function and disability. A stable and biological compatible fastening of a tendon graft in ACL reconstruction is a challenge for transplant fixations and causes the success of the tendon graft integration a lot. Within a prospective case group study, two hamstring fixation techniques, a pin fixation with RigidFix® (RF) and an anchor fixation with EndoButton™ (EB) were compared.

Method: 67 patients in the mean age of 33 years were included to the study group. Two series of patients were compared: Both groups underwent a preoperative clinical evaluation; a follow-up including a clinical re-evaluation and a MRI was performed after 6 and 12 months after surgery. All patients had received an autologous quadrupled semitendinosus and gracilis graft. In one group (N=21) EB was used for representing an ab-articular graft fixation. The second group (N=46) with RF was used to represent the juxta-articular fixation. Objective measurements for outcome were chosen:

- 1.) Clinically: KT-1000-arthrometric stability testing, Lachmann-test, Pivot-Shift-test, range of motion,
- 2.) Scores: IKDC-score, Lysholm-score, Tegner-score, Meyers-score,
- 3.) MRI: Reflux, bone bruise, knee joint swelling, signal intensity in the tunnel. Special interest was focused in the question of tunnel widening.

Results: The KT-1000 values for clinical outcome were slightly more stabile at t6 in the RF group but equalized later at t12.

Clinical scores and thereby the subjective impression of the patients showed comparable results for both groups at t6 and t12 ($p \geq 0.589$).

The results from MRI showed moderate differences between both groups in the early phases. The category femoral reflux showed slight minimal fringe in the EB group at t6 but aglined to “no reflux” together with the RF group at t12. The median for tibial reflux was stable for both groups at both times (“no reflux”). Tunnel widening was not detectable in neither of the groups.

Conclusions: The substitutes of both different fixation techniques showed no significant differences in clinical scores, clinical outcome and MRI results in a 12-month time course. Discrete varieties in the reflux rate and KT-1000 stability at t6 point at differences in the early integration process. There was no more indication of a different integration after 12 months from the measured values. Both procedures demonstrate to be safe and successful fixation techniques. The results also indicate that an abarticular graft fixation may not alone be responsible for tunnel widening.

6 Literaturverzeichnis

- ¹ Scheffler SU, Petersen W, Weiler A:
Fixation von Kreuzbandtransplantaten.
Arthroskopie. 2007;20:105-114.
- ² Wagner M, Scheffler SU, Weiler A:
Vorderer Kreuzbandersatz: Verankerung des Transplantats.
Arthroskopie. 2005;18:27-35.
- ³ Eberhardt C, Jäger A, Schwetlick G, Rauschmann MA:
History of surgery of the anterior cruciate ligament.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):702-709.
- ⁴ Rupp S, Kohn D:
Vorderes Kreuzband im Mittelpunkt des Interesses.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):701.
- ⁵ Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L:
Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries:
a national population-based study.
J Sci Med Sport. 2009 Nov;12(6):622-628.
- ⁶ Tillmann B, Petersen W:
Funktionelle Anatomie.
in: Orthopädie und orthopädische Chirurgie Knie.
Kohn, Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, 3-34.
- ⁷ Unthoff HK, Trudel G:
Skelettentwicklung und Reifung des menschlichen Knies.
in: Orthopädie und Orthopädische Chirurgie Knie.
Kohn, Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, 56-60.
- ⁸ Petersen W, Tillmann B:
Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):710-718.
- ⁹ Hunziker EB, Stäubli H-U, Jakob R:
Chirurgische Anatomie des Kniegelenkes.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 31-48.
- ¹⁰ Putz R, Mühlhofer H, Ercan Y:
Ligaments of the knee.
Orthopade. 2007 Jul;36(7):614-619.

-
- ¹¹ Letsch R:
Comparative evaluation of different anchoring techniques for synthetic cruciate ligaments. A biochemical anaanimal investigation.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1994;2(2):107-117.
- ¹² Kasperczyk WJ, Bosch U, Oestern HJ, Tscherne H:
Staging of patellar tendon autograft healing after posterior cruciate ligament reconstruction. A biomechanical and histological study in a sheep model.
Clin Orthop Relat Res. 1993 Jan;286:271-282.
- ¹³ Huiskes R, Blankevoort L:
Anatomie und Biomechanik des vorderen Kreuzbandes: Ein dreidimensionales Problem.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 96-114.
- ¹⁴ Bull AMJ, Amis AA:
Biomechanik.
in: Orthopädie und Orthopädische Chirurgie Knie
Kohn, Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, 45-62.
- ¹⁵ Friederich NF, O'Brein WR:
Zur funktionellen Anatomie der Kreuzbänder.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 80-92.
- ¹⁶ Fetto JF, Marshall JL:
The natural history and diagnosis of anterior cruciate ligament insufficiency.
Clin Orthop Relat res. 1980 Mar-Apr;147:29-38.
- ¹⁷ Noyes FR, Paulos L, Mooar LA, Signer B:
Knee sprains and acute knee hemarthrosis: misdiagnosis of anterior cruciate ligament tears.
Phys Ther. 1980 Dec;60(12):1596-1601.
- ¹⁸ Cross M, Crichton K:
Akute Knieverletzungen.
Untersuchung des verletzten Kniegelenkes.
Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 1990, 1-6.
- ¹⁹ Noesberger B:
Diagnose der frischen Ruptur und Erscheinungsbild der chronischen vorderen Instabilität.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 145-159.
- ²⁰ Müller W:
Behandlung der akuten Ruptur.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 285-294.

-
- ²¹ Diekstall P, Rauhut F:
Considerations for the indications for anterior cruciate ligament reconstruction.
Results of conservative versus operative treatment.
Unfallchirurg. 1999;102(3):173-181.
- ²² Burger C, Prokop A, Andermahr J, Jubel A, Rehm KE:
100 Jahre Kreuzbandchirurgie: Die Beantwortung der wichtigsten Fragen in
der Lieteratur der 90er Jahre.
AktTraumatol. 2000;30:73-87.
- ²³ Jakob RP, Warner JP:
Historische und aktuelle Perspektiven der Behandlung der Insuffizienz des
vorderen Kreuzbandes.
in: Kniegelenk und Kreuzbänder.
Jakob/Stäubli, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1990, 22-27.
- ²⁴ Richard J, Steadman J R:
Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.
in: The Crucical Pincipals in Care of the knee.
Wolters/Kluwer, Lippincott Williams & Wilkens, Philadelphia, 2008, 117-128.
- ²⁵ Hey Groves, E W:
Operation for the repair of crucial ligaments.
Lancet. 1917,2:674-675.
- ²⁶ Becker R, Röpke M, Nebelung W:
Anterior cruciate ligament reconstruction - graft options and fixation
techniques.
Zentralbl Chir. 2002 Oct;127(10):842-849.
- ²⁷ Weiler A, Scheffler S, Höher J:
Transplant selection for primary replacement of the anterior cruciate ligament.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):731-40.
- ²⁸ Tuman JM, Diduch DR, Rubino LJ, Baumfeld JA, Nguyen HS, Hart JM:
Predictors for hamstring graft diameter in anterior cruciate ligament
reconstruction.
Am J Sports Med. 2007 Nov;35(11):1945-1949.
- ²⁹ Mayr HO, Willkomm D, Petersen W:
Transplantatwahl.
in: Das vordere Kreuzband.
Petersen/Zantop, D. Ärzte-Verlag, Köln, 2009, 85-96.
- ³⁰ Lüring C, Bähthis H, Perlick L, Tingart M, Grifka J:
Reconstruction of insufficient anterior cruciate ligament.
Sportverletz Sportschaden. 2004 Sep;18(3):119-124.

-
- ³¹ Scranton PE, Lanzer WL, Ferguson MS, Kirkman TR, Pflaster DS:
Mechanism of anterior cruciate ligament neovascularization and
ligamentation.
Arthroscopy. 1998;14(7):702-716.
- ³² Falconiero RP, DiStefano VJ, Cook TM:
Revascularization and ligamentization of autogenous anterior cruciate ligament
grafts in humans.
Arthroscopy. 1998;14(2):197-205.
- ³³ Papageorgiou CD, Ma CB, Abramowitch SD, Clineff TD, Woo SL:
A multidisciplinary study of the healing of an intraarticular anterior cruciate
ligament graft in a goat model.
Am J Sports Med. 2001;29(5):620-626.
- ³⁴ Papakonstantinou O, Chung CB, Chanchairujira K, Resnick DL:
Complications of anterior cruciate ligament reconstruction: MR imaging.
Eur Radiol. 2003 May;13(5):1106-1117.
- ³⁵ Wagner M, Schmeling A, Weiler A:
Intraoperative Komplikationen beim VKB- Ersatz.
Arthroskopie. 2006;19:129-141.
- ³⁶ Karaoglu S, Halici M, Baktir A.:
An unidentified pitfall of Endobutton use: case report.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2002 Jul;10(4):247-249.
- ³⁷ Muneta T, Yagishita K, Kurihara Y, Sekiya I:
Intra-articular detachment of the Endobutton more than 18 months after
anterior cruciate ligament reconstruction.
Arthroscopy. 1999 Oct;15(7):775-778.
- ³⁸ Choi NH, Son KM, Victoroff BN:
A pitfall of transfix fixation during anterior cruciate ligament reconstruction.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 May;16(5):479-481.
- ³⁹ Armour T, Forwell L, Litchfield R, Kirkley A, Amendola N, Fowler PJ:
Isokinetic evaluation of internal/external tibial rotation strength after the use of
hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction.
Am J Sports Med. 2004 Oct-Nov;32(7):1639-1643.
- ⁴⁰ Burks RT, Crim J, Fink BP, Boylan DN, Greis PE:
The effects of semitendinosus and gracilis harvest in anterior cruciate ligament
reconstruction.
Arthroscopy. 2005 Oct;21(10):1177-1185.
- ⁴¹ Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M:
Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament
reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon.
Arthroscopy. 2002 Feb;18(2):177-1782.

-
- ⁴² Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N:
Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest.
Am J Sports Med. 2003 Jul-Aug;31(4):522-529.
- ⁴³ Baumfeld JA, Diduch DR, Rubino LJ, Hart JA, Miller MD, Barr MS, Hart JM:
Tunnel widening following anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring autograft: a comparison between double cross-pin and suspensory graft fixation.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 Dec;16(12):1108-1113.
- ⁴⁴ Fauno P, Kaalund S:
Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: a prospective randomized study.
Arthroscopy. 2005 Nov;21(11):1337-1441.
- ⁴⁵ Hantes ME, Mastrokalos DS, Yu J, Paessler HH:
The effect of early motion on tibial tunnel widening after anterior cruciate ligament replacement using hamstring tendon grafts.
Arthroscopy. 2004 Jul;20(6):572-580.
- ⁴⁶ Yu JK, Paessler HH:
Relationship between tunnel widening and different rehabilitation procedures after anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled hamstring tendons.
Chin Med J (Engl). 2005 Feb 20;118(4):320-326.
- ⁴⁷ Buelow J U, Siebold R, Ellermann A:
A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings:extracortical versus anatomical fixation.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2002 Mar;10(2):80-85.
- ⁴⁸ Fu FH, Chabra A, Zelle B:
Double Bundle ACL Reconstruction using the Smith & Nephew ENDOBUTTON™ CL Fixation System.
Technique guide Fa. Smith & Nephew, Andover, 2005, 1-11.
- ⁴⁹ Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L:
Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption.
Am J Sports Med. 1985 Nov-Dec;13(6):401-407.
- ⁵⁰ Hefti F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU:
Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1993;1(3-4):226-234.
- ⁵¹ Spürgamm, Braun, Tauscher:
Fachlexikon Orthopädie.
Kniecomed Verlag, Landsberg/Lech, 1998, 161-162.

-
- ⁵² Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL:
Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees.
Am J Sports Med. 2009 May;37(5):898-901.
- ⁵³ Lysholm J, Gillquist J:
Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale.
Am J Sports Med. 1982 May-Jun;10(3):150-154.
- ⁵⁴ Vahlensieck M, Reiser M:
Kniegelenk.
In: MRT des Bewegungsapparates.
Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 1997, 169-217.
- ⁵⁵ Höher J, Bach T, Klein J, Neugebauer E, Tiling T:
Wissenschaftliche Kriterien zur Beurteilung von Nachuntersuchungen nach vorderer Kreuzbandoperation.
Arthroskopie. 1994;12:208-214.
- ⁵⁶ Petersen W:
Fixation von Kreuzbandtransplantaten.
in: Das vordere Kreuzband.
Petersen/Zantop, D. Ärzte-Verlag, Köln, 2009, 97-109.
- ⁵⁷ Aune AK, Ekeland A, Cawley PW:
Interference screw fixation of hamstring vs patellar tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998;6(2):99-102.
- ⁵⁸ Magen HE, Howell SM, Hull ML:
Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts.
Am J Sports Med. 1999 Jan-Feb;27(1):35-43.
- ⁵⁹ Caborn DN, Coen M, Neef R, Hamilton D, Nyland J, Johnson DL:
Quadrupled semitendinosus-gracilis autograft fixation in the femoral tunnel: a comparison between a metal and a bioabsorbable interference screw.
Arthroscopy. 1998 Apr;14(3):241-245.
- ⁶⁰ Corry IS, Webb JM, Clingeffer AJ, Pinczewski LA:
Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft.
Am J Sports Med. 1999 Jul-Aug;27(4):444-454.
- ⁶¹ Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Neri MP, Loreti I, Petitto A:
Arthroscopic intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction with gracilis and semitendinosus tendons.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998;6(2):68-75.

-
- ⁶² Maeda A, Shino K, Horibe S, Nakata K, Buccafusca G:
Anterior cruciate ligament reconstruction with multistranded autogenous semitendinosus tendon.
Am J Sports Med. 1996 Jul-Aug;24(4):504-509.
- ⁶³ Aglietti P, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P:
Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction.
Am J Sports Med 1994 Mar-Apr;22(2):211-217.
- ⁶⁴ Yunes M, Richmond JC, Engels EA, Pinczewski LA:
Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis.
Arthroscopy. 2001 Mar;17(3):248-257.
- ⁶⁵ Brown GA, Peña F, Grøntvedt T, Labadie D, Engebretsen L:
Fixation strength of interference screw fixation in bovine, young human, and elderly human cadaver knees: influence of insertion torque, tunnel-bone block gap, and interference.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1996;3(4):238-244.
- ⁶⁶ 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 May-Jun;19(3):217-225.
- ⁶⁷ McHugh MP, Tyler TF, Gleim GW, Nicholas SJ:
Preoperative indicators of motion loss and weakness following anterior cruciate ligament reconstruction.
J Orthop Sports Phys Ther. 1998 Jun;27(6):407-411.
- ⁶⁸ Simonian PT, Harrison SD, Cooley VJ, Escabedo EM, Deneka DA, Larson RV:
Assessment of morbidity of semitendinosus and gracilis tendon harvest for ACL reconstruction.
Am J Knee Surg. 1997 Mar-Apr;10(2):54-59.
- ⁶⁹ Holmlund DE:
Physical properties of surgical suture materials: Stress-strain relationship, stress-relaxation and irreversible elongation.
Ann Surg. 1976 Aug;184(2):189-193.
- ⁷⁰ Rose T, Hepp P, Venus J, Stockmar C, Josten C, Lill H:
Prospective randomized clinical comparison of femoral transfixation versus Bioscrew fixation in hamstring tendon ACL reconstruction-a preliminary report.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006 Aug;14(8):730-738.

-
- ⁷¹ Weiler A, Peine R, Pashmineh-Azar A, Abel C, Südkamp NP, Hoffmann RF:
Tendon healing in a bone tunnel. Part I: Biochemical results after
biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament
in a sheep.
Arthroscopy. 2002 Feb;18(2):113-123.
- ⁷² Becker R, Schröder M, Stärke C, Röpke M, Nebelung W:
Mechanical properties of suture materials for anchoring cruciate ligament
transplants.
Unfallchirurg. 2000 May;103(5):375-379.
- ⁷³ Höher J, Scheffler SU, Withrow JD, Livesay GA, Debski RE, Fu FH, Woo SL:
Mechanical behavior of two hamstring graft constructs for reconstruction of the
anterior cruciate ligament.
J Orthop Res. 2000 May;18(3):456-461.
- ⁷⁴ Goradia VK, Rochat MC, Grana WA, Rohrer MD, Prasad HS:
Tendon-to-bone healing of a semitendinosus tendon autograft used for ACL
reconstruction in a sheep model.
Am J Knee Surg. 2000 Summer;13(3):143-151.
- ⁷⁵ Hoffmann F, Friebel H, Schiller M:
Die Semitendinosusehne als Ersatzplastik für
das vordere Kreuzband.
Zentralbl Chir. 1998;(123):994-1001.
- ⁷⁶ McKeon BP, Gordon M, DeConciliis G, Scheller A:
The safe zone for femoral cross-pin fixation: an anatomical study.
J Knee Surg. 2007 Oct;20(4):285-288.
- ⁷⁷ Shen HC, Chang JH, Lee CH, Shen PH, Yeh TT, Wu CC, Kuo CL:
Biomechanical Comparison of Cross-pin and Endobutton-CL Femoral Fixation
of a Flexor Tendon Graft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-a
Porcine Femur-Graft-Tibia Complex Study.
J Surg Res. 2009 Feb;8:240-247.
- ⁷⁸ Harilainen A, Sandelin J:
A prospective comparison of 3 hamstring ACL fixation devices--Rigidfix,
BioScrew, and Intrafix--randomized into 4 groups with 2 years of follow-up.
Am J Sports Med. 2009 Apr;37(4):699-706.
- ⁷⁹ Stengel D, Casper D, Bauwens K, Ekkernkamp A, Wich M:
Bioresorbable pins and interference screws for fixation of hamstring tendon
grafts in anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a randomized
controlled trial.
Am J Sports Med. 2009 Sep;37(9):1692-1698.
- ⁸⁰ Arneja S, Leith J:
Review article: Validity of the KT-1000 knee ligament arthrometer.
J Orthop Surg (Hong Kong). 2009 Apr;17(1):77-79.

-
- ⁸¹ Pässler H, Monauni F:
Beweglichkeitsauswertung an Knien mit VKB-Schaden mit Hilfe des KT-1000 und Aircast Rollimeter.
Unfallchirurg. 1998 May;272:731-732.
- ⁸² Blagojević Z, Stevanović V, Radulović N, Kadija M:
Rigid-fix pins fixation and LCA reconstruction with semitendinosus/gracilis autograft.
Acta Chir Iugosl. 2005;52(2):81-87.
- ⁸³ Ahn JH, Park JS, Lee YS, Cho YJ:
Femoral bioabsorbable cross-pin fixation in anterior cruciate ligament reconstruction.
Arthroscopy. 2007 Oct;23(10):1093-1099.
- ⁸⁴ Höher J, Bach T, Münster A, Bouillon B, Tiling T:
Does the mode of data collection change results in a subjective knee score? Self-administration versus interview.
Am J Sports Med. 1997 Sep-Oct;25(5):642-647.
- ⁸⁵ Jansson KA, Harilainen A, Sandelin J, Karjalainen PT, Aronen HJ, Tallroth K:
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with the hamstring autograft and endobutton fixation technique. A clinical, radiographic and magnetic resonance imaging study with 2 years follow-up.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(5):290-295.
- ⁸⁶ Murakami Y, Sumen Y, Ochi M, Fujimoto E, Adachi N, Ikuta Y:
MR evaluation of human anterior cruciate ligament autograft on oblique axial imaging.
J Comput Assist Tomogr. 1998 Mar-Apr;22(2):270-275.
- ⁸⁷ Konan S, Haddad FS.
The unpredictable material properties of bioabsorbable PLC interference screws and their adverse effects in ACL reconstruction surgery.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2009 Mar;17(3):293-297.
- ⁸⁸ Cossey AJ, Kalairajah Y, Morcom R, Spriggins AJ:
Magnetic resonance imaging evaluation of biodegradable transfemoral fixation used in anterior cruciate ligament reconstruction.
Arthroscopy. 2006 Feb;22(2):199-204.
- ⁸⁹ Choi NH, Lee JH, Victoroff BN:
Do broken cross-pins compromise stability after anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendons?
Arthroscopy. 2007 Dec;23(12):1334-1340.
- ⁹⁰ Chen NC, Boykin RE, Millett PJ:
Broken femoral cross pin after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: case report.
J Knee Surg. 2007 Jul;20(3):245-258.

-
- ⁹¹ Sanders TG, Tall MA, Mulloy JP, Leis HT:
Fluid collections in the osseous tunnel during the first year after anterior cruciate ligament repair using an autologous hamstring graft: natural history and clinical correlation.
J Comput Assist Tomogr. 2002 Jul-Aug;26(4):617-621.
- ⁹² Yamato M, Yamagishi T:
MRI of patellar tendon anterior cruciate ligament autografts.
J Comput Assist Tomogr. 1992 Jul-Aug;16(4):604-607.
- ⁹³ Kramer J, Breitenseher M, Stöger A, Huber H, Scheurecker A:
MRI after meniscus and cruciate ligament surgery.
Radiologe. 2006 Jan;46(1):36-45.
- ⁹⁴ White LM, Kramer J, Recht MP:
MR imaging evaluation of the postoperative knee: ligaments, menisci, and articular cartilage.
Skeletal Radiol. 2005 Aug;34(8):431-452.
- ⁹⁵ Jackson DW, Windler GE, Simon TM:
Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried, ethylene oxide-sterilized bone-patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament.
Am J Sports Med. 1990 Jan-Feb;18(1):1-10.
- ⁹⁶ Demirag B, Sarisozen B, Ozer O, Kaplan T, Ozturk C:
Enhancement of tendon-bone healing of anterior cruciate ligament grafts by blockage of matrix metalloproteinases.
J Bone Joint Surg Am. 2005 Nov;87(11):2401-2410.
- ⁹⁷ L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH, Harner CD:
Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1997;5(4):234-238.
- ⁹⁸ Höher J, Möller HD, Fu FH:
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction?
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998;6(4):231-240.
- ⁹⁹ Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ:
Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(3):138-145.
- ¹⁰⁰ Bohnsack M, Hehl S, Möller H, Börner C, Wirth CJ, Rühmann O:
Influence of the postoperative activity level on tibial bone tunnel enlargement and functional treatment results following anterior cruciate ligament reconstruction using a patellar tendon autograft.
Z Orthop Ihre Grenzgeb. 2006 Jul-Aug;144(4):373-379.

-
- ¹⁰¹ Rodeo SA, Kawamura S, Kim HJ, Dynybil C, Ying L:
Tendon healing in a bone tunnel differs at the tunnel entrance versus the tunnel exit: an effect of graft-tunnel motion?
Am J Sports Med. 2006 Nov;34(11):1790-1800.
- ¹⁰² Fahey M, Indelicato PA:
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement.
Am J Sports Med. 1994 May-Jun;22(3):410-414.
- ¹⁰³ Fink C, Zapp M, Benedetto KP, Hackl W, Hoser C, Rieger M:
Tibial tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft.
Arthroscopy. 2001 Feb;17(2):138-143.
- ¹⁰⁴ Kuskucu SM:
Comparison of short-term results of bone tunnel enlargement between EndoButton CL and cross-pin fixation systems after chronic anterior cruciate ligament reconstruction with autologous quadrupled hamstring tendons.
J Int Med Res. 2008 Jan-Feb;36(1):23-30.
- ¹⁰⁵ Simonian PT, Levine RE, Wright TM, Wickiewicz TL, Warren RF:
Response of hamstring and patellar tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction during cyclic tensile loading.
Am J Knee Surg. 2000 Nov-Dec;13(1):8-12.
- ¹⁰⁶ Nebelung W, Becker R, Merkel M, Röpke M:
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using Endobutton fixation on the femoral side.
Arthroscopy. 1998 Nov-Dec;14(8):810-815.
- ¹⁰⁷ Hogervorst T, Pels Rijcken TH, Rucker D, van der Hart CP, Taconis WK:
Changes in bone scans after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study.
Am J Sports Med. 2002 Nov-Dec;30(6):823-833.
- ¹⁰⁸ Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M:
Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon.
Arthroscopy. 2002 Feb;18(2):177-182.
- ¹⁰⁹ Klein J P, Lintner D M, Downs D, Vavrenka K:
The Incidence and Significance of Femoral Tunnel Widening After Quadrupled Hamstring Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Femoral Cross Pin Fixation.
Arthroscopy. 2003;19(5):470-476.
- ¹¹⁰ Zysk SP, Krüger A, Baur A, Veihelmann A, Refior HJ:
Tripled semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction with Endobutton fixation: a 2-3-year follow-up study of 35 patients.
Acta Orthop Scand. 2000;4(71):381-386.

-
- ¹¹¹ Robert H, Es-Sayeh J:
The role of periosteal flap in the prevention of femoral widening in anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2004 Jan;12(1):30-35.
- ¹¹² Gokce A, Beyzadeoglu T, Ozyer F, Bekler H, Erdogan F:
Does bone impaction technique reduce tunnel enlargement in ACL reconstruction?
Int Orthop. 2009 Apr;33(2):407-412.
- ¹¹³ Siebold R, Kiss ZS, Morris HG:
Effect of compaction drilling during ACL reconstruction with hamstrings on postoperative tunnel widening.
Arch Orthop Trauma Surg. 2008 May;128(5):461-468.
- ¹¹⁴ Mohtadi NG, Webster-Bogaert S, Fowler PJ:
Limitation of motion following anterior cruciate ligament reconstruction. A case-control study.
Am J Sports Med. 1991 Nov-Dec;19(6):620-624.
- ¹¹⁵ Paulos LE, Rosenberg TD, Drawbert J, Manning J, Abbott P:
Infrapatellar contracture syndrome. An unrecognized cause of knee stiffness with patella entrapment and patella infera.
Am J Sports Med. 1987 Jul-Aug;15(4):331-341.
- ¹¹⁶ Bosch U:
Arthrofibrosis.
Orthopade. 2002 Aug;31(8):785-790.
- ¹¹⁷ Jackson DW, Schaefer RK:
Cyclops syndrome: loss of extension following intra-articular anterior cruciate ligament reconstruction.
Arthroscopy. 1990;6(3):171-178.
- ¹¹⁸ Muellner T, Kdolsky R, Grossschmidt K, Schabus R, Kwasny O, Plenk H Jr:
Cyclops and cyclopid formation after anterior cruciate ligament reconstruction: clinical and histomorphological differences.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(5):284-289.
- ¹¹⁹ Marzo JM, Bowen MK, Warren RF, Wickiewicz TL, Altchek DW:
Intraarticular fibrous nodule as a cause of loss of extension following anterior cruciate ligament reconstruction.
Arthroscopy. 1992;8(1):10-18.
- ¹²⁰ Bradley DM, Bergman AG, Dillingham MF:
MR imaging of cyclops lesions.
AJR Am J Roentgenol. 2000 Mar;174(3):719-726.
- ¹²¹ Mayr HO, Weig TG, Plitz W:
Arthrofibrosis following ACL reconstruction--reasons and outcome.
Arch Orthop Trauma Surg. 2004 Oct;124(8):518-522.

-
- ¹²² Marx RG, Spock CR:
Complications following hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with femoral cross-pin fixation.
Arthroscopy. 2005 Jun;21(6):762-764.
- ¹²³ Uzümcügil O, Doğan A, Yalçinkaya M, Akman YE, Mumcuoğlu E, Azar N:
Clinical importance of femoral and tibial tunnel localizations in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction.
Eklem Hastalik Cerrahisi. 2009;20(1):25-31.
- ¹²⁴ Saowaprut S, Tanpowpong T, Piyaskulkaew C:
Correlation of graft position, knee laxity and clinical outcome: comparison with native anterior cruciate ligament using magnetic resonance imaging study.
J Med Assoc Thai. 2009 Apr;92(4):510-516.
- ¹²⁵ Beynnon BD, Johnson RJ:
Anterior cruciate ligament injury rehabilitation in athletes. Biomechanical considerations.
Sports Med. 1996 Jul;22(1):54-64.
- ¹²⁶ Pomphrey MM Jr:
Aggressive rehabilitation following anterior cruciate reconstruction: an update and protocol.
Mo Med. 1992 Jun;89(6):358-361.
- ¹²⁷ Shelbourne KD, Nitz P:
Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction.
J Orthop Sports Phys Ther. 1992;15(6):256-264.
- ¹²⁸ Höher J, Sakane M, Vogrin TM, Withrow JD, Fu F, Woo LY. Viskoplastische Elongation eines gevierfachen Semitendinosusehnenkonstruktes mit Tape und Fadenfixierung unter zyklischer Belastung.
Arthroskopie. 1998,11(2):52-55.
- ¹²⁹ Vadala A, Iorio R, De Carli A, Argento G, Di Sanzo V, Conteduca F, Ferretti A:
The effect of accelerated, brace free, rehabilitation on bone tunnel enlargement after ACL reconstruction using hamstring tendons: a CT study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007 Apr;15(4):365-371.
- ¹³⁰ Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K:
Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons.
Am J Sports Med. 1995 Nov-Dec;23(6):706-714.
- ¹³¹ Eriksson K, Larsson H, Wredmark T, Hamberg P:
Semitendinosus tendon regeneration after harvesting for ACL reconstruction. A prospective MRI study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(4):220-225.
- ¹³² Sekiya I, Muneta T, Ogiuchi T, Yagishita K, Yamamoto H:
Significance of the single-legged hop test to the anterior cruciate ligament-reconstructed knee in relation to muscle strength and anterior laxity.
Am J Sports Med. 1998 May-Jun;26(3):384-388.

-
- ¹³³ Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, Axe MJ, Buchanan TS:
Muscle and tendon morphology after reconstruction of the anterior cruciate
ligament with autologous semitendinosus-gracilis graft.
J Bone Joint Surg Am. 2004 Sep;86-A(9):1936-1946.
- ¹³⁴ Keller PM, Shelbourne KD, McCarroll JR, Rettig AC:
Nonoperatively treated isolated posterior cruciate ligament injuries.
Am J Sports Med. 1993 Jan-Feb;21(1):132-136.
- ¹³⁵ Ageberg E, Zätterström R, Moritz U, Fridén T:
Influence of supervised and nonsupervised training on postural control after an
acute anterior cruciate ligament rupture: a three-year longitudinal prospective
study.
J Orthop Sports Phys Ther. 2001 Nov;31(11):632-644.

7 Anhang

Der Anhang enthält:

- das Patienteninformationsblatt und die Patienteneinwilligungserklärung zur Teilnahme an dieser Studie
- den Patientenfragebogen, der jeweils präoperativ, 6 Monate postoperativ und 12 Monate postoperativ auszufüllen war

Patienteninformationsblatt

Sehr geehrter Patient, sehr geehrte Patientin,

Bei Ihnen soll eine Kreuzbandoperation durchgeführt werden. Zwei etablierte Fixationstechniken für den Kreuzbandersatz sollen miteinander verglichen werden. Dieses Blatt dient dazu, Ihnen einige Begriffe und das Ziel dieser Studie zu erklären. Bitte lesen Sie es aufmerksam durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen. Wir werden Ihnen gerne alles erklären.

Institution: Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie
Universitätsklinikum Giessen
Leiter: Prof. Dr. med. Henning Stürz
Leiter der klinischen Prüfung: Dr. med. Erhan Basad

1. Titel

“Vergleich der klinischen und MRT Ergebnisse nach vorderer Kreuzbandplastik mit STS-RigidFix (gelenksnahe Fixierung) und STS-EndoButton (gelenksferne Fixierung)“

2. Zielsetzung

Ziel der vergleichenden Anwendungsstudie ist es, klinische Scores, Stabilität und Beurteilung mittels bildgebender Verfahren von Kreuzbandoperationen zu vergleichen. Hierzu werden zwei gleichwertige Verfahren mit verschiedenen Materialien (Polymilchsäure und Titanplättchen) verglichen.

3. Aufbau und Teilnahme an der klinischen Studie

Im Rahmen der Studie werden Patienten untersucht, die die unten genannten Einschlusskriterien erfüllen. Es werden zwei Behandlungsgruppen gebildet. Der Zeitpunkt des OP-Termins entscheidet über die Operationstechnik. Es handelt sich um eine prospektive Evaluationsstudie.

Sie werden im Laufe dieser Studie zweimal untersucht werden. Dazu werden Sie anhand eines Fragebogens befragt und untersucht. Nach 6 und 12 Monaten wird ein MRT zur Beurteilung der Lage und Integration der Sehnenplastik durchgeführt.

Die wichtigsten **Einschlußkriterien** sind:

- Alter zwischen ≥ 18 und ≤ 55 Jahren,
- Vordere Kreuzbandplastik mittels Semitendinosussehne
- Erteilung Ihrer schriftlichen Einverständniserklärung.

Die wichtigsten **Ausschlußkriterien** sind:

- Übergewicht und Übergrößen
- Beinachsenfehlstellungen
- Verweigerung der Einwilligungserklärung,
- Bedingungen, die durch den Prüfarzt als nicht vereinbar mit einer Teilnahme an der Studie eingestuft werden,

4. Risiken

Mit dieser Studie sind keine Risiken verbunden, die über das Maß einer operativen Therapie von Kreuzbandrissen Therapie hinausgehen. Im unwahrscheinlichen Fall, dass während Ihrer Teilnahme an der Studie Anzeichen auftreten, die auf schwere unerwünschte Wirkungen hindeuten, suchen Sie uns bitte sofort auf. Durch die Teilnahme an dieser Studie entstehen Ihnen keine Einschränkungen der normalen Lebensführung.

5. Zum Datenschutz

Sämtliche im Rahmen dieser Studie erhobenen personenbezogenen Daten sind ausschließlich dem Prüfarzt und dessen Stellvertreter zugänglich. Die Weitergabe studienrelevanter Daten erfolgt in anonymisierter Form. Die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes werden in dieser Studie gewahrt.

Informationen über das Alter, das Geschlecht, das Gewicht, die Körpergröße, die Initialen sowie Daten zur Wirksamkeit werden üblicherweise an den Auftraggeber der Studie weitergegeben. Hieraus kann die Identität des Patienten nicht abgeleitet werden. Selbstverständlich unterliegen die Durchführenden der Studie einer Schweigepflicht.

Zur Teilnahme an der Studie ist zu dieser Vorgehensweise Ihre schriftliche Einverständniserklärung erforderlich.

7. Zur Freiwilligkeit der Studienteilnahme

Die Teilnahme an jeder klinischen Studie ist freiwillig. Es besteht jederzeit die Möglichkeit, die Einwilligung ohne Angabe von Gründen zu widerrufen und die Studie abzubrechen. Daraus ergeben sich für Sie keinerlei Nachteile. Ihr Verhältnis zum betreuenden Prüfarzt wird nicht negativ beeinflusst.

Der Prüfarzt hat das Recht, Ihre Teilnahme an der Prüfung jederzeit zu beenden, falls Ihre Sicherheit oder die ordnungsgemäße Durchführung der Prüfung dies erfordern oder andere Gründe eingetreten sind, die Prüfung vorzeitig abzubrechen.

Patienteneinwilligungserklärung

Vergleich der klinischen und radiologischen Ergebnisse sowie der Stabilität nach vorderer Kreuzbandplastik mit STS-RigidFix (gelanknahe Fixierung) und STS-EndoButton (gelenkferne Fixierung)

Patient:Frau/ Herr. _____

Geb. _____

Wohnhaft in: _____

Ich erkläre hiermit, dass ich Sinn und Zweck der Untersuchung nach Erläuterung verstanden habe und ich an der vorgenannten Studie teilnehme. Es steht mir frei, jederzeit ohne weitere Erklärung und Nachteile von der Teilnahme an der Studie zurückzutreten.

Ort, Datum

1. Unterschrift des Patienten

Ich wurde davon unterrichtet, dass alle Patientendaten nach den Richtlinien des Datenschutzes verwaltet werden und bin mit der Aufzeichnung, statistischen Verarbeitung und Veröffentlichung der im Rahmen der Studie erhobenen anonymisierten Daten einverstanden.

Ort, Datum

2. Unterschrift des Patienten

Ich bestätige, dass Zielsetzung, Durchführung und mögliche Risiken der o.g. Studie erklärt wurden.

Ort, Datum

OA Dr. med. E. Basad

Patient's initials __ __

Patient No. [] [] [] []

Centre ID [] [] [] []

Date of visit [] [] [] [] [] [] [] []
d d m m y y

Visit No. __ (Month __)

Cartilage Standard Evaluation^[1]

Patients Form

Functional status

- I: I can do everything that I want to do with my joint.
II: I can do nearly everything that I want to do with my joint.
III: I am restricted and a lot of things that I want to do with my joint are not possible.
IV: I am very restricted and I can do almost nothing with my joint without severe pain and disability.

	I	II	III	IV
Preinjury	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Activity level pretreatment	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Present activity level	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Compared to your healthy contralateral knee your injured knee is worth

I	II	III	IV
90-100% <input type="checkbox"/>	71-90% <input type="checkbox"/>	41-70% <input type="checkbox"/>	0-40% <input type="checkbox"/>

Patient's initials __ __	Patient No. [] [] [] []
Centre ID [] []	Date of visit [] [] [] [] [] [] [] [] d d m m y y
Visit No. __ (Month __)	

Cartilage Standard Evaluation^[1]

Surgeons Form

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualifi c.
	I Norm al	II Nearl y Norm al	III Abnor mal	IV Sever e Abnor mal	I II III IV
Patient's Subjective Assessment^[2] How does your knee function?	*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. [] [] [] []
Patient's Pain Assessment^[2]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. [] [] [] []
Symptoms (absence of significant symptoms, at highest activity level)^[4]			[3]	[3]	3. [] [] [] []
[3] [3]					
Pain at activity level	I <input type="checkbox"/>	II <input type="checkbox"/>	III <input type="checkbox"/>	IV <input type="checkbox"/>	
Swelling at activity level	I <input type="checkbox"/>	II <input type="checkbox"/>	III <input type="checkbox"/>	IV <input type="checkbox"/>	
Giving way at activity level (catching, locking, giving away)	I <input type="checkbox"/>	II <input type="checkbox"/>	III <input type="checkbox"/>	IV <input type="checkbox"/>	
Starting pain					4. [] [] [] []
Range of Motion					
Flex /Ext documented site [] [] [] [] ^[5] Flex / Ex opposite side [] [] [] []					
Lack of extension documented site (from zero anatomic)	< 3° <input type="checkbox"/> 0-5°	3-5° <input type="checkbox"/>	6-10° <input type="checkbox"/>	> 10° <input type="checkbox"/>	
Lack of flexion	<input type="checkbox"/>	6-15° <input type="checkbox"/>	16-25° <input type="checkbox"/>	> 25° <input type="checkbox"/>	

Patient's initials ___

Patient No. [][][][]

Centre ID [][][]

Visit No. ___ (Month ___)

Surgeons Form (continuation)

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualifi c.
	I Norm al	II Nearl y Norm al	III Abnor mal	IV Sever e Abnor mal	I II III IV
Ligament Examination					
Δ Lachman (in 25° flex) [mm] (alternative measurement, optional)	-1 to 2 <input type="checkbox"/>	3 to 5 <input type="checkbox"/>	6 to 10 <input type="checkbox"/>	> 10 <input type="checkbox"/>	
Endpoint anterior. firm <input type="checkbox"/> soft <input type="checkbox"/>					
^[6] Δ Total a.p. transl. in 70° flex	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
^[6] Δ Total a.p. transl. in 25° flex	0 to 2 <input type="checkbox"/>	3 to 5 <input type="checkbox"/>	6 to 10 <input type="checkbox"/>	> 10 <input type="checkbox"/>	
^[6] Δ post. sag in 70° Flex (post sag view)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+++ <input type="checkbox"/>	
^[6] med. joint opening (Valgus rotation)	neg. <input type="checkbox"/>	+ <input type="checkbox"/>	++ <input type="checkbox"/>	gross <input type="checkbox"/>	5.
^[6] lat. joint opening (Varus rotation)	eq. <input type="checkbox"/>	slight <input type="checkbox"/>	marke d <input type="checkbox"/>		
Pivot shift ^[8]	<input type="checkbox"/>				
^[6] Reversed pivot shift equal neg. <input type="checkbox"/>					
Compartmental Finding Documented	Site ^[9]				
Crepitus patellofemoral	none/ eq. <input type="checkbox"/>	moder ate <input type="checkbox"/>	painfu l <input type="checkbox"/>	sever e <input type="checkbox"/>	
Crepitus medial compartmental	none <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Crepitus lateral compartmental	<input type="checkbox"/>				
Harvest Site Pathology Documented	Site				
Tenderness, irritation, numbness ipsilateral	none <input type="checkbox"/>	slight <input type="checkbox"/>	moder ate <input type="checkbox"/>	sever e <input type="checkbox"/>	
Controlateral donor site		yes <input type="checkbox"/>			

Tenderness, irritation, numbness contralateral Functional Test ^[11]	none <input type="checkbox"/>	slight <input type="checkbox"/>	moderate <input type="checkbox"/>	severe <input type="checkbox"/>	
One leg hop (% of opposite side)	90- 100 <input type="checkbox"/>	76-90 <input type="checkbox"/>	50-75 <input type="checkbox"/>	< 50 <input type="checkbox"/>	

Patient's initials __ __

Patient No. [] [] []

Centre ID [] []

Visit No. __ (Month __)

Score/Meyers et al.

Rate the patient according to the following scale:

Pain	Severe; not relieved by rest and analgetics.....	1 <input type="checkbox"/>
	Severe; relieved by rest and analgetics.....	2 <input type="checkbox"/>
	Moderate; regular analgetics needed.....	3 <input type="checkbox"/>
	Mild; occasional analgetics needed.....	4 <input type="checkbox"/>
	Minimum; occasional ache.....	5 <input type="checkbox"/>
	None.....	6 <input type="checkbox"/>
Function	Bedridden or household walker with two canes or crutches.....	1 <input type="checkbox"/>
	Time and distance outside limited; walks with canes or crutches.....	2 <input type="checkbox"/>
	Walks more than 0,8 km with external aids, going up and down stairs limited.....	3 <input type="checkbox"/>
	Walks more than 0,8 km with or without external aids, going up and down stairs not limited.....	4 <input type="checkbox"/>
	No canes; limps.....	5 <input type="checkbox"/>
	Unlimited walking without a limp	6 <input type="checkbox"/>
Range of Motion	< 60° of flexion.....	1 <input type="checkbox"/>
	15° to 90° of flexion.....	2 <input type="checkbox"/>
	0 to 90°.....	3 <input type="checkbox"/>
	> 90° of flexion; ≤ 15° extension lag.....	4 <input type="checkbox"/>
	> 90° of flexion; without extension lag.....	5 <input type="checkbox"/>
	≥ 130° of flexion without extension lag.....	6 <input type="checkbox"/>

Scale Description:	Poor:	< 12	<input type="checkbox"/>
	Fair:	12-15	<input type="checkbox"/>
	Good:	15-17	<input type="checkbox"/>
	Excellent:	18	<input type="checkbox"/>

Patient's initials __ __

Patient No. [] [] []

Centre ID [] []

Visit No. __ (Month __)

Score/Tegner and Lysholm

Rate the patient according to the following scale:

Sick leave or disability pension because of knee problems	0 <input type="checkbox"/>
Work: sedentary work Walking on even ground possible	1 <input type="checkbox"/>
Work: light labor Walking on uneven ground possible but impossible to walk in forest	2 <input type="checkbox"/>
Work: light labor (e.g., nursing) Competitive and recreational sports: swimming Walking in forest possible	3 <input type="checkbox"/>
Work: moderately heavy labor (e.g., truck driving, heavy domestic work) Recreational sports: cycling, cross-country skiing, jogging on even ground at least twice weekly	4 <input type="checkbox"/>
Work: heavy labor work (e.g., building, forestry) Competitive sports: cycling, cross-country skiing Recreational sports: jogging on uneven ground at least twice weekly	5 <input type="checkbox"/>
Recreational sports: tennis and badminton, handball, basketball, downhill skiing, jogging, at least five times per week	6 <input type="checkbox"/>
Competitive sports: tennis, athletics (running), motorcross, speedway, handball, basketball Recreational sports: soccer, bandy and ice hockey, squash, athletics (jumping) Cross-country track findings both recreational and competitive	7 <input type="checkbox"/>
Competitive sports: bandy, squash or badminton, athletics (jumping, etc.), downhill skiing	8 <input type="checkbox"/>
Competitive sports: soccer, lower divisions, ice hockey, wrestling, gymnastics	9 <input type="checkbox"/>
Competitive sports: soccer – national and international elite	10 <input type="checkbox"/>

Patient's initials __ __

Patient No. [] [] []

Centre ID [] []

Visit No. __ (Month __)

Score/Lysholm and Gillquist

Limp (5 points)	Severe or constant.....	0 <input type="checkbox"/>
	Slight or periodical.....	3 <input type="checkbox"/>
	None.....	5 <input type="checkbox"/>
Support (5 points)	Weight-bearing impossible.....	0 <input type="checkbox"/>
	Stick or crutch.....	3 <input type="checkbox"/>
	Full support.....	5 <input type="checkbox"/>
Stair-Climbing (10 points)	Unable.....	0 <input type="checkbox"/>
	One step at a time.....	2 <input type="checkbox"/>
	Slightly impaired.....	6 <input type="checkbox"/>
	No problems.....	10 <input type="checkbox"/>
Squatting (5 points)	Unable.....	0 <input type="checkbox"/>
	Not past 90°.....	2 <input type="checkbox"/>
	Slightly impaired.....	4 <input type="checkbox"/>
	No problems.....	5 <input type="checkbox"/>
Instability (30 points)	Every step.....	0 <input type="checkbox"/>
	Often in daily activities.....	5 <input type="checkbox"/>
	Occasionally in daily activities.....	10 <input type="checkbox"/>
	Frequently during athletics or other severe exertion (or unable to participate).....	20 <input type="checkbox"/>
	Rarely during athletics or other severe exertion.....	25 <input type="checkbox"/>
	Never giving way.....	30 <input type="checkbox"/>
Pain (30 points)	Constant and severe.....	0 <input type="checkbox"/>
	Marked on or after walking less than 2 km	5 <input type="checkbox"/>
	Marked on or after walking more than 2 km.....	10 <input type="checkbox"/>
	Marked during severe exertion.....	15 <input type="checkbox"/>
	Marked on giving way.....	20 <input type="checkbox"/>
	Inconstant and slight during severe exertion	25 <input type="checkbox"/>
	None.....	30 <input type="checkbox"/>
Swelling (10 points)	Constant.....	0 <input type="checkbox"/>
	On ordinary exertion.....	2 <input type="checkbox"/>
	On severe exertion.....	5 <input type="checkbox"/>
	With giving way.....	7 <input type="checkbox"/>
	None.....	10 <input type="checkbox"/>
Athrophy of thigh (5 points)	More than 2 cm.....	0 <input type="checkbox"/>
	1-2 cm.....	3 <input type="checkbox"/>
	None.....	5 <input type="checkbox"/>

Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angeben habe. Alle Textstellen, die ich wörtlich oder sinngemäßig aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Düsseldorf, den 12.06.2012

Annika Kipper

Danksagung

Zunächst gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. H. Stürz, dem Chefarzt und Direktor der orthopädischen Klinik der Justus-Liebig –Universität Gießen, in dessen Institut ich diese Arbeit erstellen durfte.

Weiterhin gilt mein Dank meinem Betreuer Herrn Dr. E. Basad für die Überlassung des Themas.

Großer Dank geht auch an Herrn Dr. G. Eichner (Mathematisches Institut der Justus-Liebig-Universität Gießen) für seine nette Unterstützung, ohne die die statistische Auswertung in der präsentierten Qualität nicht möglich gewesen wäre.

Ein herzlicher Dank gilt besonders allen Patienten, deren Bereitschaft mir es letztendlich möglich gemacht hat diese Arbeit zu erstellen.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meinen Eltern und meiner Oma, auf deren Unterstützung ich während meines Studiums immer zählen konnte, sowie allen, die mir bei der Fertigstellung dieser Arbeit eine Hilfe waren.

iMuchas gracias!