Klinische Studie nach vorderer Kreuzbandersatzplastik mit Semitendinosussehnenersatz und transphysärer Rekonstruktion bei geöffneter Epiphysenfuge

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

vorgelegt von Wilhelm, Kerstin, geb. Grieshober
aus Hermannstadt

Gießen 2018

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie,
unter Leitung von Prof. Dr. med. Markus Rickert,
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Rickert

Gutachter: Prof. Dr. Kilian

Tag der Disputation: 16.10.2018

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

GRAFIKVERZEICHNIS

ERKLÄRUNG HÄUFIG VERWENDETER ABKÜRZUNGEN

1 EINLEITUNG 1

2 GRUNDLAGEN UND PROBLEMSTELLUNG 3

2.1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN 3

2.1.1 Anatomie und Funktion der Kreuzbänder 3

2.1.2 Verletzungsmechanismen 5

2.1.3 Mögliche Folgen 6

2.1.4 Behandlungsmethoden 8

2.2 HINTERGRÜNDE ZUR PROBLEMSTELLUNG 9

2.2.1 Wachstumsprozesse im Kniegelenk 9

2.2.2 Konservative Therapie 12

2.2.3 Verzögerte Rekonstruktion 13

2.2.4 Operative Therapie 14

2.2.4.1 Epiphysenfugen schonende Technik 14

2.2.4.2 Epiphysäre Technik 15

2.2.4.3 Transphysäre Technik 16

2.2.4.4 Transplantatwahl 17

2.2.4.5 Fixationsmethoden 18

2.2.5 Maßnahmen bei Kindern 19

3 ZIEL DER ARBEIT 21

4 MATERIAL UND METHODEN 22

4.1 PATIENTEN 22

4.1.1 Patientenauswahl 22

4.1.2 Studienverlauf 22

4.1.3 Allgemeine Patientendaten 23

4.1.4 Traumahergang 24

4.1.5 Begleitverletzungen 25
4.1.6 Besonderheiten 25
4.1.7 Datensicherheit 26

4.2 OPERATIONSMETHODEN 26
4.2.1 Endobutton® und Suture Disc® 26
4.2.2 Rigid Fix® 27
4.2.3 Nachbehandlung 28

4.3 METHODIK SUBJEKTIVER KLINISCHER PARAMETER 28
4.3.1 Lysholm und Gillquist Score 28
4.3.2 Tegner Aktivitätsscore 29
4.3.3 International Knee Documentation Committee-Score (IKDC-Score) 30

4.4 METHODIK OBJEKTIVER KLINISCHER PARAMETER 30
4.4.1 KT-1000 Arthrometer Messung 30
4.4.2 Klinische Untersuchung 31
4.4.3 Methodik der Magnetresonanztomografie (MRT) 33

4.5 STATISTISCHE VERFAHREN 35

5 ERGEBNISSE 36
5.1 EPIDEMIOLOGISCHE DATEN DER STICHPROBE 36

5.2 ERGEBNISSE DER SUBJEKTIVEN SCORES 38
5.2.1 Lysholm-Gillquist Score 39
5.2.2 Tegner Aktivitätsscore 39
5.2.3 IKDC Score 40

5.3 OBJEKTIVE KLINISCHE DATEN 41
5.3.1 KT-1000-Messung 41
5.3.2 Klinische Untersuchung 42
5.3.3 Magnetresonanztomografie 45

6 DISKUSSION 51
6.1 KRITISCHE BETRACHTUNG DER EPIDEMIOLOGISCHEN DATEN 52

6.2 SUBJEKTIVE KLINISCHE PARAMETER 54

6.3 OBJEKTIVE KLINISCHE PARAMETER 59

6.4 FALLBEISPIEL 65

6.5 SCHLUSSFOLGERUNG BEZÜGLICH DER EINGANGS GESTELLTEN FRAGESTELLUNGEN 68

6.5.1 Operativ versus konservativ 68

6.5.2 Vergleich der Operationstechniken 71

6.5.3 Hypothese/ Ausblick 72

7 ZUSAMMENFASSUNG/ SUMMARY 74

7.1 ZUSAMMENFASSUNG IN DEUTSCHER SPRACHE 74

7.2 SUMMARY 75

8 LITERATURVERZEICHNIS

9 ANHANG

ERKLÄRUNG

DANKSAGUNG

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wachstumsgeschwindigkeit der kniegelenknahen Fugen in Abhängigkeit vom Skelettalter 10
Abbildung 2: Das KT-1000 Arthrometer 31
Abbildung 3: Inzidenz pro 1000 Kinderjahre nicht verkehrsbedingter Knieunfälle mit Krankenhauskontakt 52
Abbildung 4: Aktivitätslevel bei Nachuntersuchungen 56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Epidemiologische Daten der Stichprobe 36
Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse der subjektiven Scores 38
Tabelle 3: KT-1000-Messung 41
Tabelle 4: Tunnelweitung 45
Tabelle 5: Tunnelweitung in Bezug zur Operationstechnik 46

GRAFIKVERZEICHNIS

Grafik 1: Altersverteilung 23
Grafik 2: Traumahergang (Sportart) 24
Grafik 3: Begleitverletzung 25
Grafik 4: Messung des Transplantatwinkels zum Tibiaplateau 34
Grafik 5: Epidemiologische Daten - absolute Werte 37
Grafik 6: Epidemiologische Daten - relative Werte 37
Grafik 7: Grafischer Vergleich der subjektiven Scores Studie vs. Literatur 38
Grafik 8: Punkteverteilung des Lysholm Scores 39
Grafik 9: Veränderung des Tegner Scores von präoperativ nach postoperativ 40
Grafik 10: Verteilung der IKDC Punkte 41
Grafik 11: Klinischer IKDC Score 42
Grafik 12: Vergleich des klinischen IKDC Scores Studie vs. Literatur 43
Grafik 13: Vergleich der Punktzahlen in den jeweiligen Kategorien des IKDC 43
Grafik 14: Punktedurchschnitt in den objektiven IKDC Kategorien 44
Grafik 15: Bewegungsausmaß des operierten Kniegelenkes bei Flexion im Vergleich zur Gegenseite 45
Grafik 16: Ort der Tunnelweitung 46
Grafik 17: Femorale TW in der protonengewichteten MRT Darstellung 47
Grafik 18: Tibiale TW in der T1w Sequenz im MRT 47
Grafik 19: Winkel des Transplantates zum Tibiaplateau 48
Grafik 20: Vergleich Transplantatdurchmesser Studie vs. Literatur 49
Grafik 21: Meniskusläsion im MRT 49
Grafik 22: Knorpelschädigung im MRT 50
Grafik 23: Einfluss des Aktivitätslevels auf den klinischen IKDC Score 58
Grafik 24: MRT bei Nachuntersuchung: Defekt des AM und Chondromalazie Grad 3-4 der lateralen Femurkodyle 66

ERKLÄRUNG HÄUFIG VERWENDETER ABKÜRZUNGEN

A.	Arteria
Aa.	Arteriae (Plural)
Abb.	Abbildung
ACL	Anterior cruciate ligament = vorderes Kreuzband
AM	Anteromediales Bündel (des vorderen Kreuzbandes)
AM	Außenmeniskus
HKB	hinteres Kreuzband
ICRS	International Cartilage Research Society
IKDC	International Knee Documentation Committee
IM	Innenmeniskus
KT	konservative Therapie
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomografie
N	Newton
N.	Nervus
OT	operative Therapie
PL	Posterolaterales Bündel (des vorderen Kreuzbandes)
STS	Semitendinosussehne
TW	Tunnelweitung
VKB	vorderes Kreuzband

1 Einleitung

Operationen bei Kindern im Wachstumsalter sind ein umstrittenes Thema, denn es besteht dabei die Gefahr einer Verletzung der Wachstumsfugen und einem damit verbundenen vorzeitigen Fugenschluss. Daher muss bei einer Operation besonders auf die Epiphysenfugen geachtet werden, um diese nicht zu beschädigen und dadurch Wachstumsstörungen zu provozieren. Aufgrund dieser Problematik scheuen sich viele Ärzte vor einer Operation bei Kindern.

Daher müssen Kinder regelmäßigen Nachuntersuchungen unterzogen werden, um mögliche Achsabweichungen, Instabilitäten, unterschiedliches Längenwachstum oder sogar das Auftreten eines Wachstumsstopps der Extremitäten frühzeitig erkennen zu können (Chotel et al. 2010, S. 1496; Wilmes et al. 2009, S. 35).

In den letzten Jahren sind Kreuzbandverletzungen im Kindesalter immer häufiger geworden. Die höheren Zahlen lassen sich zum einen durch den immer höheren Anteil Sport treibender, zum Teil auch immer stärker wettkampforientierter Kinder erklären (Aichroth et al. 2002, S. 40). Laut Wilmes et al. (2009, S. 35) lag in 76% aller Fälle der Verletzung ein Sportunfall zugrunde. Zum anderen lässt sich die steigende Anzahl an Kreuzbandrissen auch durch bessere diagnostische Mittel und bessere Bildgebung sowie ein größeres Gesundheitsbewusstsein in der Gesellschaft und höhere Ansprüche an die Funktionalität der Kniegelenke erklären. (Lawrence et al. 2011b; Moksnes et al. 2012, S. 1112; Williams, J. S. Jr. et al. 1996)

Im Vergleich zu Erwachsenen ist die Inzidenz bei Kindern jedoch trotzdem wesentlich geringer. Von allen Patienten mit vorderen Kreuzbandrupturen stellen Kinder nur eine Minderheit von 3-4% dar (Welsch et al. 2013, S. 204).

Bei Kindern ist es schwieriger eine Diagnose zu stellen und dauert auch häufig länger, da sie differenzierte Aussagen über Instabilitäten im Kniegelenk nicht immer zu machen vermögen. Verglichen mit Erwachsenen weisen Kinder eine vermehrte Laxizität im Kniegelenk auf, die jedoch stetig im Alter zwischen 7 und 14 Jahren abnimmt (Baxter 1988, S. 548). Bei Tests wie der vorderen Schublade oder dem Lachman Test kann man in jungen Jahren physiologisch positive Ergebnisse vorfinden. Einen Stabilitätsverlust aufgrund einer Kreuzbandverletzung können Kinder anfänglich häufig durch die Muskulatur oder Koordination ausgleichen. Im zeitlichen Verlauf kann es jedoch zu sekundären Schäden kommen (Shafizadeh et al. 2014, S. 889).

Die Anzahl an Studien zu dieser Thematik ist gegenwärtig sehr gering. Eine Auswertung der derzeit bekannten Studien erbrachte die Erkenntnis über viel zu große Wissenslücken bezüglich des Managements einer solchen Verletzung im Kindesalter. Bei Erwachsenen gibt es Standards und festgelegte Algorithmen, die bei Kindern jedoch

fehlen. Dies liegt zum einen an der geringen Anzahl an betroffenen Patienten, zum anderen an den unzureichenden Beschreibungen über Nachuntersuchungen und fehlenden Bewertungskriterien (Moksnes et al. 2012, S. 1116–1117).

Die Wissenschaft befindet sich bereits seit einigen Jahren im Zwist, ob die konservative oder operative Therapie bei Kindern besser geeignet ist. Die konservative Therapie mit der zeitwesen Ruhigstellung des Kniegelenkes als Alternative zur Operation stellt eine Behandlungsform des Kreuzbandrisses dar, bei der die Wachstumsfuge nicht tangiert wird und man sich dadurch weniger Wachstumsstörungen erhofft. Eine begleitende ausgiebige Physiotherapie zum Muskelaufbau komplettiert die Therapie. Mehrere Studien belegten jedoch, dass es hierbei häufiger zu Komplikationen kommt. Dazu zählen degenerative Prozesse bis zur Früharthrose, sekundäre Meniskusläsionen, eine schlechtere Kniefunktion und schwere Instabilitäten (Mizuta et al. 1995; Seil et al. 2010b, S. 82).

Die nachfolgende Studie dient als Anwendungsbeobachtung nach operativer Therapie einer vorderen Kreuzbandruptur im Kindesalter. Dabei sollen klinische und subjektive Daten, teilweise in Form standardisierter Scores, zur Beurteilung des Ergebnisses herangezogen werden. Dabei wird die Funktionalität des Kniegelenkes sowie die Zufriedenheit der Patienten berücksichtigt, um für die Zukunft eine Aussage über die Vertretbarkeit einer Operation im Kindesalter treffen zu können.

2 Grundlagen und Problemstellung

2.1 Theoretische Grundlagen

2.1.1 Anatomie und Funktion der Kreuzbänder

Das Kniegelenk ist eines der größten Gelenke des menschlichen Körpers. Es setzt sich aus dem distalen Femur, der proximalen Tibia und der Patella zusammen. Das Femorotibialgelenk ist für die Roll-Gleit-Bewegung im Kniegelenk verantwortlich. Die Bewegung ist um zwei Achsen möglich, die Vertikal- und die Horizontalachse. Dabei wird das Knie von verschiedenen Bändern geführt. Die seitlichen Bänder stabilisieren es gegen eine laterale und mediale Aufklappbarkeit, also gegen Valgus- und Varusstress. Die beiden Kreuzbänder stellen die Stabilität in der Sagittalebene sicher. Sie liegen intrakapsulär innerhalb eines fettreichen Bindegewebes. Weil die Gelenkhöhle definitionsgemäß von der Synovialmembran begrenzt ist und das vordere Kreuzband (VKB) nur im vorderen und seitlichen Bereich davon umhüllt ist, liegt es extraartikulär (Petersen und Tillmann 2002, S. 712–713).

Das vordere Kreuzband verhindert eine Tibiatranslation nach ventral, das hintere die Translation nach dorsal. Zudem gewährleisten sie ein gewisses Maß an Rotationsstabilität (Petersen und Tillmann 2002, S. 711). Bei Innenrotation wickeln sich die beiden Kreuzbänder umeinander und begrenzen diese somit erheblich, bei Außenrotation weichen die Bänder auseinander und liegen parallel. Dementsprechend lässt sich der Unterschenkel besser nach außen als nach innen rotieren (Aumüller et al. 2014).

Wie der Name „Kreuzbänder" schon vermuten lässt, kreuzen die Bänder in ihrem Verlauf. Dabei entspringt das vordere Kreuzband kranial dorsal am lateralen Femurkondylus, läuft quer durch die Fossa intercondylaris und findet seine Insertion im Bereich der Eminentia intercondylaris im mittleren Bereich des Tibiaplateaus. Zur Insertionsfläche hin fächert es sich auf und weist einen dreieckigen Querschnitt auf, der auch als „Entenfuß" oder „Duck´s Foot" bezeichnet wird (Zantop und Petersen 2007, S. 97–98).

Das hintere Kreuzband hingegen verläuft gegenläufig von kaudal ventral und dem medialen Femurkondylus nach kranial, dorsal und lateral am Tibiaplateau (ALLEX - alles fürs Examen 2012, S. 287). In Streckstellung windet sich das VKB distal bogenförmig um den Knorpel am vorderen Rand der Fossa intercondylaris (Petersen und Tillmann 2002, S. 713). An dieser Stelle findet man eine physiologische Einklemmung von Weichteilen, ein sogenanntes Impingement.

Das vordere Kreuzband hat eine Länge zwischen 31 (±3) mm und 36 (±6) mm. Derartige Informationen sind für eine Ersatzplastik von nicht unwichtiger Bedeutung. Das Kreuzband ist an Ansatz- und Insertionsfläche fächerförmig aufgeweitet, im mittleren

Drittel weist es eine querovale Querschnittfläche von 36,1mm² bei Frauen und 44mm² bei Männern auf (Petersen und Tillmann 2002, S. 714).
Außerdem lässt sich das vordere Kreuzband funktionell in zwei Bündel unterteilen, das anteromediale (AM) und das posterolaterale (PL) Bündel, die sich histologisch weder abgrenzen noch unterscheiden lassen (Odensten und Gillquist 1985). Ihre Namen sind auf die tibiale Insertionsfläche zurückzuführen. Das anteromediale Bündel entspringt femoral etwas weiter kranial als die Fasern des posterolateralen Bündels (Petersen und Tillmann 2002, S. 714–715).
Verschiedene biomechanische Untersuchungen ergaben, dass das anteromediale Bündel eher bei der Beugung des Kniegelenkes angespannt ist, somit einen größeren Bewegungssektor ausfüllt und damit als Führungsbündel bezeichnet werden kann. Das posterolaterale Bündel hingegen ist bei Flexion entspannt (Petersen und Tillmann 2002, S. 714–715). Bei einer Flexion von 45° entfaltet das AM-Bündel hauptsächlich seine stabilisierende Funktion und dient dabei vor allem der Sicherung gegen die anteriore Tibiatranslation (Zantop und Petersen 2007, S. 98–100). Bei einer Extension des Kniegelenkes verhält es sich genau gegensätzlich: Das AM-Bündel ist entspannt, während das PL-Bündel straff und gespannt ist und für eine gewisse Rotationsstabilität sorgt (Zantop et al. 2006, S. 984–985). Man kann daher letztgenannte Fasern auch als Sicherungsfasern bezeichnen (Petersen und Tillmann 2002, S. 714–715).
Durch dieses unterschiedliche Spannungsverhalten der einzelnen Faserbündel ist eine flexionsabhängige Faserrekrutierung des vorderen Kreuzbandes gewährleistet (Shafizadeh et al. 2014, S. 888). Es sind nie alle Ligamentfasern gleichzeitig angespannt, jede einzelne hat ihre eigene Funktion in der Bewegung des Kniegelenks.
Bei der histologischen Betrachtung der Kreuzbänder konnten keine Unterschiede bezüglich der funktionell verschiedenen Bündel nachgewiesen werden. Der Hauptteil der Kreuzbänder besteht aus straffem Bindegewebe. Die Extrazellulärmatrix setzt sich überwiegend aus Typ-I-Kollagen, das die hohe Zugfähigkeit der Kreuzbänder bedingt, und Typ-III-Kollagen zusammen, das mit seinen viskoelastischen Eigenschaften eine unterschiedliche Rekrutierung der Faserbündel erlaubt. Im vorderen Anteil des distalen Drittels des VKB kann man histologisch Knorpelzellen als Folge einer Anpassung an die Druck- und Schubbeanspruchung in den Kreuzbändern nachweisen (Petersen und Tillmann 2002, S. 716).
Bei der Streckung des Kniegelenkes besteht eine enge topografische Lage der Kreuzbänder zu den Poplitealgefäßen, in Beugestellung kann dieser Abstand vergrößert werden. Endäste der A. genus media und der Aa. genus inferiores mediales und laterales umgeben das Knie wie einen Ring und sorgen somit für eine Rundumblutversorgung (Petersen und Tillmann 2002, S. 717). Innerhalb der chondral apophysären Inser-

tionszonen, die sowohl femoral als auch tibial vorliegen, sowie innerhalb der Faserknorpelzone im Zentrum des Bandes sind keine Blutgefäße nachweisbar, was für ein schlechtes Heilungspotenzial spricht.
Für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes ist es notwendig, die genauen anatomischen Gegebenheiten zu kennen. Auf diese Weise können exakte Tunnel gebohrt werden, um eine funktionell hervorragende Ersatzplastik zu rekonstruieren, die annähernd die anatomische Funktion des rupturierten Kreuzbandes einnehmen kann (Hofbauer et al. 2014, S. 980).

2.1.2 Verletzungsmechanismen

Da das Kniegelenk ein stark belastetes und beanspruchtes Gelenk des menschlichen Körpers ist und vielen Kräften standhalten muss, kann es von unzähligen Verletzungen heimgesucht werden. Dabei können nahezu alle Strukturen des Kniegelenkes betroffen sein. Liegt gleichzeitig eine vordere Kreuzbandruptur, ein Innenmeniskusriss und eine Ruptur des medialen Seitenbandes vor, spricht man von einer *Unhappy Triad* (Kipper 2010, S. 5). Verletzungen des VKB treten nahezu allesamt bei sportlicher Betätigung auf. Besonders häufig findet man Kreuzbandverletzungen bei Kontaktsportarten wie Fußball, Basketball, Handball, aber auch bei Ski Alpin (Anderson 2003, S. 1256; Graf et al. 1992, S. 230; Aichroth et al. 2002, S. 38).
Es handelt sich dabei vorwiegend um Flexionsrotations-, Valgusrotations- oder Hyperextensionstraumen. Eine unerwartete, plötzliche und heftige Bewegung spielt dabei eine entscheidende Rolle, da es hierbei zu vermehrter exzessiver Spannung des vorderen Kreuzbandes kommt. Typische Bewegungsmuster dafür stellen plötzliche Abstoppbewegungen, Landungen nach einem Sprung und plötzliche Drehbewegungen bei fixiertem Unterschenkel dar (Shafizadeh et al. 2014, S. 888).
Da bei Kindern der gesamte Knochenapparat noch relativ weich und knorpelig ist, sind Kreuzbandverletzungen mit knöchernem Ausriss nicht untypisch. Diese werden häufiger an der Tibia beobachtet, femoral sind sie eher eine Seltenheit. Bei Kindern unter zwölf Jahren treten sie häufiger als Bandläsionen auf (Seil et al. 2010a, S. 81).
Akute Kreuzbandverletzungen gehen oft mit plötzlich stechenden Schmerzen, einem blutigen Gelenkerguss oder einer Schwellung einher (ALLEX - alles fürs Examen 2012, S. 288–289). Bei bis zu 65% aller vorderen Kreuzbandverletzungen kann ein sogenannter Hämarthros beobachtet werden und stellt damit eine sehr häufige Begleiterscheinung dar (Fabricant et al. 2013, S. 5). Zudem zählt er zu den wichtigen diagnostischen Kriterien für eine Kreuzbandverletzung (Micheli et al. 1999, S. 45). Im chroni-

schen Zustand kann es zu Instabilitäten und Wegknickereignissen, einem sogenannten „Giving-way“-Phänomen, kommen.
Meistens treten diese Verletzungen jedoch nicht isoliert auf, in 50% der Fälle liegen bei Kindern Begleitverletzungen vor (Marzi 2010, S. 296). Meniskusläsionen stellen dabei wohl eine der häufigsten dar (Graf et al. 1992, S. 232). Dabei kann sowohl der laterale als auch der mediale Meniskus geschädigt werden. Außerdem können zusätzlich zum Kreuzbandschaden auch Knorpelverletzungen auftreten. Dabei konnte eine höhere Prävalenz bei weiblichen Individuen festgestellt werden (Fabricant et al. 2013, S. 5).

2.1.3 Mögliche Folgen

Jede Operation birgt Komplikationen. So sollte auch vor jedem Eingriff eine ausführliche Aufklärung durch den zuständigen Arzt stattfinden, wenngleich die Komplikationsrate gering ist. Kreuzbandoperationen im Erwachsenenalter unterliegen einem Behandlungsalgorithmus, die Operationsmethoden sind gut erforscht und häufig sind gute Behandlungsergebnisse sichergestellt.
Bei Kindern ist die Sachlage ein wenig komplizierter. Kinder haben ein unterschiedlich hohes Wachstumspotenzial zum Zeitpunkt einer Kreuzbandverletzung. Dies ist zum einen vom Skelettalter und zum anderen von genetischen Faktoren abhängig. Das Kniegelenk trägt mit seinen beiden langen Röhrenknochen zu zwei Dritteln zum Längenwachstum der unteren Extremität bei. Sie haben damit das höchste Wachstumspotenzial des menschlichen Körpers, bei Frauen sind es rund 34 cm und bei Männern etwa 38 cm. Dabei resultieren etwa 60% des Wachstums aus der femoralen und nur etwa 40% aus der tibialen Wachstumsfuge (Seil et al. 2010a, S. 84).
Bei einer intraartikulären Kreuzbandverletzung besteht eine sehr enge topografische Nähe zur Epiphysenfuge. Bei Erwachsenen wird das Kreuzband vornehmlich mit einer Beugesehne ersetzt und femoral und tibial befestigt. Dafür stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung. Bei Kindern muss besonders auf die Wachstumsfugen geachtet werden, da bei deren Verletzung Wachstumsstörungen drohen können. Als die am meisten gefürchtete Komplikation ist dabei der Beinlängenunterschied zu nennen. Eine Verletzung der Wachstumsfuge kann einen Wachstumsstopp mit einem resultierenden kürzeren Bein auf der betroffenen Seite induzieren (Wester et al. 1994). Dies tritt vor allem bei einer zentral liegenden Schädigung der Epiphysenfuge auf (Seil et al. 2010a, S. 90–91). Es konnten jedoch besonders bei jüngeren Kindern auch Beinverlängerungen nach einer Verletzung als Folge einer Überaktivierung von Zellen aus der Wachstumsfuge beobachtet werden. Diese sind im Verlauf besser zu korrigieren, da sich bei Kindern die Beinlänge oftmals selbstständig wieder angleicht. Mittels eines

Zweiteingriffs mit Hilfe von Klammern ist es möglich eine temporäre Epiphysiodese durchzuführen, um das Wachstum eines Beines zu bremsen und somit einen Längenausgleich zu erreichen (Chotel et al. 2010, S. 1496–1499). Preiss et al. (2012, S. 851) konnten bei zwölf operierten Kniegelenken Beinlängendifferenzen nachweisen, wobei das betroffene Bein in acht Fällen länger und in vier Fällen kürzer war als das der Gegenseite. Andere Autoren konnten bei 55 untersuchten Patienten keine Wachstumsstörungen nachweisen (Marx et al. 2009, S. 49).

Liegt die Wachstumsstörung in der Peripherie der Wachstumsfuge, kann es zu einer Achsabweichung mit resultierenden O- oder X-Beinen kommen. Diese Verletzung trat bei Seil et al. (2010a, S. 90–91) häufiger femoral auf. Es kann jedoch auch zu einem Genu recurvatum bei Verletzung der Apophyse der Tibia führen (Seil und Robert 2005, S. 49–50).

Weiterhin konnte beobachtet werden, dass bei einer chronischen Kreuzbandverletzung oder bei einer verzögert durchgeführten Operation nach einem Kreuzbandschaden gehäuft Sekundärläsionen auftreten. Neben Instabilitätszeichen und dem sogenannten Giving-Way Phänomen (Shafizadeh et al. 2014, S. 889) treten bei vielen Patienten als Folge einer konservativen Therapie vornehmlich neue Meniskusschäden (Streich et al. 2010, S. 1484), aber auch Knorpelläsionen auf (Graf et al. 1992, S. 231–232). Bereits zwölf Wochen nach einer Verletzung steigt das Risiko für Innenmeniskus- und Knorpelschäden signifikant an (Lawrence et al. 2011a, S. 2586).

Kinder, die weiterhin auch nach einer Operation Sport treiben, haben ein erhöhtes Risiko für eine Reruptur (Shelbourne et al. 2009, e39(5)). Die Inzidenz für Rerupturen des Kreuzbandes beträgt bei Preiss et al. (2012, S. 851–852) 3,8%. Dies entspricht 34 Rerupturen bei 906 Patienten.

Insgesamt ist die Komplikationsrate nach derartigen Operationen relativ gering (Seil und Robert 2005, S. 49–50). Bei Preiss et al. (2012, S. 851) ist ein relatives Risiko für Beinlängendifferenzen von mehr als einem Zentimeter oder Achsabweichungen von mehr als drei Grad nach operativer Behandlung bei Patienten mit offener Wachstumsfuge bei 2,1% der Patienten (19 von 906) zu beobachten. Bei zwölf operierten Kniegelenken sind dabei Beinlängendifferenzen nachzuweisen. Eine Gruppe der Herodicus Society vermerkte eine Komplikationsrate von 11%. Fünfzehn von 140 Patienten unterlagen dabei einer Wachstumsstörung, wobei 80% auf der femoralen und 20% auf der tibialen Seite beobachtet werden konnten. Im Detail fand man bei zehn Patienten eine distale femorale Valgusdeformität, bei zwei Patienten einen Beinlängenunterschied von 2,5 cm und 3 cm und bei fünf Patienten ein Genu recurvatum (Kocher et al. 2002, S. 454).

2.1.4 Behandlungsmethoden

Grundsätzlich kann man eine Kreuzbandruptur – wie auch andere Verletzungen – auf zwei Arten behandeln. Zum einen durch die konservative Therapie mit Schienung des Kniegelenkes, Schonung und Physiotherapie. Dem Kniegelenk wird so die Möglichkeit gegeben, ohne äußere Einflüsse eine Heilung zu erfahren (Pressman et al. 1997, S. 510). Auf der anderen Seite hat sich die operative Therapie etabliert. Ohne das vordere Kreuzband fehlt es an Stabilität im Kniegelenk und die Funktion ist deutlich eingeschränkt. Als Folge dessen kann es zu erheblichen sekundären Schäden kommen und weitere Strukturen im Kniegelenk können beschädigt werden (Millett et al. 2002). Werden sportliche Aktivitäten ausgeübt, ist es von großem Vorteil, Stabilität im Kniegelenk zu haben. So hängt die Entscheidung der Therapie immer von mehreren Faktoren ab, wie dem Alter, den subjektiven und objektiven Beschwerden, der Stabilität, den Begleitverletzungen und Vorerkrankungen. Heutzutage wird die operative Therapie bei Erwachsenen bevorzugt, um die bestmöglichste Funktion wiederherzustellen und keine Einbußen bei sportlicher und alltäglicher Aktivität erfahren zu müssen. Demzufolge wird ein frühelektiver Eingriff etwa 4-6 Wochen nach einer akuten Kreuzbandruptur empfohlen (Shafizadeh et al. 2014, S. 890).

Aber auch bei der operativen Therapie gibt es Unterschiede. Die primäre Refixation durch eine Naht des Kreuzbandes ergibt jedoch unbefriedigende Ergebnisse, ebenso wie ein Kreuzbandersatz mit Allografts nicht zu den bevorzugten Operationstechniken zählt (Welsch et al. 2013, S. 206–207). Man kann auch bei einem Autograft-Transplantat, das eine vom jeweiligen Patienten entnommene Sehne darstellt, verschiedene Materialien wählen, wie zum Beispiel die Patellar-, die Quadrizeps-, die Semitendinosus- oder Gracilissehne. Beim Transplantatverlauf bevorzugt man eine möglichst anatomische Rekonstruktion. Die Fixation kann sowohl femoral als auch tibial auf unterschiedliche Weise erfolgen. Dabei kann gelenknah mittels Schrauben und gelenkfern mit TransFix-Systemen oder Kippkopf fixiert werden (Scheffler et al. 2007, S. 106).

Bei Kindern müssen allen voran die offenen Wachstumsfugen beachtet werden, die eine Entscheidung zur Operation im Vergleich zu Erwachsenen erschweren. Diese Konfliktsituation wird auch in der Wissenschaft kontrovers diskutiert und im Folgenden näher beleuchtet.

2.2 Hintergründe zur Problemstellung

2.2.1 Wachstumsprozesse im Kniegelenk

Das Wachstum eines jeden Menschen ist zu einem Großteil genetisch determiniert. Jedoch wächst jeder auf individuelle Weise mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und definierter Endgröße. Man muss dabei immer zwischen Skelettalter und chronologischem Alter unterscheiden, welche nicht immer identisch sein müssen. Die Skelettreife allein bestimmt, in welchem Wachstumsstadium sich jemand befindet und wie viel Restwachstum noch zu erwarten ist. Um eine Aussage darüber treffen zu können, wird ein konventionelles Röntgenbild der linken Hand angefertigt, in welchem die Knochenkerne zu sehen sind. Damit kann nun das Skelettalter bestimmt und eine Aussage über das verbleibende Wachstum getroffen werden (Fabricant et al. 2013, S. 5).
Die Wachstumsfugen sind für das Wachstum von ganz entscheidender Bedeutung. Am Kniegelenk gibt es gleich drei davon: die distale Fuge des Femurs, die proximale der Tibia sowie die Apophyse der Tuberositas Tibiae. Die femorale Fuge liegt dabei stets unverändert ungefähr 3 mm vom distalsten Punkt des Femurs entfernt und trägt etwa 37% zum Wachstumspotenzial der unteren Extremität bei, während die proximale Tibiafuge etwa 25% dazu beiträgt (Fabricant et al. 2013, S. 3). Bei Kindern befinden sich die Fugen in einem geöffneten Zustand, es besteht noch unterschiedlich viel Restwachstumspotenzial.
Die Epiphysenfugen selbst bestehen aus mehreren Knorpelzellschichten. Unter ihnen gibt es eine Proliferationszone, die für ständigen Nachschub an neuen Zellen sorgt, und eine Kalzifikationszone, in der die Knorpelzellen verkalken und die Mineralisierung der extrazellulären Matrix erfolgt. Durch die Osteoblasten wird daraus nun ausgereifter Knochen gebildet (Seil et al. 2012, S. 8). Eine Schicht aus fibrösem Gewebe, der sogenannte perichondrale Ring von Lacroix, gewährleistet dabei die feste mechanische Verankerung des epiphysären Knorpels am metaphysären Knochen und Periost (Seil et al. 2012, S. 8). Es handelt sich hierbei um eine äußerst sensible Stelle für Verletzungen. Mit zunehmendem Alter verknöchern die aktiven Zonen der Fuge allmählich und verschließen sich. Bei Mädchen erfolgt dies in einem Alter von etwa 14-15 Jahren, bei Jungen findet der Wachstumsfugenschluss etwa zwei Jahre später statt (Seil und Robert 2005, S. 48).
Kinder unterliegen einem Wachstum, das aus schnelleren und langsameren Phasen aufgebaut ist. Vor der Pubertät unterliegen sie einer Wachstumsgeschwindigkeit von etwa zwei Zentimetern pro Jahr. Im pubertären Wachstumsschub wird ein leichter Anstieg der Geschwindigkeit verzeichnet. Dies findet bei Mädchen in einem Alter von 11 Jahren und bei Jungen etwa mit 13 Jahren statt. Anschließend verlangsamt sie sich

wieder rapide ab dem 13. beziehungsweise 15. Lebensjahr. Der Verschluss der Fugen beginnt zentral und schreitet nach peripher fort. Das Wachstum ist ein Jahr später komplett beendet, die Wachstumsfugen sind verschlossen und die Person ausgewachsen (Seil et al. 2010a, S. 84).

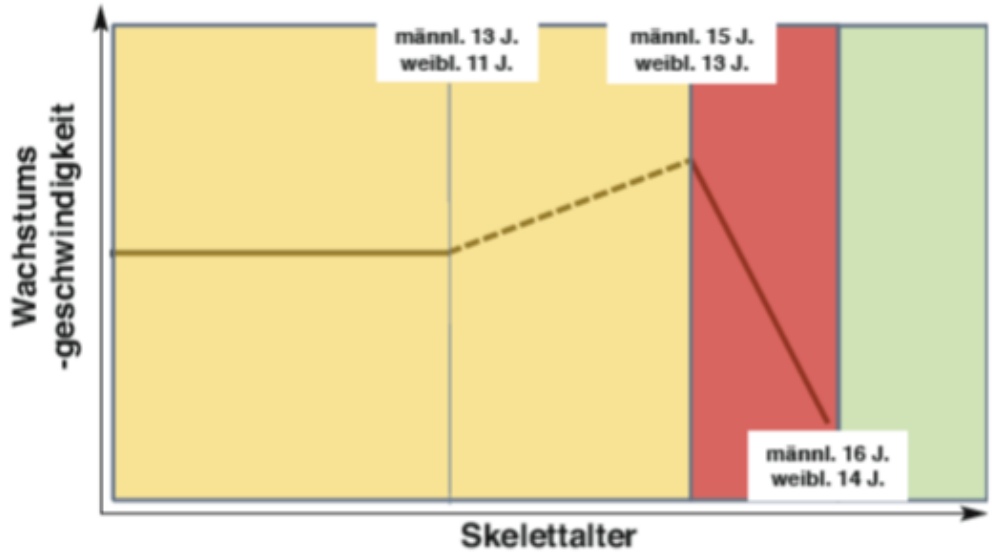


Abbildung 1: Wachstumsgeschwindigkeit der kniegelenknahen Fugen in Abhängigkeit vom Skelettalter
(Seil et al. 2010a, S. 84)

Sasaki et al. (2002) fanden heraus, dass kein Einziger aller untersuchten 11-Jährigen verschlossene Wachstumsfugen vorwies. In einem Alter von 12 Jahren war dies bei 5% der Fall, mit 13 Jahren bereits bei 34%, mit 14 Jahren bei 53%, mit 15 Jahren bei 94% und in einem Alter von über 16 Jahren waren die Fugen zu hundert Prozent geschlossen.

Während des Wachstums entstehen große Kräfte in den Wachstumsfugen, welche mit dem Alter langsam abnehmen und den Fugen erlauben, sich zu schließen (Chotel und Seil 2013, S. 585). Bylski-Austrow et al. (2001, S. 817) fanden eine Methode, die Kräfte in den Wachstumsplatten zu messen. Dabei haben sie die Verformungen von Klammern gemessen, die an den jeweiligen Wachstumsfugen zur Behandlung von Genua valga eingebracht worden waren. Weiteres Wachstum übte einen Druck auf die Klammern aus, was zu Verformungen führte. Diese wurden mit manuell herbeigeführten Verformungen verglichen und so die Kräfte berechnet, die auf die Wachstumsfugen bei Jugendlichen einwirken.

Weiterhin kann man auch sogenannte Knochenbrücken beim Wachstum nachweisen (Chotel et al. 2010, S. 1498). Wenn eine Wachstumsfuge durchbohrt wird, regeneriert sich der Fugenknorpel nicht, der Bohrkanal füllt sich jedoch mit Knochenmaterial. Es bilden sich Knochenbrücken, auch Epiphysiodesebrücken genannt, aus (Seil et al.

2012, S. 8–9). Sie können sich selbstständig resorbieren, indem sie durch die starken Distraktionskräfte, die durch das Wachstum verursacht werden, wieder gesprengt werden. Auf diese Weise erfolgt ein ständiger Umbauprozess in der Fugenregion (Seil und Robert 2005, S. 48). In verschiedenen Tierstudien konnte gezeigt werden, dass bei jüngeren Tieren, die keinen oder allenfalls einen kleinen Knochenkern aufwiesen, sich weniger Knochenbrücken ausbildeten als bei älteren Tieren mit größeren Knochenkernen, bei denen bereits die Wachstumsgeschwindigkeit nachgelassen hatte. Die Fugen wurden dadurch bei den älteren Tieren aufgrund der weniger ausgeprägten Distraktionskräfte überbrückt und es entstanden Wachstumsstörungen (Seil et al. 2012, S. 10).
Untersuchungen an Hunden ergaben, dass sich in Bohrkanälen, die man nicht mit Transplantat füllt, Knochenbrücken bereits zwei Wochen nach einer Operation ausbilden, wohingegen die komplett mit Transplantat versehenen Kanäle keine aufweisen. Das Transplantat wächst gut ein und scheint sich auf das Doppelte des Ausgangsdurchmessers vermehrt zu haben. Es entstehen dabei keinerlei Wachstumsstörungen (Stadelmaier et al. 1995, S. 431–432). Im Schafversuch zeigten sich bei leeren Tunneln und posterolateralen Plattenverletzungen hingegen aufgrund starker Ausbildung von Knochenbrücken verkürzte laterale Oberschenkelknochen (-8 mm), eine Valgusdeformität von 12,8° und eine Flexionsdeformität von 8,6° (Seil et al. 2008).
Der beschriebene Remodellierungsprozess bei der Verletzung einer Wachstumsfuge kann ab einer Beschädigung von 7-10% der Fugenoberfläche jedoch nicht mehr stattfinden und es resultieren Wachstumsstörungen. Bei zentraler Schädigung kann es zu Beinlängendifferenzen, bei einer peripheren Verletzung kann es schon ab einer beschädigten Fläche von 3-4% zu Achsabweichungen kommen (Seil et al. 2012, S. 10). Fugenverletzungen werden nur bis zu einem gewissen Grad toleriert. Daher ist es äußerst wichtig, bei Durchbohrung der Wachstumsfuge einen möglichst kleinen Durchmesser des Transplantates zu wählen. Auf diese Weise konnte gezeigt werden, dass ein Bohrkanaldurchmesser von 6-8 mm bei einem 10 Jährigen weniger als 5% der tibialen Wachstumsfuge verletzt. Achtet man zudem noch darauf, den Bohrkanal vollständig mit Transplantat aufzufüllen, um die Bildung von Knochenbrücken zu verhindern, werden Wachstumsstörungen immer unwahrscheinlicher (Seil und Robert 2004).
Kercher et al. (2009) fanden heraus, dass bei einem Bohrkanal von 8 mm Durchmesser weniger als 3% der Wachstumsfuge verletzt werden. Bei Vergrößerung des Durchmessers von 6 auf 11 mm beobachtete man einen Anstieg der verletzten Oberfläche von 2,3% auf 7,8%, welche nicht mehr ohne weiteres toleriert werden kann. Laut Daten von Makela et al. (1988) entstanden Wachstumsstörungen mit resultierender Beinverkürzung bei einer Beschädigung der Wachstumsfugenfläche von 7%.

Gebhard et al. (2006, S. 799) verglichen Patienten in einem Tanner Stadium 1-3, also präpubertäre, sehr unreife Kinder, mit solchen, die sich kurz vor dem Schließen der Wachstumsfugen im Tanner Stadium 4 und 5 befanden. Sie konnten dabei keine Unterschiede im Ergebnis feststellen. Sowohl der Lysholm Score als auch der objektive IKDC Score waren annähernd gleich. Die KT-1000-Messung ergab bei beiden Gruppen eine Seitendifferenz von 2,0 mm. Bei dieser Messung handelt es sich um eine Methode, die sagitalle Tibiatranslation gegenüber dem Femur zu messen und somit Rückschlüsse auf die Funktion oder Instabilität der Kreuzbänder ziehen zu können (Daniel et al. 1985b, S. 402). Bei der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes zeigte eine verzögerte Operation keinen Zusammenhang mit weiteren Folgeverletzungen (Funahashi et al. 2014, S. 1068). Auch Pressman et al. (1997, S. 507) erbrachten keinen Zusammenhang zwischen Patientenalter, Zeitpunkt der Behandlung und Ergebnis.
Einige Autoren sind sich einig, dass man Jugendliche nach ihrem letzten Wachstumsschub wie Erwachsene behandeln könne (Streich et al. 2010, S. 1481–1482). Sie handeln frei nach dem Motto: Je mehr Wachstum übrig ist, desto größere Gefahren für Wachstumsstörungen bestehen (Lawrence et al. 2010, S. 1971). Im Gegensatz dazu konnten in anderen Studien Wachstumsstörungen eher bei Kindern kurz vor der Skelettreife entdeckt werden (Chotel et al. 2010, S. 1496). Chotel und Seil (2013, S. 585) gehen davon aus, dass bei jüngeren Kindern höhere Kräfte in den Wachstumsfugen wirken und die Knochenbrücken, welche Wachstumsstörungen verursachen würden, somit besser wieder gelöst werden können. Aufgrund höherer Distraktionskräfte und damit verminderter Knochenbrückenbildung bei jüngeren Kindern erzielten auch Patienten mit weit offenen Fugen gute Ergebnisse (Micheli et al. 1999, S. 40–41).

2.2.2 Konservative Therapie

Bis weit in die 90er Jahre war man von der konservativen Therapie ganzheitlich überzeugt. Eine mögliche Verletzung von Wachstumsfugen bei Kindern kann somit umgangen werden. Die Behandlung besteht aus Rehabilitation, Schonung und Schienung. Auch heute noch gibt es Ärzte, die diese Form der Therapie bevorzugen, wenn auch der Großteil in jüngerer Zeit davon abgekommen ist (Preiss et al. 2012, S. 848). Aber auch Seil et al. (2010a, S. 85–86) sprechen sich für eine Bevorzugung der konservativen Therapie zu Anfang aus, sofern keine Meniskus- oder Knorpelläsionen zum Verletzungszeitpunkt vorliegen, die einer akuten Versorgung bedürfen. Durch engmaschige Kontrolluntersuchungen soll ein strukturiertes Rehabilitationsprogramm eingeleitet werden. Eine Operation ist nur dann vorgesehen, wenn klinische Instabilitätszeichen oder Sekundärläsionen auftreten. Kinder mit hoher Aktivität sollen besser zeitnah ope-

riert werden, da nicht sichergestellt werden kann, dass sie sich schonen und mit dem Sport zurückhalten (Andrews et al. 1994, S. 53).
In den letzten Jahren sprechen aber immer mehr Ergebnisse gegen diese Therapieform. Die konservative Therapie erzielt in 54% der Behandlungen schlechte Ergebnisse und 35% der Patienten mussten letztendlich doch operiert werden (Barrack et al. 1990). Bei einer Studie von Mizuta et al. (1995) kehrte von 18 Patienten nur ein einziger zu seinem sportlichen Aktivitätsniveau vor der Verletzung zurück. Zudem traten infolge von Instabilität sekundäre Meniskusschäden bei sechs Patienten und degenerative Prozesse bei elf Patienten auf (Mizuta et al. 1995).
Die Gefahr von sekundären Meniskus- oder Knorpelschäden sowie von Arthrofibrose ist erhöht. Von drohender Instabilität sind Erwachsene in etwa 50-60% der Fälle betroffen. Im Gegensatz dazu liegt bei Kindern die Rate sogar bei 89% (Seil et al. 2012, S. 13). Diese Folgen sollten vermieden werden.

2.2.3 Verzögerte Rekonstruktion

Bei vielen Kindern mit einer vorderen Kreuzbandruptur und geöffneten Wachstumsfugen kann bereits ein Abwarten von 6-12 Monaten zur vollendeten Skelettreife und damit zum Abschluss des Wachstums führen. Dabei verschließen sich die Fugen allmählich und Knochenbrücken bilden sich aus (Woods und O'Connor 2004, S. 208). In diesem Zustand können Operationen wie bei Erwachsenen durchgeführt werden, da kein Wachstumspotenzial mehr in den Fugen verbleibt. In einer Studie wurden 116 Patienten mit verschlossenen Fugen mit 13 Patienten verglichen, die sich einer im Durchschnitt um 70 Monate verzögerten Operation unterzogen. Die verschiedenen Patientengruppen wiesen ähnliche Ergebnisse auf, es wurde keine signifikant höhere Rate an zusätzlichen Verletzungen gefunden (Woods und O'Connor 2004, S. 202–205). Bei einer verzögerten Operation müssen jedoch folgende Voraussetzungen erfüllt werden: Sowohl die Patienten als auch deren Eltern müssen sich der Wichtigkeit von Regeln bewusst sein und dafür den ungefähren Zeitraum bis zur Operation kennen. Während dieser Zeit müssen die Kinder bei Aktivitäten jeglicher Art eine Schiene tragen und dürfen an bestimmten Sportarten nicht teilnehmen. Es gilt ein Verbot für die Ausübung von Kontakt- und Stop-and-Go Sportarten sowie für Sprünge (Woods und O'Connor 2004, S. 207).
Andere Autoren sehen den Sachverhalt anders. So ergeben sich beim Abwarten bis zum Wachstumsfugenschluss deutlich schlechtere Ergebnisse bei der verzögerten Operation im Vergleich zu einer sofortigen Durchführung bei geöffneten Wachstumsfugen. Bei sofortiger VKB-Ersatzplastik sind im Verlauf bei 16% der Patienten mediale

Meniskusschäden aufgetreten, bei den Patienten mit verzögerter Operation bis zum Wachstumsfugenschluss findet man diese dagegen bei 41%. Interessant dabei ist, dass jedoch kein Unterschied bei den lateralen Meniskusschäden zu finden ist (Henry et al. 2009).
Auch Lawrence et al. (2011a) fanden bei einer Verzögerungszeit von mehr als 12 Wochen bis zur Rekonstruktion ein vierfach erhöhtes Risiko für mediale Meniskusschäden, ein dreifach erhöhtes Risiko für patellotrochleare Knorpelläsionen und für laterale Knorpelläsionen war das Risiko sogar elffach erhöht.

2.2.4 Operative Therapie

Aufgrund der beschriebenen schlechten Ergebnisse der konservativen Therapie und der bis zum Wachstumsfugenschluss verzögerten Operation war man praktisch gezwungen, eine andere Therapieform anzuwenden. Kinder sind oft aktiv und ständig in Bewegung – eine ausreichende Schonung des Kniegelenkes ist daher nicht gewährleistet. Bei sportlich aktiven Kindern sowie auch bei Kindern, die bereits eine höhergradige Instabilität oder bestehende schwerwiegende Begleitverletzungen aufweisen, ist somit eine Operation frühzeitig indiziert (Lawrence et al. 2011b, e39(5)).
Einige Studien haben durchaus gute Ergebnisse dabei erbracht. Bei McCarroll et al. (1988) erreichten von 24 Patienten, die sich einer operativen Therapie unterzogen, alle ihr vorheriges Aktivitätsniveau wieder und lediglich zwei erlitten nach drei Jahren eine Reruptur. Auch in einer Studie von Aichroth et al. (2002, S. 38) konnte bei den 47 behandelten Patienten keine Schädigung der Wachstumsfuge oder Beinlängendifferenzen in der Nachuntersuchung festgestellt werden. Henry et al. (2009, S. 751) konnten ebenfalls keine Wachstumsstörungen nach früher Operation nachweisen.
Einen signifikanten Unterschied zwischen der Operation bei offenen Fugen (n = 232) und bei Gleichaltrigen mit geschlossenen Fugen (n = 1635) gibt es nicht. Dabei wurde die Zahl der Reoperationen, der Knorpelläsionen und Meniskusschäden von Csintalan et al. (2013) in einer Zusammenfassung verglichen. Somit zeigen viele Studien bereits, dass die operative Therapie eine sehr gute Alternative darstellt.

2.2.4.1 Epiphysenfugen schonende Technik

Um sich an eine Operation bei Kindern heranzutasten, wurden verschiedene Operationstechniken erprobt. Da sich die Naht des Kreuzbandes als eine Methode mit äußerst schlechten Ergebnissen erwies (Kocher et al. 2005, S. 2377), wurde zunächst versucht, die Wachstumsfugen bei einer Operation zu umgehen, um Wachstumsstörun-

gen auf diese Weise aus dem Weg zu gehen. Die sogenannten physeal-sparing-Techniken (Fugen aussparenden Techniken) wurden von Andrews et al. (1994, S. 50) begründet. Er kombinierte eine intra- und extraartikuläre Technik miteinander. Dabei wird der tibiale Bohrkanal durch die Wachstumsfuge gebohrt und „over-the-top“, also außerhalb des Gelenkes und somit die Epiphysenfuge umgehend, am Femur positioniert. Mit dieser Technik hat er durchaus gute Ergebnisse erzielen können. Bei seinen acht Patienten traten keine signifikanten Beinlängenunterschiede oder klinischen Auffälligkeiten auf.

Andere Autoren bedienten sich ebenfalls dieser Technik, wie beispielsweise Kocher et al. (2005, S. 2376–2378). Die Patienten konnten anschließend wieder Sport treiben und erzielten exzellente klinische Ergebnisse. Der IKDC Score lag bei 96,7 ± 6,0 Punkten und der mittlere Lysholm Score betrug 95,7 ± 6,7 Punkte. Da es sich um eine nichtanatomische Rekonstruktion handelt, muss man diese Technik jedoch als Übergangslösung ansehen, da die Kinder im Erwachsenenalter eine weitere, definitive Operation benötigen (Micheli et al. 1999, S. 40–46).

2.2.4.2 Epiphysäre Technik

Man versuchte mit einer anderen Technik eine endgültige Lösung für die anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes zu finden. Bei der epiphysären Technik bohrt man die Tunnel sowohl femoral als auch tibial intraartikulär. Die Verankerung durch Interferenzschrauben findet jedoch jeweils innerhalb der Epiphyse statt. Die Wachstumsfugen werden somit im besten Fall überhaupt nicht durchbohrt oder tangiert. Diese Technik etablierte Anderson (2003, S. 1258–1259) und erzielte damit gute Ergebnisse. Der mittlere IKDC Score lag bei 96,5 ± 4,4 Punkten. Die Messung mit dem KT-1000 Arthrometer ergab eine mittlere Seitendifferenz von 1,5 ± 1,1 mm. Die objektive Untersuchung nach dem IKDC ergab bei sieben Patienten eine normale Kniefunktion und bei fünf eine fast normale. Auch Nachahmer wie Lawrence et al. (2010, S. 1976) und Cassard et al. (2014) erreichten gute Ergebnisse. Bei letzterem traten bei 28 behandelten Patienten mit offenen Wachstumsfugen weder Meniskus- oder Knorpelläsionen noch Beinlängenunterschiede oder Achsabweichungen auf.

Praktisch ist diese Technik äußerst schwierig umzusetzen. Die räumliche Nähe zu den Wachstumsfugen und die geringe Breite der Epiphyse erfordern großes Fingerspitzengefühl des Operateurs. Eine ungenaue Durchführung und kleinste Abweichungen können zu Verletzungen und Wachstumsstörungen führen.

2.2.4.3 Transphysäre Technik

Bei der transphysären Technik wird sowohl die femorale als auch die tibiale Wachstumsfuge durchbohrt. Wird eine steile Anlage des Bohrkanals, ein möglichst geringer Transplantatdurchmesser und die komplette Füllung des Bohrkanals mit Sehnenmaterial beachtet, ist die Gefahr für Wachstumsstörungen so gering wie möglich. Mit dieser Technik wird eine anatomische Rekonstruktion gewährleistet und durch die fugenferne Verankerung eine Verletzung der Fugen verhindert (Becker und Kopf 2009, S. 160). Im Schafversuch zeigten sich keinerlei Wachstumsstörungen (Seil et al. 2008). Solche entstehen dann, wenn die perichondralen Strukturen durch zu starkes Aufbohren verletzt werden.

Die transphysäre Rekonstruktion erbrachte bei Kocher et al. (2007) gute Ergebnisse. Sie konnten bei 59 behandelten Patienten einen mittleren IKDC Score von 89,5 ± 10,2 Punkten, einen mittleren Lysholm Score von 91,2 ± 10,7 Punkten und keinerlei Achsabweichungen oder Beinlängenunterschiede aufweisen. Auch andere Autoren halten sich genau an die technischen Gegebenheiten und Besonderheiten bei Kindern. Matava und Siegel (1997) konnten mit der transphysären Technik, bei welcher die Semitendinosus- und die Gracilissehne zum Einsatz kamen, ebenfalls gute Ergebnisse erreichen. Das mittlere Patientenalter betrug bei ihnen 14 Jahre und neun Monate. Mit einem Transplantatdurchmesser von 7-9 mm wurden keine Wachstumsstörungen erzeugt und alle acht Patienten konnten zu ihrem Aktivitätsniveau vor der Verletzung zurückkehren.

Ebenfalls gute Ergebnisse erzielte eine Studie mit 26 Patienten, die mit Hamstring-Sehnen versorgt wurden. Sowohl die subjektiven Parameter wie der Lysholm Score (93,5 ± 4) und der IKDC-Score (91,5 ± 5,7), als auch die Messung mit dem KT-1000 ergaben vergleichbare Ergebnisse. Bei letzterem konnte eine Seitendifferenz von 2,0 ± 1,0 mm erhoben werden (Cohen et al. 2009).

Ein vergleichbares Outcome konnten auch Kohl et al. (2013, S. 2) vorweisen. Der mittlere Lysholm Score lag sogar bei 94,0 Punkten. Von den untersuchten 15 Patienten hatten dreizehn einen Beinlängenunterschied, der in einem Spektrum von -10 mm bis +9 mm in einem absolut physiologischen Bereich lag. Ein Patient entwickelte jedoch eine progressive Valgus-Fehlstellung. Diese Komplikation konnte auf einen operationstechnischen Mangel zurückgeführt werden. Die Bildgebung zeigte, dass der Bohrkanal nicht zentral gelegen war, sodass er die Wachstumsfuge etwas schräger durchschnitt und somit eine größere Oberfläche beschädigte.

2.2.4.4 Transplantatwahl

Der Goldstandard in der Kreuzbandchirurgie war in den 1970er und 80er Jahren die Entnahme der Patellarsehne als Transplantat. Die Sehne wird mit zwei Knochenblöcken aus Patella und Tuberositas tibiae entnommen. Dies stellt eine Garantie für eine sichere Fixation dar und eine schnelle Einheilung des Transplantates ist häufig sichergestellt. So können bereits nach sechs Wochen fast abgeschlossene Einheilungsprozesse beobachtet werden (Mayr et al. 2009, S. 86). Allmählich zeigen sich jedoch auch die Nachteile dieses Transplantates. Es kann zu persistierenden Schmerzen im Bereich der Patella kommen, die verminderte Sehnenkraft kann zu Frakturen der Patella oder Knorpelschäden führen (Weller et al. 1997, S. 229). Es werden häufig eine postoperative Bewegungseinschränkung mit einem Streckdefizit und eine hohe Entnahmemorbidität beobachtet. Dazu zählen ein vorderer Knieschmerz, eine Tendinose der Patella oder Sensibilitätsstörungen aufgrund einer Verletzung des in der Nähe liegenden N. saphenus (Mayr et al. 2009, S. 86–87). Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass Knochenblöcke im Bohrkanal auf Höhe der Wachstumsfuge einen Wachstumsstopp induzieren (Fabricant et al. 2013, S. 6). Daher muss besonders bei Kindern auf die Knochenblöcke geachtet werden oder man weicht auf ein anderes Transplantat aus.

In vielen Studien haben sich Hamstring-Sehnen im Vergleich zu Patellarsehnen weitestgehend durchgesetzt. Die Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen liegen bei 1,9%, während sie bei einer Operation mit der Patellarsehne 3,6% betragen (Seil et al. 2012, S. 13–14). Unter Hamstring-Sehnen versteht man die Zusammenfassung der ischiocruralen Muskulatur. Dazu zählen die Sehne des Musculus Semimembranosus, Semitendinosus und des Bizeps femoris (Ropiak und Bosco 2012, S. 41). Das am häufigsten verwendete Transplantat ist die Semitendinosus Sehne (STS). Ihr Ursprung liegt am Tuberculum ischiadicum und der Ansatz gemeinsam mit den Musculi Gracilis und Sartorius an der medialen Metaphyse der Tibia im sogenannten Pes anserinus. Seine Funktion ist die Flexion und Innenrotation des Kniegelenks. Die Beugesehnen besitzen mehr Typ-II-Muskelfasern im Vergleich zu Patellarsehnen und können somit eine größere Muskelschnellkraft erzeugen. Zudem haben Hamstring-Sehen einen um 20–30% höheren Anteil an Kollagenfibrillen und eine 35–50% höhere Fibroblastendichte, was aufgrund der besseren viskoelastischen Eigenschaften für ein besseres Remodelling und eine bessere Regeneration spricht (Hadjicostas et al. 2007). Als weiterer Vorteil bei den Beugesehnen ist die geringere Entnahmemorbidität zu nennen. Es werden weniger postoperative Schmerzen beobachtet. Lediglich ein Beugedefizit wird häu-

figer festgestellt. Entnimmt man bei schwacher STS zusätzlich die Gracilissehne, kann die Kraftminderung noch stärker ausgeprägt sein (Schöler, S. 28–29).
Jedoch dauert die biologische Einheilung der Beugesehnen länger im Vergleich zur Patellarsehne. Das straffe Bindegewebe der Sehne wächst dabei direkt in den Knochen ein, was eine längere Dauer von etwa 6–12 Wochen in Anspruch nimmt (Scheffler et al. 2007, S. 105). Bei der Einheilung von Hamstring-Transplantaten spricht man von einer indirekten Ligamentisation, bei der sich anfänglich fibröses Bindegewebe, ähnlich den Sharpey-Fasern, ausbildet (Kopf et al. 2009, S. 48). Dagegen liegt bei Patellarsehnen eine chondral apophysäre Insertionszone vor, bei der das Bindegewebe über eine schmale Zone aus Faserknorpel am Knochen inseriert und somit schneller einheilt und schon nach 4–6 Wochen eine höhere Ausreißkraft aufweist als die Beugesehnentransplantate (Petersen 2009b, S. 98). In Schafversuchen konnte gezeigt werden, dass Transplantate nach 24 Wochen bereits dick gepackte Kollagenfasern mit paralleler Anordnung enthalten und die biomechanische Stärke bei 69% des ursprünglichen Kreuzbandes liegt (Meller et al. 2008). Im histologischen Bild sieht das Kreuzbandtransplantat bereits nach 12 Monaten wie das Original aus (Falconiero et al. 1998).
Eine weitere Alternative stellen die Quadrizepssehnen dar. Ihr Querschnitt ist größer als der der Patellarsehne, die mechanischen Eigenschaften sind ähnlich, die Entnahmemorbidität jedoch geringer (Mayr et al. 2009, S. 88–89). Aufgrund der niedrigeren Fallzahlen kann zum jetzigen Zeitpunkt jedoch keine Aussage über die Güte der Quadrizepssehne als Ersatz für ein Kreuzband getroffen werden.

2.2.4.5 Fixationsmethoden

Bei den aktuellen Ersatzplastiken können verschiedene Fixationsmethoden unterschieden werden. Grundsätzlich gilt dabei, dass die Fixation bei Beugesehnen besonders wichtig ist, da sie langsamer einheilen als Patellarsehnen und somit die Fixation die anfängliche Stabilität des Transplantates gewährleisten muss (Petersen 2009b, S. 100). Dabei kann man grundsätzlich eine gelenknahe Fixation, bei der die Verankerung am Tunneleingang durchgeführt wird, von einer gelenkfernen unterscheiden (Scheffler et al. 2007, S. 106). Zu den Fixationsmethoden zählen zum Beispiel der Endobutton® (Smith & Nephew) oder Retrobutton® (Arthrex, Naples) und tibialseitig der Endotack® (Karl Storz, Tuttlingen), die Suture Disc® (B.Braun, Sempach), Schrauben oder Klammern (Arthrex, Naples).
Es wird zwischen direkten und indirekten Methoden unterschieden. Erstere befestigen das Transplantat beispielsweise mittels Schrauben direkt am Knochen. Bei der indirek-

ten Befestigung werden die Transplantate über Fäden, Schlaufen und Anker am Knochen befestigt (Petersen 2009b, S. 100–101). Durch ein Verkippen kommt ein Anker auf dem femoralen oder tibialen Kortex zu liegen (Seil et al. 2012, S. 18). Der Endobutton® selbst ist ein längliches, abgerundetes Titan-Plättchen mit vier Löchern für die Kipp- und Zugfäden des Transplantates.

Aufgrund hoher Elastizität und geringer Steifigkeit kann es zu einer irreversiblen Längenzunahme des Transplantates und vermehrten axialen Bewegungen, dem sogenannten „Bungee-Cord-Effekt", kommen. Dieses Phänomen wird besonders femoral beobachtet (Petersen 2009c, S. 202). Durch eine irreversible Längenzunahme des Transplantates entstehen Bewegungen quer zum Knochentunnel und resultieren im sogenannten „Scheibenwischereffekt" mit Bohrkanalaufweitung (Scheffler et al. 2007, S. 107–108; Schneider et al. 2008, S. 420–421).

Ein etwas neueres Verfahren stellt die transfemorale Technik dar, wie zum Beispiel die RigidFix® Pins (Mitek). Die Pins werden dabei transversal und orthogonal durch den Tunnel eingebracht, sodass das Transplantat im Tunnel aufgehängt wird. Die RigidFix® Methode bringt dabei eine gute Sekundärstabilität hervor und die maximale Last ist nach sechs Wochen höher als die bei Interferenzschrauben (Petersen 2009b, S. 104–105).

2.2.5 Maßnahmen bei Kindern

Bei Kindern besteht die Besonderheit, dass sie sich noch im Wachstum befinden. Daher muss bei einer Operation besonders auf die Epiphysenfugen geachtet werden, um diese nicht zu beschädigen und Wachstumsstörungen zu provozieren. Es hat sich jedoch gezeigt, dass erfahrene Operateure durchaus gute Ergebnisse erzielen können. Es müssen bei der Operation lediglich einige Dinge beachtet und Abänderungen an der Operationstechnik der Erwachsenen vorgenommen werden, damit die Wachstumsfuge möglichst geringe Schäden davonträgt (Lawrence et al. 2011b, e39(1)).

Dabei ergeben folgende Prinzipien: Die Tuberositas Tibiae sollte ausgespart werden, um ein Genu recurvatum zu vermeiden. Thermale Schädigungen der Fuge sollten vermieden und ein kleiner Transplantatdurchmesser gewählt werden. Das Transplantat sollte den Bohrkanal komplett ausfüllen und fugenfern fixiert werden (Courvoisier et al. 2011, S. 590). Der Tunneleingang sollte etwas weiter medial liegen, um die Apophyse der Tuberositas mit Sicherheit auszusparen (Seil et al. 2010a, S. 87–88). Die Transplantate sollten dabei relativ steil verlaufen, um die Wachstumsfugen so gering wie möglich zu tangieren (Lawrence et al. 2011b, e39(5)).

Wachstumsfugenverletzungen von mehr als 10% der Fläche besitzen eine größere Gefahr für Wachstumsstörungen (Wilmes et al. 2009, S. 39–40). Allein die Veränderung des Winkels von 45°, wie es bei Erwachsenen durchgeführt wird, auf 70° verringert den Prozentsatz der Fugenverletzung von 4,1% auf 3,1%. Eine transtibiale femorale Tunnelanlage ermöglicht dabei die Anlage einer vertikaleren Tunnelposition (Seil et al. 2010a, S. 87–88). Bei einem Bohrkanaldurchmesser von 8 mm werden beispielsweise weniger als 3% der Wachstumsfuge verletzt (Kercher et al. 2009).

Als Ursache von Wachstumsstörungen können vor allem operationstechnische Mängel genannt werden (Yoo et al. 2011, S. 693). Dazu zählen unter anderem Transplantate mit Knochenblöcken in der Wachstumsfuge, wie etwa beim Patellarsehnentransplantat, zu große Bohrkanäle, Verletzungen der Tuberositasapophyse an der Tibia, Verletzung des Ranvierschen Schnürrings am Femur oder des perichondralen Rings nach LaCroix (Ulmer et al. 2008, S. 280). Die Anzahl der möglichen Fehlerquellen ist somit recht groß. Das Ausmaß der Achsabweichung hängt dabei von der Lage des Bohrkanals ab (Wester et al. 1994, S. 520). Durch zu weit anteriore oder zu hohe („High-noon“) femorale Tunnelpositionen kann es vermehrt zu einem Impingement des Transplantates in der Notch, einer Streckhemmung oder zu verminderter Rotationsstabilität kommen (Zantop und Petersen 2007, S. 103). Liegt der tibiale Tunnel zu weit hinten, kann ebenfalls die Stabilität eingeschränkt sein. Bei zu weit vorne liegendem Tunnel ist ein Streckdefizit möglich (Zantop und Petersen 2007, S. 100–103).

Um die exakte Tibiainsertion auffinden zu können, kann man sich anatomischer Hilfsstrukturen bedienen. Das vordere Kreuzband inseriert tibial durchschnittlich 23 mm vom vorderen Rand des Tibiaplateaus entfernt (Petersen und Tillmann 2002, S. 715), wobei das AM-Bündel auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns inseriert (Petersen et al. 2013, S. 196–197) und das PL-Bündel etwa 8 mm vom HKB entfernt (Zantop und Petersen 2007, S. 100–103).

3 Ziel der Arbeit

Mit dieser klinischen Anwendungsbeobachtung soll die subjektive und objektive Funktionalität des Kniegelenkes nach einem vorderen Kreuzbandersatz bei geöffneter Wachstumsfuge untersucht werden. Wie zufrieden sind die Patienten nach ihren Kniegelenkoperationen? Können sie ihr voriges Aktivitätsniveau wieder erreichen? Sind sie bei täglichen Aktivitäten eingeschränkt?

In dieser Studie wurden alle Patienten mit einem Transplantat versorgt, das durch die zum Zeitpunkt der Operation geöffneten Epiphysenfugen verlief. Nun gilt es zu beobachten, ob die Patienten Schäden davongetragen haben. Wird die Wachstumsfuge verletzt, besteht die Gefahr, dass Wachstumsstörungen hervorgerufen werden können. Sind Beinlängendifferenzen, Achsabweichungen oder Instabilitäten im Kniegelenk aufgetreten? Gibt es Auffälligkeiten in der Magnetresonanztomografie bei Betrachtung der Bohrkanäle und der Transplantate? Können Tunnelaufweitungen beobachtet werden?

Wie sind die Ergebnisse im Vergleich zu Ergebnissen anderer Autoren und der aktuellen Literaturlage einzuschätzen?

Diese Studie soll sich mit der Frage befassen, ob sich die operative Therapie langfristig bei Kindern durchsetzen kann oder ob die Risiken zu hoch sind. Je besser die regelmäßigen Nachkontrollen erfolgen, desto eher können eventuell aufgetretene Fehlbildungen und Wachstumsstörungen reguliert werden.

Die mittelfristigen Nachuntersuchungen im Rahmen dieser Studie dienen der erneuten Erfassung der Funktionalität des Kniegelenks, der Patientenzufriedenheit und Belastbarkeit des Kniegelenkes im Vergleich zum Zustand vor der Operation.

Der Erfolg der Operation und deren Ergebnisse werden an folgenden Kriterien beurteilt:

- Subjektive Funktionalität des Kniegelenkes
- Subjektive Zufriedenheit
- Bandstabilität
- Aktivitätsniveau
- Ausprägung von Veränderungen in der Magnetresonanztomografie

4 Material und Methoden

4.1 Patienten

4.1.1 Patientenauswahl

Die Patienten, die für diese Studie ausgewählt wurden, mussten bestimmte Einschlusskriterien erfüllen. Mittels der Datenbank KAOS, welche am Universitätsklinikum Gießen verwendet wird, wurden zunächst alle Patienten ermittelt, bei denen in den letzten zehn Jahren nach Erstellen dieser Arbeit, also zwischen 2004 und 2014, eine vordere Kreuzbandersatzplastik in jungen Jahren stattgefunden hat. Nun galt es aus der Masse von über 600 Patienten diejenigen herauszufiltern, bei denen diese Operation im Kindesalter beziehungsweise vor der Vollendung des 16. Lebensjahres stattgefunden hat. Die Selektion ergab 34 Patienten, die weiteren speziellen Kriterien unterzogen werden mussten. Dazu wurden die präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen zur Beurteilung der Wachstumsfugen zu Rate gezogen und die Patienten aussortiert, bei denen die Fuge bereits verschlossen war. Letztendlich konnten 20 Patienten in diese Studie eingeschlossen werden.

Folgende Einschlusskriterien wurden für die Studie festgelegt:

- Männliches und weibliches Geschlecht
- Alter zum Zeitpunkt der Operation 10-16 Jahre
- Diagnose: Ruptur des vorderen Kreuzbandes
- Geöffnete Wachstumsfuge zum Zeitpunkt der Operation
- Transphysäre Operationstechnik
- Operation wurde in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie in Gießen durchgeführt

Des Weiteren wurden folgende Ausschlusskriterien vereinbart:

- Abgeschlossenes Wachstum bei der Operation
- Konservative Therapie
- Schwangerschaft
- Herzschrittmacher
- Operation in einem anderen Zentrum

4.1.2 Studienverlauf

Die ausgewählten 20 Patienten wurden telefonisch kontaktiert, um vorab eine kurze Information über die klinische Studie zum vorderen Kreuzbandersatz zu geben. Dabei wurden die Adressen auf ihre Richtigkeit geprüft, um die Patienten im weiteren Verlauf

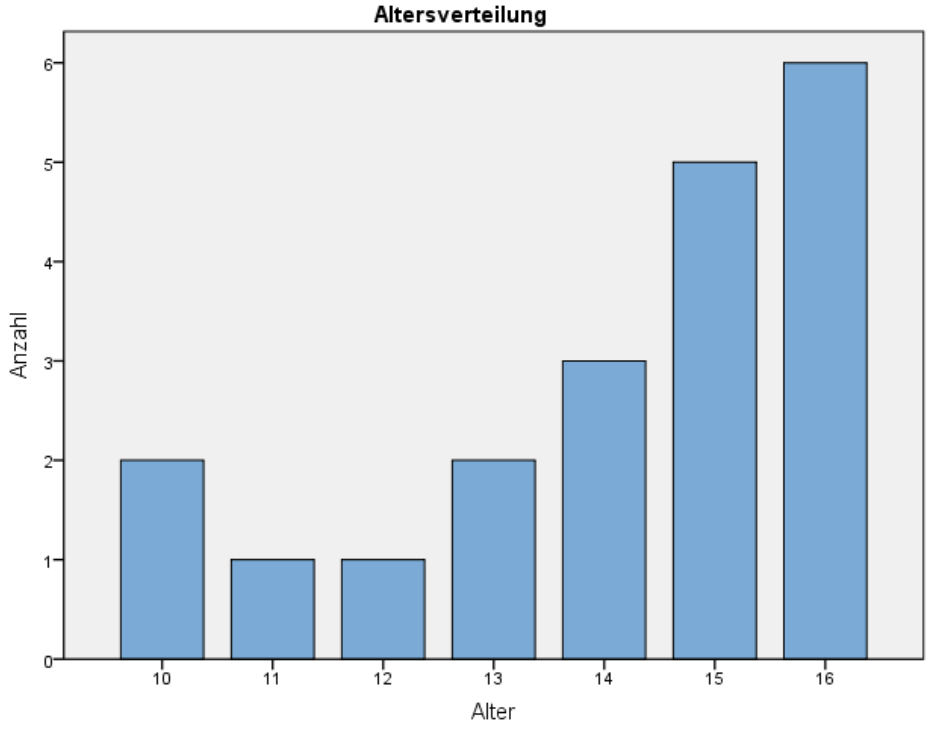
per Post erreichen zu können. 80% (16 Patienten) konnten auf diesem Weg kontaktiert werden, bei den übrigen vier waren die Telefonnummern nicht mehr aktuell und es konnte auch keine ermittelt werden.

Die Patienten erklärten sich einverstanden, sich per Post die Aufklärung und Einverständniserklärung sowie einige Fragebögen zur subjektiven Funktionalität des Kniegelenkes zukommen zu lassen. Um eine hohe Rücklaufquote sicherzustellen, wurden den Anschreiben bereits frankierte Rückumschläge beigelegt, damit die Teilnahme möglichst leicht, unkompliziert und kostenfrei für die Patienten ablaufen konnte.

Mit der vorliegenden Einverständniserklärung konnte ein Termin zur Magnetresonanztomografie des Kniegelenkes am Universitätsklinikum Gießen vereinbart werden. Eine anschließende Vorstellung in der orthopädischen Sprechstunde zur klinischen Untersuchung des Kniegelenkes, einschließlich Beinlängenbestimmung, Achsabweichung, Bestimmung des Bewegungsausmaßes und verschiedene funktionelle Tests waren ebenfalls Bestandteil der Studie. Die Untersuchung wurde immer von derselben Person durchgeführt, welche diese Arbeit angefertigt hat.

4.1.3 Allgemeine Patientendaten

Von den 20 Patienten sind 16 männlich und vier weiblich. Der mittlere Altersdurchschnitt beträgt 14,1 Jahre. Die Verteilung des Alters ist in folgender Grafik dargestellt.

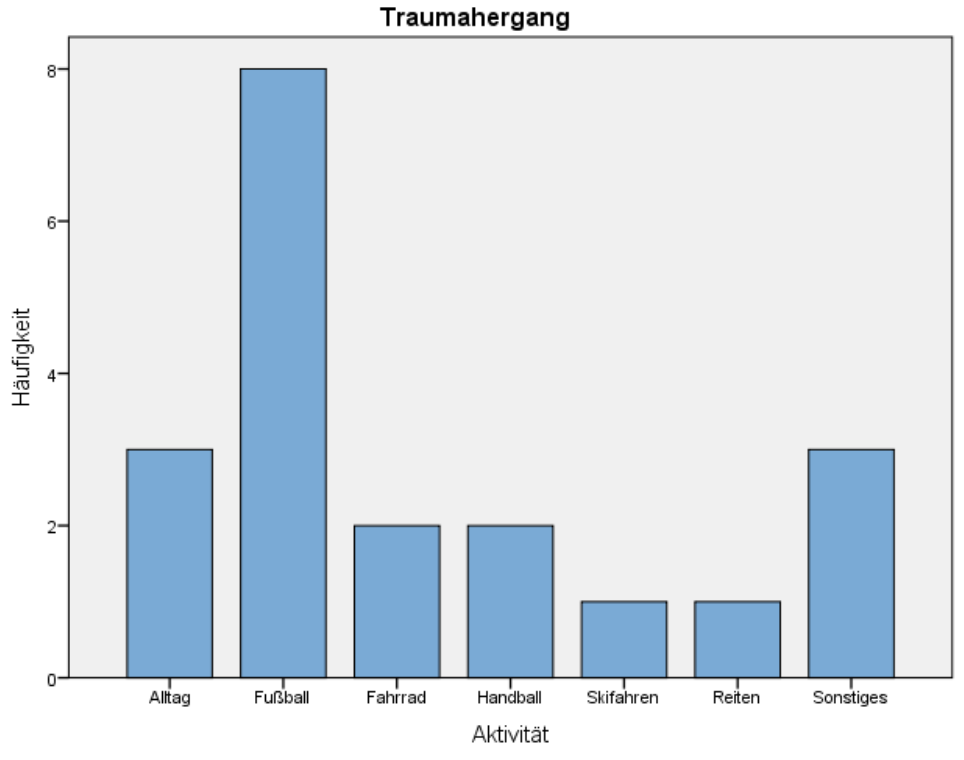


Grafik 1: Altersverteilung

Dabei verletzten sich genau gleich viele Patienten das vordere Kreuzband des linken und rechten Beins, nämlich jeweils zehn. Für die operative Versorgung wurden zwei unterschiedliche Operationstechniken angewandt, die in der Literatur jedoch als gleichwertig erachtet wurden (Basad et al. 2010). So wurden elf Patienten mit Rigid Fix® Pins und neun mit einem Endobutton® versorgt.
Die Zeit von der Verletzung bis zur Operation betrug im Median 1,55 Monate und reichte dabei von 16 Tagen bis zu 2,4 Jahren. Die Zeit bis zur Nachuntersuchung betrug durchschnittlich 67,9 Monate, was 5,66 Jahren entspricht (range 39–98 Monate; 3,25–8,17 Jahre).

4.1.4 Traumahergang

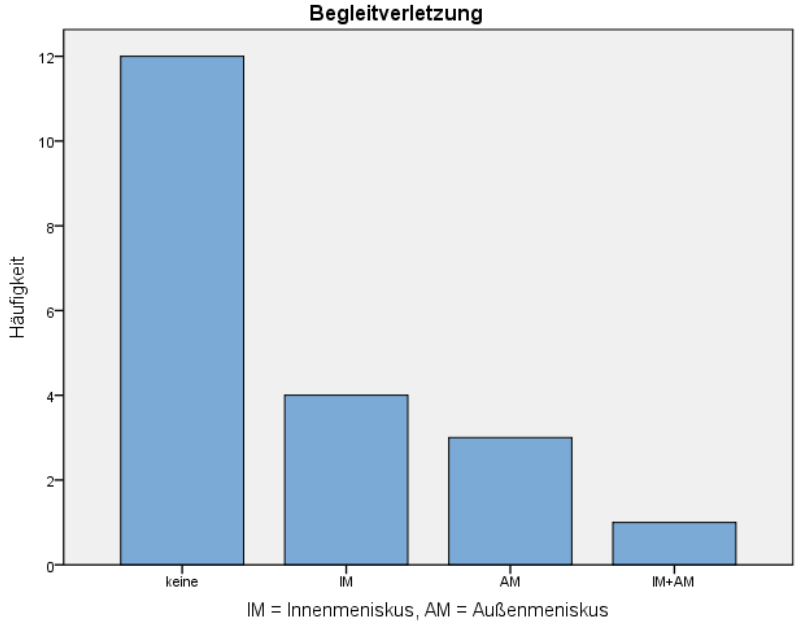
85% der Verletzungen entstanden bei sportlichen Tätigkeiten. Nur drei von 20 Patienten verletzten sich bei Alltagstätigkeiten. Bei den Sportarten lag Fußball mit acht Verletzungen an der Spitze. Jeweils zwei Verletzungen entstanden bei einem Fahrradsturz und beim Handball. Skateboarden, Reiten, Skifahren, Trampolinspringen und Schulsport wurden jeweils einmal genannt.



Grafik 2: Traumahergang (Sportart)

4.1.5 Begleitverletzungen

Acht Patienten (40%) wiesen bei der Erstuntersuchung eine Begleitverletzung auf, davon vier einen Innenmeniskus- und drei einen Außenmeniskusschaden. Ein Patient hatte an beiden Menisken eine Verletzung.



Grafik 3: Begleitverletzung

4.1.6 Besonderheiten

Von den 20 ausgewählten Patienten konnten lediglich 16 telefonisch erreicht werden. Zu den restlichen vier konnte kein Kontakt hergestellt werden (Adress- und Telefondaten waren nicht aktuell), sodass keine Fragebögen zugeschickt werden konnten. Ein Patient weigerte sich von Anfang an der Studie beizuwohnen.

Von den übrigen 15 Patienten schickten 12 die Fragebögen zurück und 10 nahmen an der klinischen Nachuntersuchung teil. Die Differenz hierbei kam dadurch zustande, dass ein Patient für die Untersuchung keine Zeit hatte. Ein anderer Patient, der sehr gerne an der Studie teilgenommen hätte, riss sich das vordere Kreuzband beim Basketballtraining erneut. Dies geschah in der Zeitspanne von der Terminvereinbarung bis zum tatsächlichen Termin, die Fragebögen wurden vorher bereits ausgefüllt. Aufgrund des sehr ausgelasteten Terminplans der Radiologie am Universitätsklinikum Gießen mussten Wartezeiten von bis zu drei Monaten für die Magnetresonanztomografie in Kauf genommen werden. Die übrigen drei Patienten zeigten auch nach wiederholter Nachfrage kein Interesse, die Fragebogen auszufüllen.

4.1.7 Datensicherheit

Alle Patienten, die an der Studie teilnahmen, wurden einer sogenannten Pseudonymisierung unterzogen. Dabei verschlüsselte sich jeder Patient selbst, indem er auf seinen Fragebögen jeweils den ersten Buchstaben des Vornamens der Mutter und des Vaters angab und die Geburtstage der beiden (z.B. hr0711 für Heidi und Richard, die am 07. und am 11. Geburtstag haben). Die Individualität und Einzigartigkeit dieser Verschlüsselung war dadurch gewährleistet, da im gewählten Patientenpool keine Zwillinge anzutreffen waren. Die Codes und die betreffende Zuordnung wurden in einer Excel-Datei auf einem Computer mit Zugriffsbeschränkung an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Universitätsklinik Gießen gespeichert und anschließend ausgewertet. Nur autorisierte Personen hatten Zugriff auf die Originaldaten. Zur einfacheren Darstellung der Ergebnisse wurden die vorliegenden Codes in Zahlen von 1-20 umgewandelt, um keine Verwechslungen oder Verwirrungen zu stiften. So war jeder Patient einer einfachen Zahl zugeordnet. Alle patientenbezogenen Daten, die während dieser Studie erhoben wurden, werden nach Beendigung der Auswertung vernichtet.

4.2 Operationsmethoden

Alle Operationen wurden arthroskopisch mittels Hamstring Sehnen mit einem Durchmesser zwischen 7,0 und 9,0 mm durchgeführt. Bei zu schwacher Semitendinosus-Sehne wurde zusätzlich die Gracilissehne entnommen. Bei gleichzeitig vorliegenden Meniskusläsionen wurde eine Meniskusnaht durchgeführt. War diese nicht mehr möglich, wurde sparsam reseziert.

4.2.1 Endobutton® und Suture Disc®

Neun Patienten wurden mittels eines Endobutton® von Smith & Nephew operiert. Es handelt sich hierbei um eine gelenkferne extrakortikale Fixierung, bei der ein Kippanker auf der Kortikalis des Femurs zu liegen kommt. Tibial wird das Transplantat entweder mit der Suture Disc® (Aesculap) oder mittels einer Schraube verankert.
Zunächst muss die Semitendinosus-Sehne entnommen werden. Dafür wird ein etwa 3 cm langer Hautschnitt längs am Tibiavorderrand über dem Pes anserinus durchgeführt. Die Sartorius-Faszie wird T-förmig gespalten und es werden der Ansatz der Semitendinosus- und der Gracilissehne dargestellt. Nach Ablösung mittels Overholt-Klemme erfolgt die Armierung mit Hilfe von Ethibond-Fäden. Anschließend werden die Sehnen

mit Hilfe eines Skalpells durchtrennt. Nun wird mittels eines Ringstrippers die Semitendinosus-Sehne entnommen und auf einer separaten Nahtbank in 2-, 3- oder 4-fach Technik – je nach Sehnenstärke – vernäht.
Bei der Anlage des femoralen Tunnels kann entweder über das mediale Portal oder über den tibialen Knochentunnel, also transtibial, gebohrt werden. Zunächst wird ein 2,2 mm K-Draht über ein Zielgerät vorgebohrt, anschließend die Lage überprüft und mit einem 4,5 mm Bohrer überbohrt. Nun wird die Bohrkanallänge und die Transplantatdicke gemessen und der Kanal entsprechend der Transplantatdicke aufgebohrt. Der Endobutton® wird mit Haltefäden an der Sehne fixiert. Dabei setzt sich die Schlaufenlänge aus dem Kippabstand und der für das Transplantat benötigten Bohrkanallänge (Sacklochtiefe) zusammen.
Der tibiale Tunnel wird ebenfalls über ein Zielgerät gebohrt, wobei besonders auf die Apophyse der Tuberositas Tibiae und die Wachstumsfuge geachtet werden muss. Nun erfolgt ein an den Transplantatdurchmesser angepasstes Überbohren.
Die Sehnenplastik mit anhängendem Endobutton® wird nun längs mittels Führungsfäden eingezogen und nach Übertritt über die femorale Kortikalis durch Zug an einem eingebrachten Kippfaden quergestellt, sodass er wie ein Anker außen zu liegen kommt und verriegelt. Ein mehrmaliges Durchbewegen des Kniegelenkes gewährleistet die freie Beweglichkeit ohne ein Impingement.
Die tibiale Verankerung kann nun gelenkfern über eine Suture Disc® oder eine Spongiosaschraube erfolgen. Erstere sieht aus wie ein Knopf. Es werden Haltefäden durch die Disc gezogen und eine Isometriemessung unter Vorspannung von etwa 16 Kilopond (1 kp = 9,8 Newton) vorgenommen. Die Haltefäden werden unter der vorgegebenen Vorspannung verknotet. Bei der Fixation mittels Schraube wird an ihr das tibiale Fadenende des Transplantates aufgeknotet.

4.2.2 Rigid Fix®

Die RigidFix® Fixierung ist eine etwas neuere Methode. Basad et al. (2010) konnten nachweisen, dass RigidFix® und Endobutton® bei einem vorderen Kreuzbandersatz gleichwertige Ergebnisse nach 12 Monaten erbringen. Das Grundprinzip bei der Rigid Fix® Methode ist dabei das Einbringen von zwei Pins in 90 Grad zur Bohrtunnelrichtung und das damit verbundene Aufhängen des Transplantates an der Wand des Bohrkanals. Dies kann mit einem RigidFix-Zielgerät (DePuy Mitek) erreicht werden. Femoral wird dafür ein 3–3,5 cm tiefes Sackloch entsprechend dem Transplantatdurchmesser gebohrt. Nach Stichinzision werden von lateral über ein entsprechendes Zielgerät zwei Pinhülsen eingebracht. Nun wird das Transplantat eingezogen und unter

Vorspannung zunächst die femorale Fixation mittels Crosspins durchgeführt. Die Pinhülsen werden anschließend wieder entfernt. Die Fixation kann auch tibial mittels Pins durchgeführt werden, jedoch ist auch hier eine Suture Disc®-Verankerung oder Fixierung mittels einer Spongiosaschraube möglich.

4.2.3 Nachbehandlung

Das Nachbehandlungsschema für die Patienten mit isolierter vorderer Kreuzbandruptur bestand zunächst in zweitägiger Lagerung in einer dorsalen Oberschenkelgipsschiene, geführter Krankengymnastik aus der Schiene heraus bis zu einer Limitierung der Extension/ Flexion von 0/ 0/ 90° und Mobilisation unter Entlastung. Am dritten postoperativen Tag erfolgte der Wechsel auf die M4-Gelenkorthese (Don-Joy 4Titude, ORMED GmbH Freiburg oder M4-ACL, Medi GmbH Bayreuth) mit derselben Bewegungslimitierung, jedoch mit erlaubter schmerzadaptierter Vollbelastung. Patienten, bei denen zusätzlich eine Naht des Meniskus erfolgt war, sollten zunächst für 3 Wochen eine Teilbelastung mit 10 kg und einen Bewegungsumfang von 0/ 10/ 60° einhalten, bevor sie zur Vollbelastung übergehen durften.
In der ambulanten Nachbehandlung erfolgte eine Fortführung der Mobilisation. Dazu wurde unter anderem ein muskelstimulierendes Tensgerät (EMS-Gerät) benutzt und es wurden intensive krankengymnastische Übungsbegleittherapien, regelmäßige Wund- und Befundkontrollen und die Entfernung des Nahtmaterials am 12–14. postoperativen Tag durchgeführt. Zur Nachsorge wurde der Patient nach 6 Wochen, 3 Monaten und 6 Monaten nochmals in die Ambulanz einbestellt und der Zustand beurteilt. Dabei wurde nach sechs Wochen die Orthese abgenommen und nach drei Monaten wieder sportliche Aktivitäten freigegeben. Dazu zählten vor allem Schwimmen, Radfahren und leichtes Laufen auf geradem Untergrund. Kontakt- und Stop-and-go-Sportarten wurden bei unauffälligem Verlauf erst frühestens nach einem halben Jahr freigegeben.

4.3 Methodik subjektiver klinischer Parameter

4.3.1 Lysholm und Gillquist Score

1982 wurde der Lysholm und Gillquist Score entwickelt. Bereits in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts war man sich bewusst, dass ein Score System zur Beurteilung der Kniefunktion sinnvoll wäre. Zuerst wurden Skalen für die Bewertung der Patientenzufriedenheit mit „gut“ und „schlecht“ verwendet, später für die Rückkehr zum Leistungssport oder die Beschwerden nach einer Operation. Im Laufe der Zeit entstanden dann immer mehr Scoring Systeme (Lysholm und Gillquist 1982, S. 150). Dem Lysholm

Score wurde zugeschrieben, dass er die Patientenmeinung zu ihrer Kniegelenkfunktion und möglichen Instabilitätszeichen gut wiedergebe. Die Korrelation zwischen der patienteneigenen Meinung und der Überprüfung der Funktion mittels Funktionstests war dabei sehr gut (Lysholm und Gillquist 1982, S. 153).
In diesem Fragebogen macht der Patient Angaben zu Hinken, Belastung, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen und Hocken. Den jeweiligen Antwortmöglichkeiten sind Punktwerte zugeordnet. Insgesamt kann eine Punktzahl von 100 bei absolut einwandfreier Kniefunktion erreicht werden. Dabei gelten 95–100 Punkte als exzellentes Ergebnis, 84–94 als gut, 65–83 als ausreichend und unter 65 Punkte als schlecht (Risberg et al. 1999, S. 153).
Auch nach 25 Jahren und veränderten operativen Techniken erfreut sich dieser Score sowie auch nachfolgend genannter Tegner Score großer Reliabilität und Validität (Briggs et al. 2009). So gehört der Lysholm/ Gillquist Score fast schon zum Grundinventar einer Studie zu Knieverletzungen. Er ist wohl der am häufigsten verwendete Score in diesem Zusammenhang und somit können damit gute Vergleiche angestellt werden (Moksnes et al. 2008, S. 219; Marx et al. 2009, S. 49; Preiss et al. 2012, S. 852; Frosch et al. 2010; Risberg et al. 1999, S. 152).

4.3.2 Tegner Aktivitätsscore

Beim Tegner Aktivitätsscore, der sich ebenfalls Anfang der 1980er Jahre etablierte, wurde eine neue Methode zur Beurteilung der Funktionalität des Kniegelenkes entwickelt. Dabei beruft man sich nicht auf die üblichen Dinge wie Instabilität, verschiedene Symptome oder Verletzungen. Dieser Score soll die Aktivität des Patienten einschätzen. Auf einer Skala von 0–10 gibt der Patient sein jeweiliges körperliches Aktivitätsniveau an. Dabei sind jedem Punktwert bestimmte sportliche, alltägliche oder berufliche Tätigkeiten zugeordnet. Der Patient soll sich jeweils einen Wert zu seiner Aktivität vor der Verletzung und einen zum jetzigen Zeitpunkt aussuchen, zu welchem er die aufgelisteten Aktivitäten ausführt oder ausführen kann (Tegner und Lysholm 1985). Zehn Punkte entsprechen dabei der Sportart Fußball als Wettkampfsport auf nationaler und internationaler Ebene und 0 Punkte einem Krankenschein oder Frührentner aufgrund einer Knieverletzung. Der durchschnittliche Wert in unterschiedlichen Studien lag im Mittel zwischen 7 und 8 Punkten, was sich nur in der Art des Wettkampfsportes unterscheidet. Die Patienten sind jedoch alle in der Lage Sport zu treiben und Alltagsaktivitäten nachzukommen.

4.3.3 International Knee Documentation Committee-Score (IKDC-Score)

Der IKDC-Ligament-Score erfreute sich in den letzten 20 Jahren größter Beliebtheit und konnte sich in den meisten Publikationen mit äußerst zufriedenstellenden Ergebnissen durchsetzen. Er gilt nun als Standard für Nachuntersuchungen von Kniegelenken (Hefti et al. 1993, S. 226). Irrgang et al. (2001) zeigten, dass die Formblätter des IKDC ein reliables und valides, kniespezifisches Messen von Symptomen, Funktion und Sportaktivität erbringen. Es spielt dabei weder eine Rolle, welchen Geschlechts und Alters die Patienten sind, noch welche Diagnose sie initial erhalten haben.
Das IKDC-Formblatt setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen. Im Einzelnen handelt es sich dabei um:

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

Für die vorliegende Studie wurden die ersten drei Formblätter verwendet. Bei der subjektiven Beurteilung des Knies müssen die Patienten bei der Beantwortung von 18 Fragen die Funktionalität ihres Kniegelenks in Bezug auf Schmerzen, Schwellung, Blockierungsphänomene und Instabilität während sportlicher Aktivitäten, beruflicher Tätigkeit und dem täglichen Leben bewerten. Dabei kann insgesamt ein Wert zwischen 18 und 105 Punkten erreicht werden, der in Prozente umgerechnet wird, sodass der höchste erreichbare Wert bei 100 liegt und der niedrigste bei 0.

4.4 Methodik objektiver klinischer Parameter

4.4.1 KT-1000 Arthrometer Messung

Mit dem KT-1000 Arthrometer kann man die sagittale Tibiatranslation bestimmen. Dabei ähnelt die Funktionsweise der des Lachman Tests. Das KT-1000 verwendet man, um eine sagittale Instabilität bei Kreuzbandverletzungen zu objektivieren. Dabei befindet sich das Knie in 20–30° Flexion und definierter Außenrotation von 15–25°. Über eine Tuberositas- und eine Patellamessplatte kann die Translation bei 67 N, 89 N und bei maximalem Vorschub gemessen werden. Die Messung sollte dabei immer im Seitenvergleich erfolgen (Wroble et al. 1990), da jeder Einzelne ganz spezielle Bandverhältnisse hat und bei Kindern beispielsweise die Bandlaxizität viel höher ist als bei Erwachsenen (Baxter 1988, S. 548). Bei der Messung werden immer vier Werte erfasst:

eine posteriore Verschiebung bei 89 Newton, die anteriore Verschiebung bei 67 N, 89 N und der maximale manuelle Vorschub (Daniel et al. 1985b, S. 402). Für ein gutes Ergebnis sollte dieser Test dreimal pro Seite ausgeführt werden. Um Fehlmessungen auszuschließen, sollte der Messfehler der drei Messungen innerhalb eines Millimeters liegen (Daniel et al. 1985b, S. 402).

Daniel et al. konnten 1985 bei 138 Patienten einen durchschnittlichen Vorschub bei 89 N von 7,2 ± 1,9 mm und beim maximalen manuellen Vorschub von 8,5 ± 2,2 mm feststellen. Bei Patienten mit einer vorderen Kreuzbandinstabilität oder -ruptur waren es 11,4 ± 2,9 mm. So entstanden ebenfalls Richtwerte für den Seitenvergleich bei 89 N, wobei eine Differenz von mehr als 3 mm als abnormal gewertet wurde. Die Autoren gingen sogar so weit, zu sagen, dass eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm als Indikator für eine Kreuzbandruptur gewertet werden kann, da bei 88% der gesunden Bevölkerung eine Differenz von weniger als 2 mm nachgewiesen werden konnte (Daniel et al. 1985b, S. 405–406).

In dieser Studie erfolgte die KT-1000 Messung mit solch einem Gerät auf oben beschriebene Weise. Es wurde im Seitenvergleich jeweils dreimal gemessen und der Mittelwert gebildet. Eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm wurde dabei als abnormal gewertet. Die Untersuchung wurde stets von derselben Person durchgeführt.

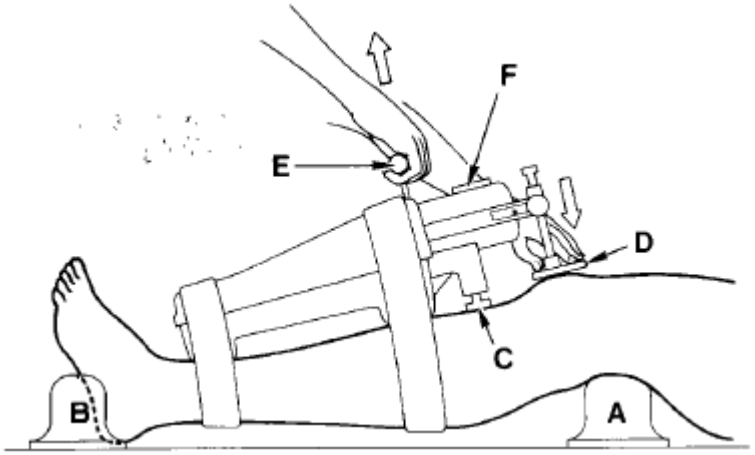


Abbildung 2: Das KT-1000 Arthrometer
(Daniel et al. 1985a)
A = Oberschenkelstütze, B = Fußstütze, C = tibialer Sensor, D = Patella Sensor, E = Griff zur Kraftanwendung, F = Anzeige der Verschiebung in mm

4.4.2 Klinische Untersuchung

Für die Anamnese der Patienten diente das Anamnese Formblatt des IKDC als Orientierung und wurde um weitere wichtige Items wie die Nachbehandlung, Folgeoperationen oder allgemeine Probleme ergänzt.

Für die klinische Untersuchung war zunächst die Inspektion wichtig, um Schwellungen, Ergüsse und Narbenzustand beurteilen zu können. Zentrale Frage dieser Studie ist die Untersuchung auf mögliche Wachstumsstörungen. Dazu wurde die Beinlänge beidseits mit einem Maßband jeweils von der Spina iliaca anterior superior bis zum medialen Malleolus gemessen und das Ergebnis notiert. In der Literatur werden unterschiedliche Angaben zur Wertung der Pathologie angegeben. Kumar et al. (2013, S. 3) erachteten bereits eine Beinlängendifferenz von mehr als 1 cm als auffällig, andere Autoren notierten erst eine Differenz von 1,5 cm als pathologisch (Streich et al. 2010, S. 1483). Bei 77% der klinisch unauffälligen, gesunden Bevölkerung konnten Beinlängenunterschiede von durchschnittlich 7 mm festgestellt werden (Andrews et al. 1994, S. 53) und bei 7–8% der Erwachsenen wurde sogar eine Differenz von bis zu 12,5 mm gefunden. Demzufolge kann man klar sagen, dass eine Differenz von mehr als 1,5 cm als pathologisch anzusehen ist. Auf diese Weise wurde es hier gewertet. Bei dieser Methode der Beinlängenmessung handelt es sich jedoch nicht um die Methode der Wahl. Dies wäre eine Ganzbeinstandaufnahme mit einem Röntgengerät. Um die Patienten in jungen Jahren vor unnötiger Strahlenbelastung zu schützen, sah man von dieser Methode jedoch ab. Bei klinisch relevanten und großen Beinlängendifferenzen wäre eine Ganzbeinstandaufnahme immer noch möglich.

Weiterhin wurde mit Hilfe von Maßband und Goniometer das Bewegungsausmaß im Kniegelenk nach der Neutral-Null-Methode sowie die Beinachse, der Malleolenabstand beziehungsweise Interkondylenabstand und der Beinumfang 10 cm oberhalb der Patella gemessen.

Bei den klinischen Funktionstests dienten wiederum Dokumente des IKDC Ligament Standard Evaluation Formblatt als Orientierung, zudem diese als valide und reliabel eingestuft wurden (Hefti et al. 1993, S. 226). Ursprünglich sollte der IKDC-Score ein Score sein, bei dem keine Punkte vergeben werden, sondern eine Einstufung in normale Kniefunktion, fast normale, abnormale und deutlich abnormale erfolgt (Hefti et al. 1993, S. 231). In diesen Score fließen nur zwei subjektive Parameter mit ein. Weiterhin wird der Patient in verschiedenen Untergruppen auf Bewegungsausmaß, Bandstabilität und funktionelle Tests untersucht und die Werte in das Formblatt eingetragen. Die Werte sind jeweils den Buchstaben A, B, C und D zugeordnet, wobei A einer exzellenten Kniefunktion und D einer schlechten entspricht. Die schlechteste Qualifikation in einer Untergruppe gibt dabei die Gruppenqualifikation an und die schlechteste Gruppenqualifikation ergibt das Endergebnis, sodass bei nur einer schlechten Wertung automatisch nicht mehr die höchste Einstufung möglich ist (Hefti et al. 1993, S. 232). Diese ursprüngliche Form und Klassifikation wurde in den hier vorliegenden Auswertungen

im Rahmen der klinischen Untersuchung ebenfalls miteinbezogen und die dort aufgelisteten Funktionstests mit den Patienten durchgeführt.
Neben der Testung der Seitenbandstabilität, des Schubladen- und Lachman Tests, die sehr spezifische Untersuchungen für eine Kreuzbandruptur darstellen, wurde die Untersuchung um weitere kniespezifische Tests ergänzt. So untersuchte man ebenfalls die Menisken mit den beiden Steinmann Tests, dem Payr Zeichen und dem Apley Test sowie die Patella mit dem Zohlen Zeichen. So erhielt man eine komplette Untersuchung des Kniegelenkes, um mögliche Begleit- und Folgeverletzungen ausschließen zu können. Zudem mussten die Patienten, eine Kniebeuge einmal bis 90° und einmal komplett durchführen und dabei angeben, ob sie irgendwelche Beschwerden hatten.
Das Schubladen Zeichen ist der bekannteste Test und ist sehr spezifisch für eine Kreuzbandverletzung (Marshall et al. 1975). Dabei befindet sich das Kniegelenk in 90° Beugung und der Untersucher versucht die Tibia gegen den Femur nach dorsal und ventral zu verschieben. Gelingt dies, kann von einem vorderen Kreuzbandschaden bei anteriorer Verschieblichkeit und von einem hinteren Kreuzbandschaden bei posteriorer Verschieblichkeit ausgegangen werden. Eine noch höhere Treffsicherheit mit einer Sensitivität von 88,8% und einer Spezifität von über 95% im Akutstadium weist der Lachman Test auf. Beim akuten Trauma ist die vordere Schublade nicht ausreichend sensitiv mit 22,2% (Shafizadeh et al. 2014, S. 889). Beim Lachman Test befindet sich das Knie in 20° Beugung und man versucht ebenfalls eine Tibiatranslation herbeizuführen. Da sich das Knie nicht in der kompletten Streckung befindet, sind auch die Seitenbänder und die Kniegelenkskapsel nicht angespannt. Die Translation ist somit erleichtert und der Test sensitiver (Petersen et al. 2013, S. 189).

4.4.3 Methodik der Magnetresonanztomografie (MRT)

Die Magnetresonanztomografie hat eine sehr hohe Sensitivität von 95% und eine Spezifität von 88% für Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei Kindern. Dabei können Auffälligkeiten wie ein abnormaler Bandverlauf oder eine veränderte Signalintensität gesehen werden (Fabricant et al. 2013, S. 5). Wenn klinisch keine sichere Diagnose gestellt werden kann, so ist dies mit der MRT Untersuchung fast immer möglich. Schwierig wird es jedoch bei Kindern unter zwölf Jahren. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Sensitivität bei dieser Altersgruppe nur noch etwa 62% bei einer Spezifität von 90% beträgt (Kocher et al. 2001).
In der Studie wurde eine Magnetresonanztomografie im Rahmen der Nachuntersuchung durchgeführt. Dazu erfolgte die Untersuchung an einem 1,5 oder 3 Tesla Kern-

spintomografen und einer Oberflächenspule. Es wurden ein T1 TSE 3 mm sagittal, PD TSE mit Fettsuppression 3 mm coronar, sagittal und transversal angefertigt.
Bei der Beurteilung der MRT-Bilder wurde sorgfältig auf das Transplantat selber geachtet. Dabei wurde zum einen die Signalintensität beurteilt. Das Transplantat sollte bei einer Nachuntersuchung mehr als zwölf Monate nach der Operation signalarm sein, Signalanreicherungen sprechen für eine Verletzung wie ein Ödem, Hämarthros oder sogar eine Ruptur (Cassar-Pullicino und Roberts 2002, S. 177). Weiterhin wurde der Verlauf des Transplantates und dessen Dicke beurteilt. Weitere Auffälligkeiten wie ein Bohrkanalreflux, Stressödeme oder ein Impingement wurden ebenfalls erhoben. Besonderer Wert wurde auf die Lage der Bohrkanäle gelegt, die bei Kindern etwas steiler sein sollten, um die Verletzung der Wachstumsfuge möglichst gering zu halten. Dazu wurde der Winkel des Kreuzbandes zum Tibiaplateau gemessen.

Grafik 4: Messung des Transplantatwinkels zum Tibiaplateau

Die Bohrkanäle wurden sowohl auf femoraler als auch auf tibialer Seite gemessen, um mögliche Tunnelweitungen beurteilen zu können. Dafür wurden Messungen in allen durchgeführten Schnittebenen erhoben und der Durchschnitt ermittelt. So konnten zum einen die Tunneldurchmesser im Vergleich zum Ausgangsdurchmesser beurteilt werden und zum anderen konnte abgeschätzt werden, ob femoral oder tibial eine größere Tunnelweitung stattgefunden hat. Der jeweilige Durchschnittswert wurde anschließend in Bezug zum Ausgangstransplantatdurchmesser gesetzt und ein Quotient gebildet. Ab einem Quotienten von 1,4 wurde dabei eine Tunnelweitung festgelegt.

Weiterhin wurden die Wachstumsfuge, Knochen, Knorpel und die beiden Menisken beurteilt, um mögliche Sekundärschaden ausschließen zu können oder möglichst frühzeitig zu entdecken.

4.5 Statistische Verfahren

Für die statistische Auswertung wurde das Programm IBM SPSS 22 Statistics für Windows verwendet. Einige Grafiken wurden mittels Excel ausgearbeitet. Unterstützt wurde die biometrische Ausarbeitung in Form einer Beratung von einem Statistiker der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Bei der hier vorliegenden Ausarbeitung handelt es sich um eine Anwendungsbeobachtung. Da es in dieser Studie bei recht kleinem Stichprobenumfang keine Vergleichsgruppen gibt, wurden die erhobenen Werte mit Daten aus der Literatur verglichen. Im Anhang gibt es dazu eine Ergebnistabelle, die belegt welche Studien für welche Parameter verwendet wurden.

Kategorische Daten wurden als absolute und relative Häufigkeiten dargestellt. Für metrische Daten, die sich aus den ermittelten Scores ergeben, wurden abhängig von der Verteilung Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane, Quartile, Minimum und Maximum sowie Konfidenzintervalle berechnet. Für die Analyse der metrischen Variablen wurde der t-Test bei Normalverteilung oder alternativ der Wilcoxon-Rangsummentest verwendet und Erwartungswerte ermittelt. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test hinzugezogen. Bei schiefer Verteilung der Analysewerte wurde mit den Werten des Median, Minimum und Maximum gearbeitet und mit dem Wilcoxon-Rangsummentest der p-Wert berechnet. Der Chi-Quadrat-Test und der Binomialtest dienten zur Berechnung des Erwartungswertes bei nominal und ordinal skalierten Variablen.

Im Normalfall wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% festgelegt und bei einem errechneten p-Wert von <0,05 kann man von statistischer Signifikanz sprechen. Es wird also die zuvor aufgestellte Nullhypothese abgelehnt. Aufgrund des hier vorliegenden kleinen Stichprobenumfangs kann jedoch nicht von Signifikanzen gesprochen werden. Jeder einzelne Wert könnte die Statistik verheerend verändern. Es können lediglich Aussagen getroffen werden, ob es eine Tendenz oder einen Hinweis auf einen Unterschied zur Literatur gibt oder nicht. Dabei sagt der p-Wert nichts über die wahre Größe eines Unterschiedes, die Stärke des Zusammenhangs, die Ursachen oder die klinische Relevanz aus.

5 Ergebnisse

Aufgrund der geringen Anzahl an Patienten in dieser klinischen Studie wurden die Ergebnisse mit der Literatur verglichen. Dafür wurde verwendete Literatur gesichtet und die jeweiligen Daten und Scores in einer Tabelle zusammengefasst. Da mehrere der ausgewählten Studien dieselben Scores verwendeten, wurde immer diejenige Studie mit der größten Fallzahl ausgewählt. Je größer die Stichprobe, desto genauer die Ergebnisse und desto geringer die Schwankungen durch Einzelne.
Die Tabelle mit den jeweils verwendeten Daten und Werten befindet sich im Anhang.

5.1 Epidemiologische Daten der Stichprobe

Da sich nicht alle 20 Patienten einer klinischen Nachuntersuchung unterzogen haben, werden im Folgenden die epidemiologischen Daten der Fragebogengruppe und die der klinischen Gruppe aufgeführt.
Um zu überprüfen, ob die klinisch untersuchte Gruppe und die Fragebogengruppe mit der Grundgesamtheit übereinstimmen, wurden Berechnungen mittels Chi-Quadrat-Tests bei Nominal- und Ordinalskalen und mittels t-Tests beziehungsweise Wilcoxon-Rangsummentests bei metrischen Skalen durchgeführt. Die jeweiligen p-Werte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

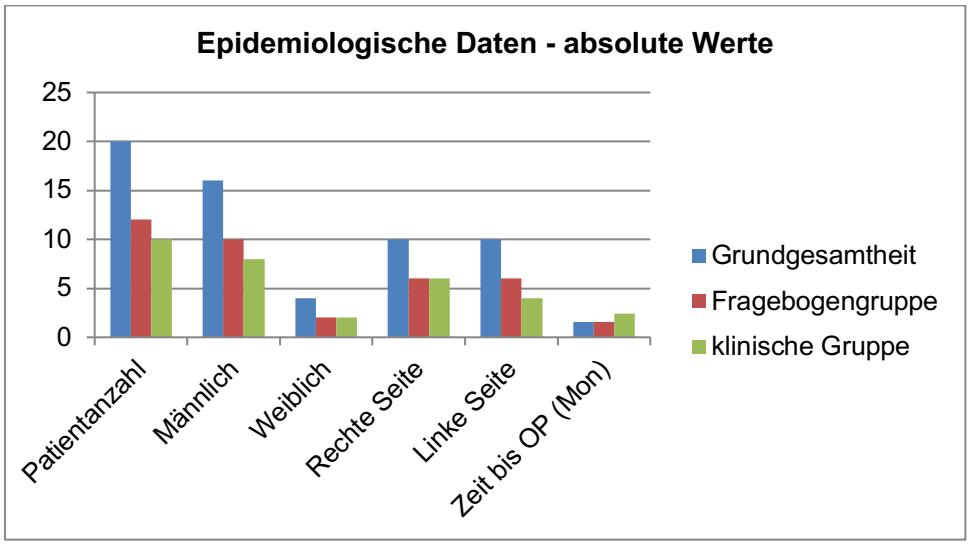
	gesamt	Fragebogengruppe	p-Wert	klinische Gruppe	p-Wert
Patientenanzahl	20	12		10	
Männlich	16 (80%)	10 (83%)	0,773	8 (80%)	1
Weiblich	4	2		2	
Alter	14,1	14,25	0,812	13,9	0,779
Sportverletzung	85%	83%	0,872	80%	0,658
Rechte Seite	10 (50%)	6 (50%)	1	6 (60%)	0,527
Linke Seite	10	6		4	
Endobutton®	9 (45%)	4 (33%)	0,417	4 (40%)	0,751
RigidFix®	11 (55%)	8 (66%)		6 (60%)	
Begleitverletzung	40%	41,67%	0,906	30%	0,519
Zeit bis OP (Monate)	1,55	1,45	0,346	2,45	0,168
Nachuntersuchung (Jahre)	-	-		5,66	

Tabelle 1: Epidemiologische Daten der Stichprobe

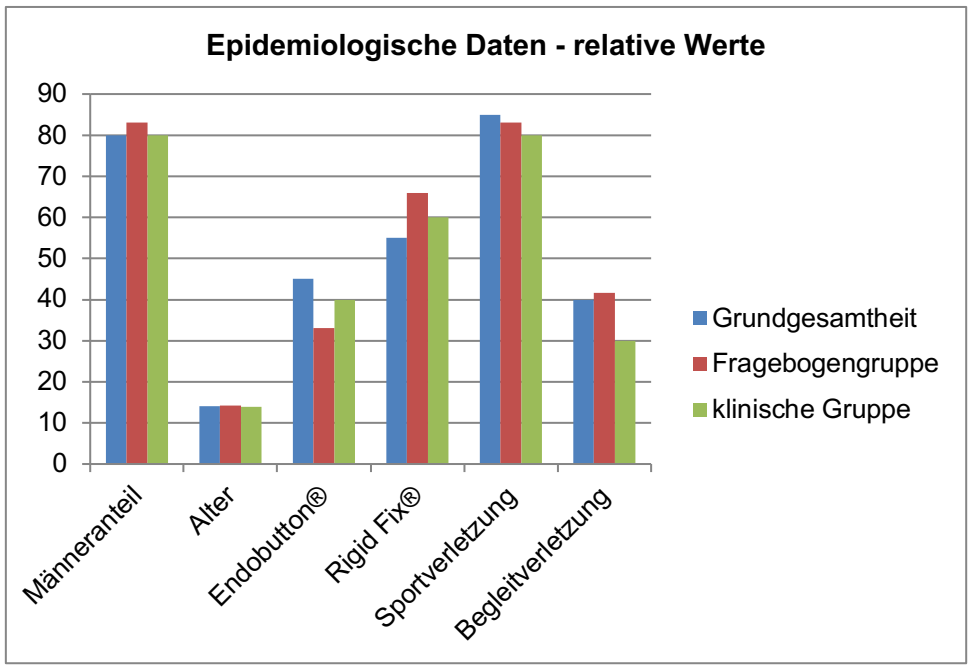
Zum Zeitpunkt der Operation ergab sich bei der klinischen Gruppe ein mittleres Alter von 13,9 Jahren (p = 0,779), bei der Fragebogengruppe von 14,25 Jahren (p = 0,812). Acht Männer und zwei Frauen wurden in der klinischen Gruppe untersucht. Dies entspricht jeweils genau der Hälfte der Grundgesamtheit. Beim betroffenen Knie handelte

es sich in 60% der Fälle um das rechte und in den übrigen Fällen um das linke Kniegelenk. Vier Patienten wurden mit einem Endobutton® behandelt und sechs mit Rigid Fix® Pins, was einem p-Wert von 0,751 entspricht. Zum Zeitpunkt der Verletzung lagen bei 30% der Untersuchten Begleitverletzungen vor, bei der Grundgesamtheit war dies bei 40% der Fall (p = 0,519).

Die Dauer bis zur Operation betrug im Median 2,45 Monate und variierte zwischen 0,7 und 29 Monaten. Bei der Grundgesamtheit dauerte es im Mittel 1,55 Monate. Daraus ergibt sich ein p-Wert von 0,168.



Grafik 5: Epidemiologische Daten - absolute Werte



Grafik 6: Epidemiologische Daten - relative Werte

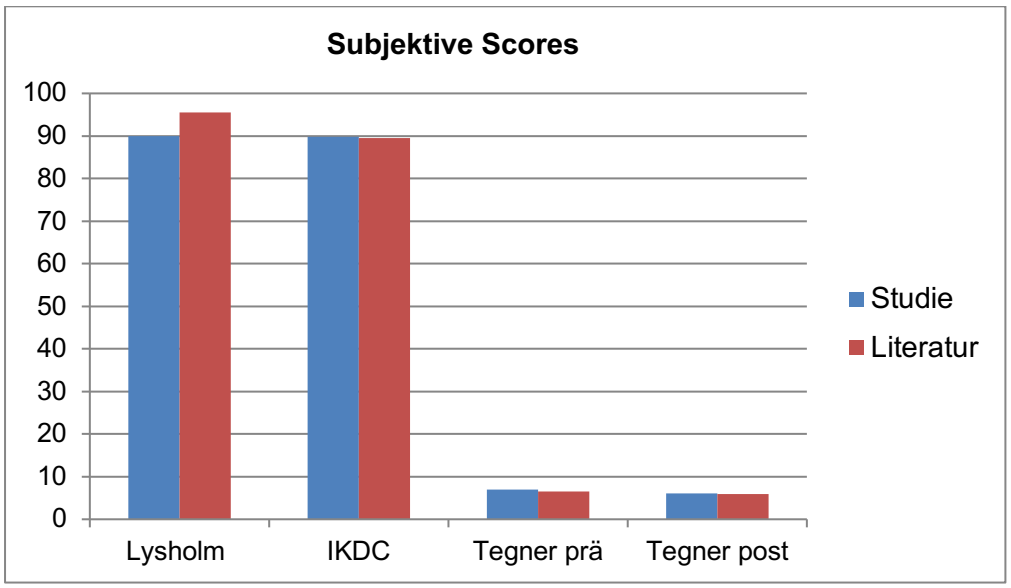
5.2 Ergebnisse der subjektiven Scores

Nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse der subjektiven Parameter. Diese wurden in den Fragebögen erhoben, welche die Patienten in Bezug auf ihre Zufriedenheit mit dem operierten Kniegelenk ausgefüllt haben.

		Lysholm	IKDC	Tegner prä	Tegner post
N		12	12	11	11
Mittelwert		**89,92**	**89,75**	7,18	6,18
Standardfehler des Mittelwerts		2,93	2,72	0,40	0,50
Median		91,50	93,68	**7,00**	**6,00**
Modalwert		89	100,00	7,00	5,00
Standardabweichung		10,14	9,42	1,33	1,66
Varianz		102,81	88,75	1,76	2,76
Minimum		65,00	73,56	5,00	4,00
Maximum		100,00	100,00	9,00	9,00
Perzentile	25	86,00	79,89	6,00	5,00
	50	91,50	93,68	7,00	6,00
	75	98,75	97,41	9,00	7,00

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse der subjektiven Scores

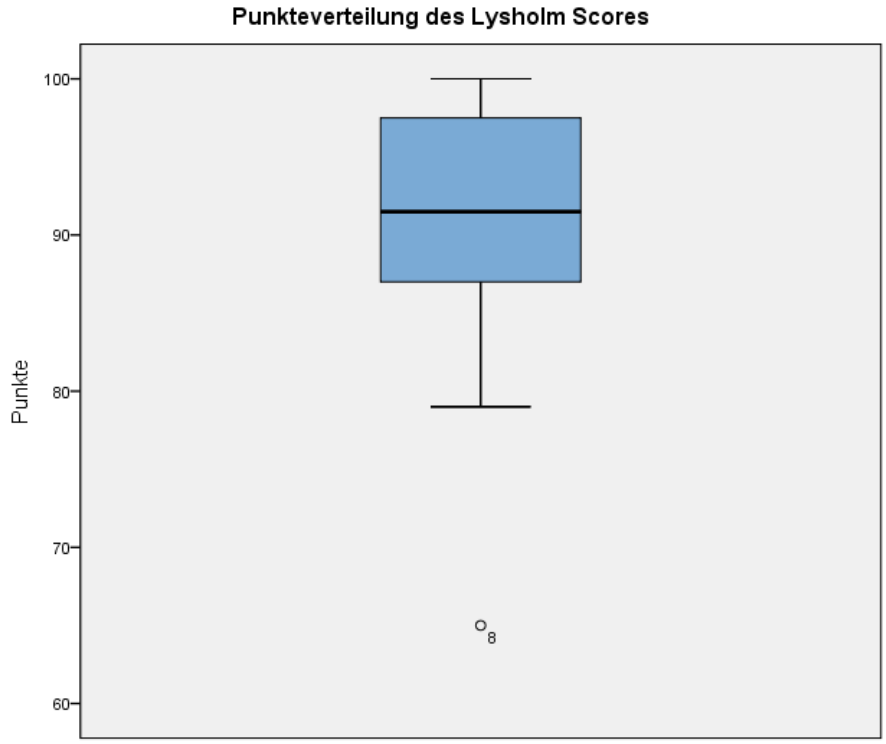
Der Vergleich mit der Literatur wird in nachfolgender Grafik 7 dargestellt. Eine gewisse Übereinstimmung der Daten kann auf den ersten Blick bereits erkannt werden.



Grafik 7: Grafischer Vergleich der subjektiven Scores Studie vs. Literatur

5.2.1 Lysholm-Gillquist Score

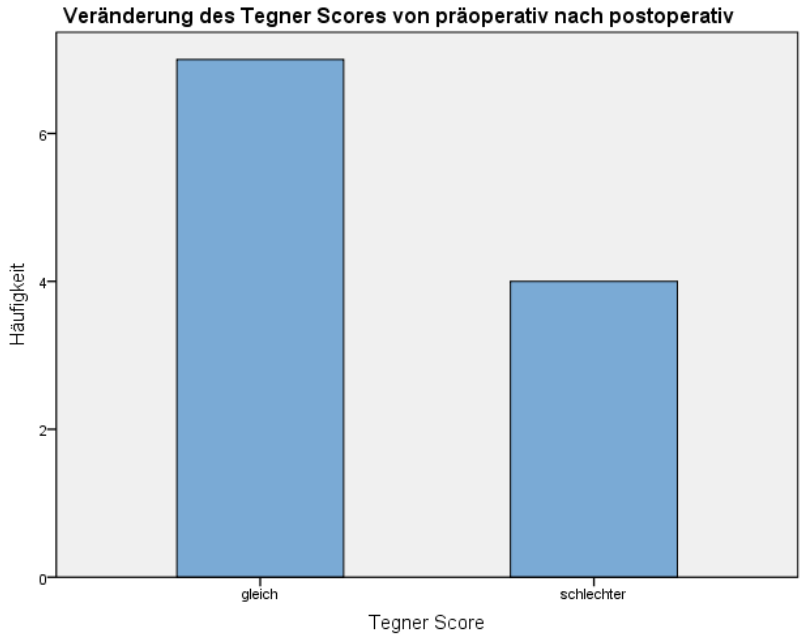
Bei kleinen Stichproben wie hier vorliegend kann generell nicht von einer perfekten Normalverteilung gesprochen werden. Jedoch kann bei einigen Parametern auch bei kleinen Fallzahlen von einer Normalverteilung ausgegangen werden, da sie annähernd normalverteilt sind. Bei der Analyse des Lysholm Scores der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die Werte sowohl im Histogramm als auch im Boxplot annähernd einer Normalverteilung entsprechen. Auch der Kolmogorov-Smirnov-Test ergibt einen p-Wert von 0,135 und somit eine annähernde Normalverteilung.
In der Literatur ergab sich für den Lysholm Score ein Mittelwert von 95,5 (Frosch und Preiss 2013), in der vorliegenden Studie von 89,9. Mittels t-Tests ergibt sich somit ein p-Wert von 0,083.



Grafik 8: Punkteverteilung des Lysholm Scores

5.2.2 Tegner Aktivitätsscore

Für die vorliegende Studie wäre es ideal, wenn sich der Tegner Score von präoperativ nach postoperativ nicht verändern würde. Das würde bedeuten, dass die Operation für den Aktivitätslevel des Patienten nicht einschränkend war und der Patient das gleiche sportliche Niveau wie vor der Verletzung beibehalten konnte. Die nachfolgende Grafik zeigt jedoch, dass sich der Score bei sieben Patienten nach der Operation verschlechterte und nur bei vier Patienten gleich blieb. Keiner konnte einen besseren Aktivitätsscore nach der Operation erreichen.



Grafik 9: Veränderung des Tegner Scores von präoperativ nach postoperativ

Aus den post- und präoperativen Werten des Tegner Aktivitätsscores kann man Differenzen bilden, die zeigen, wie stark sich der Punktwert verändert hat und in welche Richtung. Betrachtet man nun die Differenzwerte von präoperativ nach postoperativ, stellt sich heraus, dass diese laut Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt sind. Genauso verhält es sich auch bei der präoperativen Punktzahl. Daher fiel die Wahl bei der Berechnung der p-Werte auf den Wilcoxon-Rangsummentest bei schiefer Verteilung.

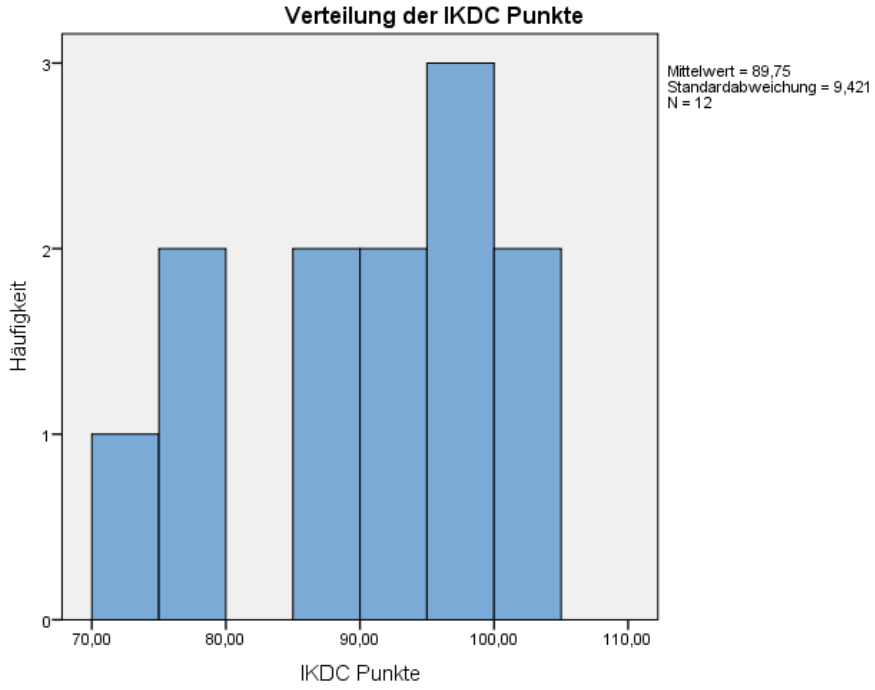
Der Aktivitätslevel ist von 7 auf 6 Punkte gefallen, was einem p-Wert von 0,066 entspricht, somit nahe der imaginären Signifikanzgrenze liegt und bereits einen Hinweis auf eine Veränderung von präoperativ nach postoperativ liefert. Bei Gebhard et al. (2006) betrug der präoperative Wert 6,5 Punkte, welcher sich auf 5,9 Punkte verschlechterte. Vergleicht man die Einzelwerte mit der Literatur ergibt sich für den präoperativen Wert ein p-Wert von 0,119 und für den postoperativen ein p = 0,591.

Vergleicht man nun die vorliegende Differenz von prä- und postoperativem Wert von 1 mit der Differenz von 0,6 aus der Literatur (Gebhard et al. 2006), so ergibt sich ein p = 0,647 im Wilcoxon-Test.

5.2.3 IKDC Score

Wie schon der Lysholm Score ist auch der IKDC Score annähernd normalverteilt. Im Kolmogorov-Smirnov-Test errechnete sich ein p-Wert von 0,104.

Mittels t-Tests und dem Vergleichswert von 89,5 Punkten aus der Literatur (Kocher et al. 2007) ergibt sich somit ein p = 0,928.



Grafik 10: Verteilung der IKDC Punkte

5.3 Objektive klinische Daten

5.3.1 KT-1000-Messung

		KT-1000 89 N	KT-1000 MD
N	Gültig	10,00	10,00
Mittelwert		**1,71**	**1,29**
Standardfehler des Mittelwerts		0,38	0,32
Median		1,85	1,00
Modalwert		0,30	,6[a]
Standardabweichung		1,19	1,02
Varianz		1,42	1,04
Minimum		0,30	0,00
Maximum		3,60	3,00
Perzentile	25	0,30	0,53
	50	1,85	1,00
	75	2,55	2,18

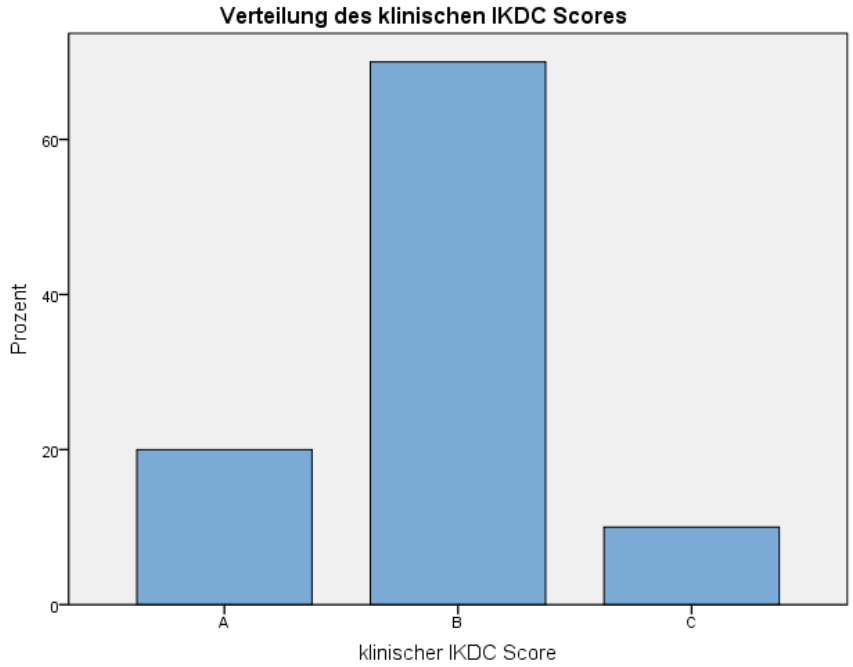
Tabelle 3: KT-1000-Messung

Im Kolmogorov-Smirnov-Test ergibt sich für die KT-1000-Messung eine Normalverteilung. Bei einer Kraft von 89 Newton ergibt sich ein Mittelwert von 1,71, während in der Literatur bei Daniel et al. (1985a) ein Wert von 0,8 beschrieben wird. Mittels t-Test

kann somit p = 0,039 errechnet werden. Für das maximale Displacement (MD), also die maximale anteriore Tibiatranslation, wird ebenfalls mit einem Literaturwert von 0,8 verglichen, wobei sich für p ein Wert von 0,163 ergibt.

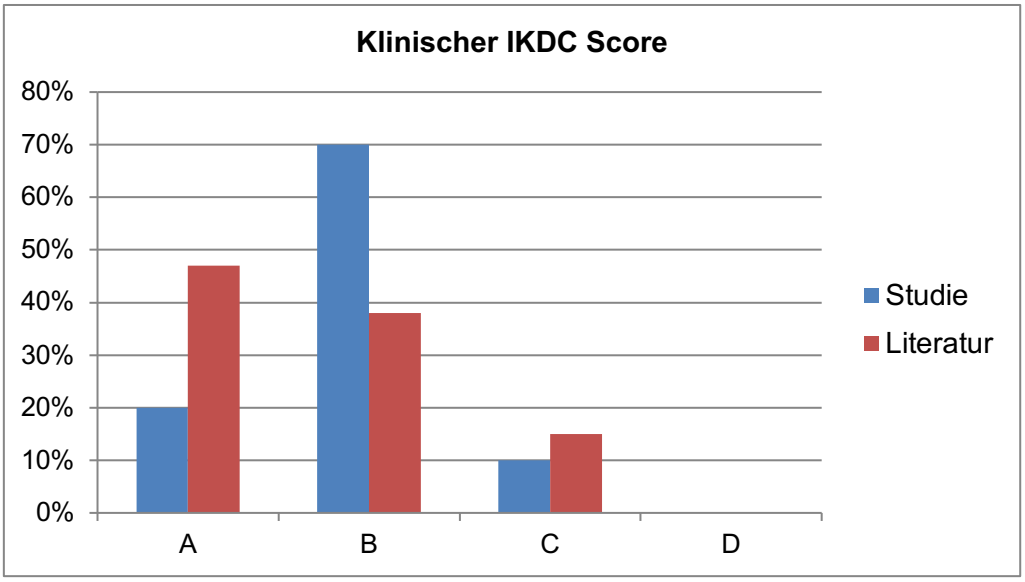
5.3.2 Klinische Untersuchung

Klinischer IKDC Score



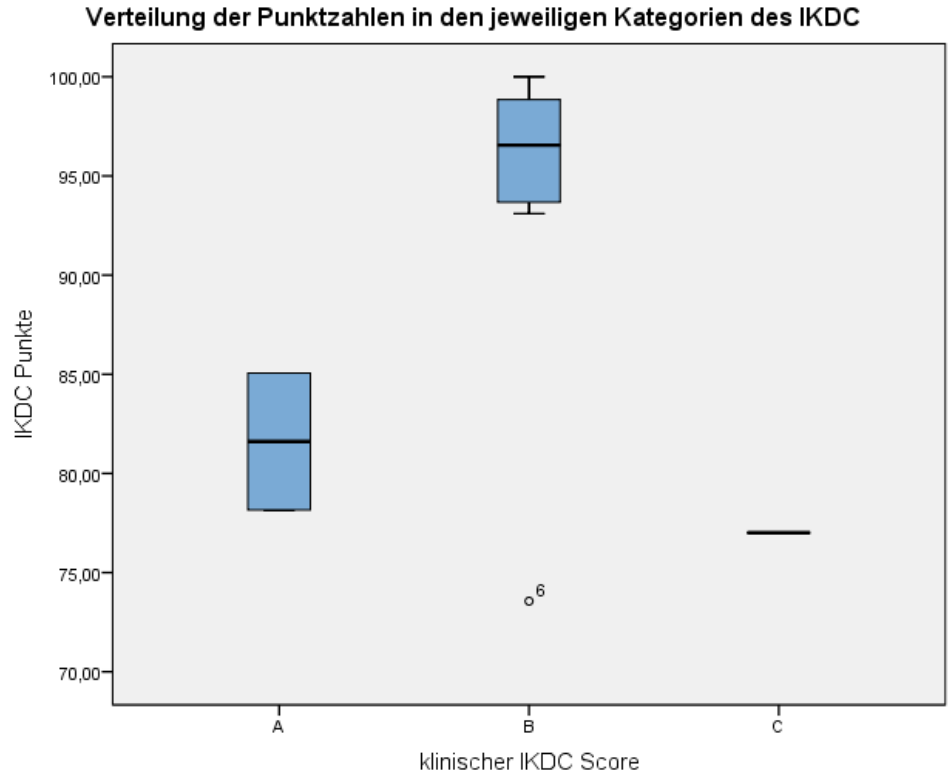
Grafik 11: Klinischer IKDC Score

Beim klinischen IKDC konnten zwei Patienten in die Kategorie A eingestuft werden, sieben in Kategorie B und einer in Kategorie C. Kategorie D gehörte kein Patient an. Zum Vergleich: Bei Gebhard et al. (2006) wurden 47% der Patienten in die Kategorie A eingestuft, 38% in Kategorie B und 15% in Kategorie C. Auch hier wurde bei keinem Patienten eine schlechte Kniefunktion festgestellt.
Mittels des Chi-Quadrat Tests ergibt sich für diese Verteilung im Vergleich zur Literatur ein p-Wert von 0,445 und ist somit mit der Literatur vergleichbar. Für die einzelnen Untergruppen jedoch ergibt sich im Chi-Quadrat Test für die Kategorie A ein p = 0,087, in Kategorie B ein p = 0,037 und in Kategorie C ein p-Wert von 0,658. In Grafik 12 können die Unterschiede gut erkannt werden.

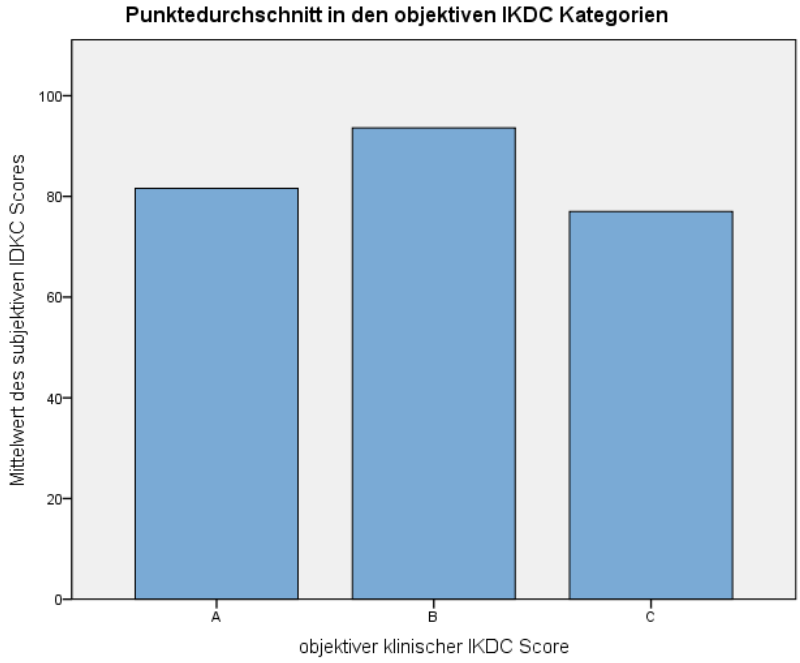


Grafik 12: Vergleich des klinischen IKDC Scores Studie vs. Literatur

Im nachfolgenden Boxplot wird der Zusammenhang zwischen subjektivem und objektivem IKDC Wert dargestellt. Das heißt: Die subjektive Punktzahl steht hier im Vergleich zur objektiven klinischen Einstufung des Kniegelenks. Logischerweise müsste ein höherer Punktwert auch einer besseren Kategorie in der klinischen Untersuchung entsprechen. In Grafik 13 sind die einzelnen Durchschnittspunktzahlen in jeder Kategorie dargestellt, wobei der höchste Durchschnitt in Kategorie B erzielt wurde.



Grafik 13: Vergleich der Punktzahlen in den jeweiligen Kategorien des IKDC



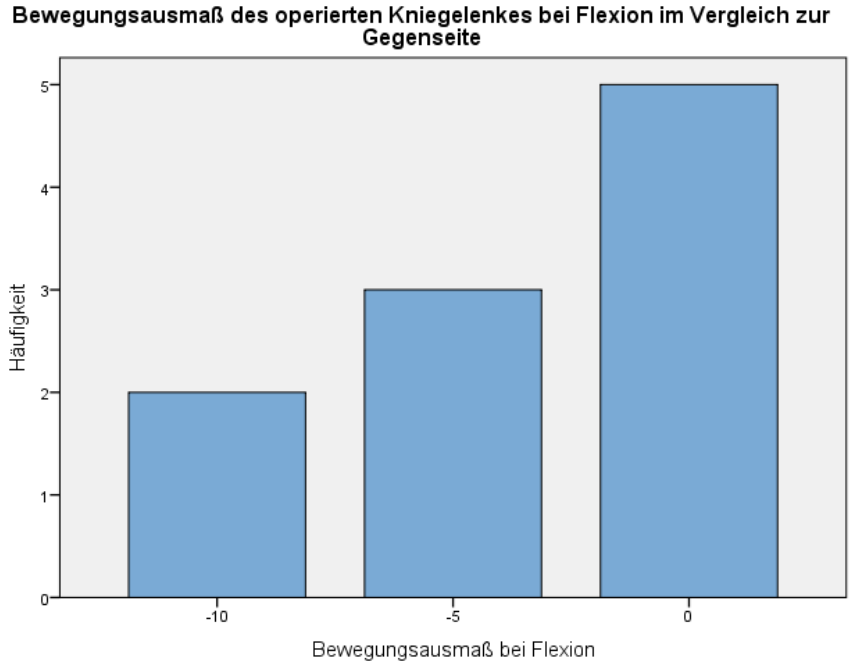
Grafik 14: Punktedurchschnitt in den objektiven IKDC Kategorien

Wachstumsstörungen

Signifikante Wachstumsstörungen konnten nicht detektiert werden, sondern lediglich leichte Abweichungen. Die Beinlängendifferenz der Patienten lag zwischen -1 cm und +2 cm. Ein zuvor festgelegter pathologischer Wert ab 1,5 cm lag somit bei einem Patienten vor, der dadurch jedoch keine Beeinträchtigung in Alltag und Sport verspürte. Klinisch ergab sich bei vier Patienten eine leichte Achsabweichung ohne subjektive Problematik. Dabei handelt es sich dreimal um ein Genu varum und bei einem Patienten um ein Genu valgum.

Bewegungsausmaß

Das Bewegungsausmaß des betroffenen Kniegelenkes zeigte sich bei einigen Patienten leicht eingeschränkt. Dabei belief es sich bei zwei Patienten bei einem Flexionsdefizit von 10° und bei drei Patienten von 5°. Dies wurde klinisch jedoch als nicht einschränkend gewertet. Im Median ergab sich folglich ein Flexionsdefizit von 2,5°.



Grafik 15: Bewegungsausmaß des operierten Kniegelenkes bei Flexion im Vergleich zur Gegenseite

Schubladen Zeichen

In der klinischen Untersuchung konnte kein positives Schubladen Zeichen oder positiver Meniskus Test gefunden werden. Bei 90% der Patienten wurde ein negativer Lachman Test festgestellt. Im Vergleich zur Literatur von 86,44% (Kocher et al. 2007) ergibt sich hieraus im Chi-Quadrat-Test ein p = 0,740.

Restwachstum

Zum Untersuchungszeitpunkt konnte das Restwachstum vom Zeitpunkt der Operation bis zur Nachuntersuchung, bei der die Patienten ausgewachsen waren, errechnet werden. Dabei ergab sich ein Mittelwert von 10,4 cm. In der Literatur wurde ein ähnlicher Wert von 8,2 cm (Kocher et al. 2007) angegeben. Mit dem t-Test ergibt sich dabei ein p-Wert von 0,538.

5.3.3 Magnetresonanztomografie

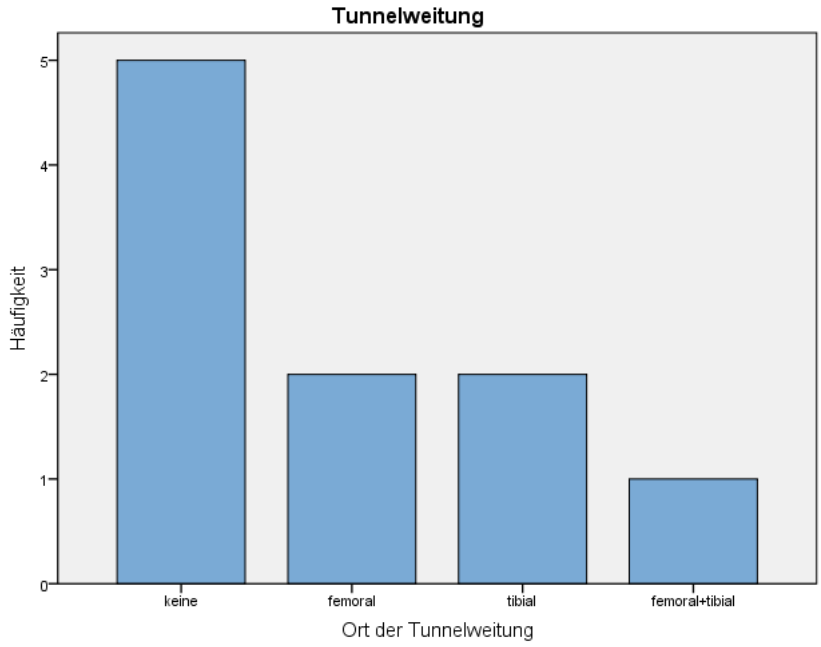
Tunnelweitung (TW)

Tunnelweitung

	Häufigkeit	Prozent
nein	5	50,0
ja	5	50,0
Gesamtsumme	10	100,0

Tabelle 4: Tunnelweitung

Bei fünf Patienten der klinischen Gruppe konnte im MRT eine Tunnelweitung erkannt werden. Dies entspricht einer Rate von 50%. Dabei wurde sowohl femoral als auch tibial jeweils bei zwei Patienten eine Aufweitung detektiert. Bei einem Patienten konnte eine Tunnelweitung sowohl femoral als auch tibial erkannt werden.



Grafik 16: Ort der Tunnelweitung

Fauno und Kaalund (2005) konnten bei insgesamt 87 untersuchten Patienten bei 31% eine femorale und bei 24% eine tibiale Tunnelweitung aufweisen. Mittels Chi-Quadrat-Tests konnte für die femorale TW ein p-Wert von 0,945 und für die tibiale TW von 0,657 errechnet werden.

Interessant ist die Ursache der Tunnelweitung. Dabei konnte ein Zusammenhang zwischen der angewandten Technik und der Tunnelweitung gefunden werden, welche wie in nachfolgender Tabelle ersichtlich ist, nur bei der RigidFix® Methode aufgetreten ist. Im exakten Test nach Fisher konnte dafür ein p-Wert von 0,024 berechnet werden.

		Tunnelweitung		
		nein	ja	Gesamtsumme
Technik	Endobutton®	4	0	4
	RigidFix®	1	5	6
Gesamtsumme		5	5	10

Tabelle 5: Tunnelweitung in Bezug zur Operationstechnik

Nachfolgende Grafiken zeigen die Tunnelweitungen bei Patienten dieser Studie. Dabei ist in der PD Wichtung eine Signalanreicherung um das Transplantat herum zu sehen

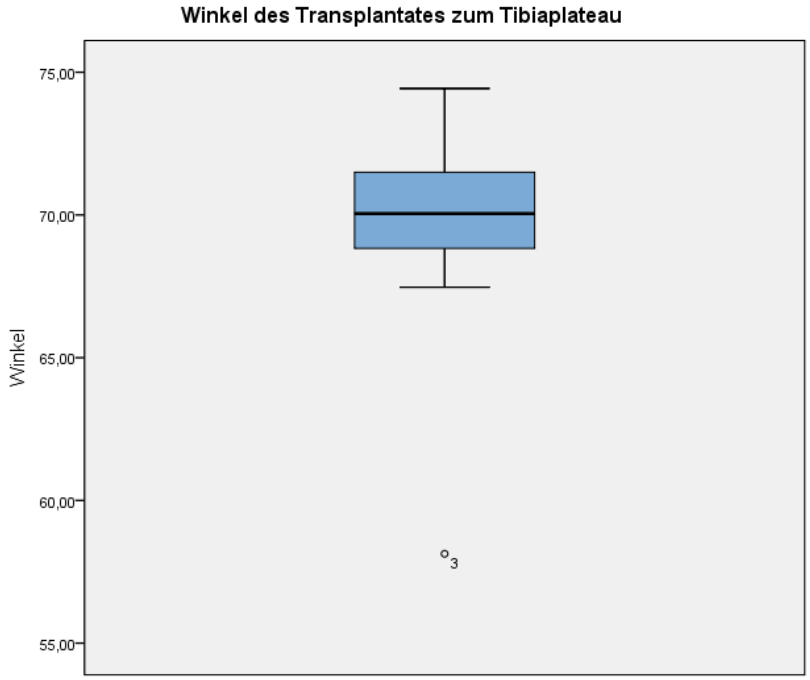
und in der T1w Darstellung zeichnet sich die Osteolysezone durch niedrige Signalstärke aus (Wörtler 2009, S. 75).

Grafik 17: Femorale TW in der protonengewichteten MRT Darstellung

Grafik 18: Tibiale TW in der T1w Sequenz im MRT

Winkel

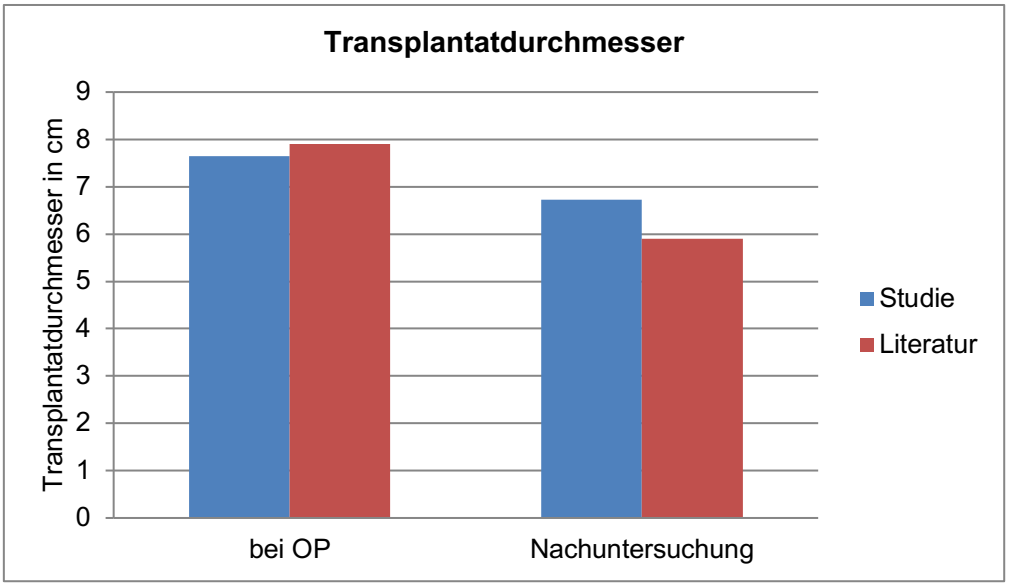
Der gemessene Winkel zwischen Transplantat und Tibiaplateau entspricht einer Normalverteilung mit dem Mittelwert 69,2°. Bei Calvo et al. (2015) ergab sich als Referenz ein Winkel von 63°. In dessen Untersuchung sind ebenfalls keine Wachstumsstörungen nach durchschnittlich 10,6 Jahren aufgetreten. Daraus ergibt sich mittels t-Tests ein p-Wert von 0,004, was auf eine Signifikanz bei größeren Stichproben hindeuten könnte.



Grafik 19: Winkel des Transplantates zum Tibiaplateau

Transplantatdurchmesser

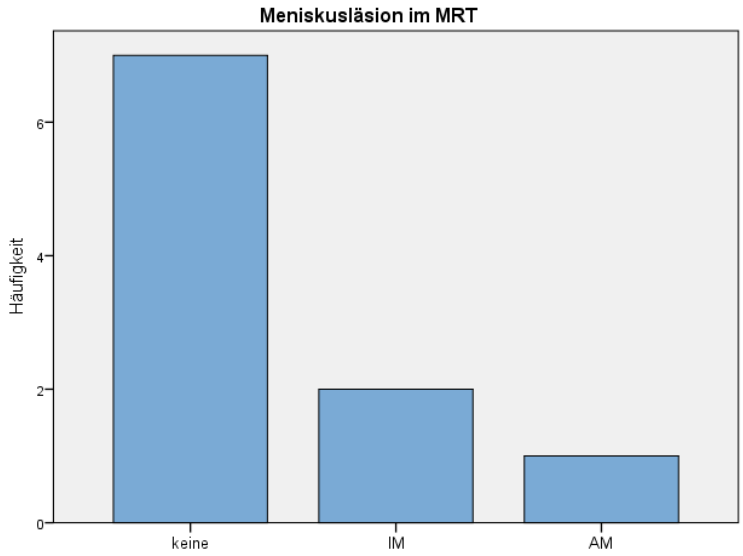
Der Transplantatdurchmesser bei Operation betrug im Durchschnitt 7,65 mm. Hierbei wurden jedoch nur 9 Werte einbezogen, da bei Patient 12 kein Transplantat MR-tomographisch nachweisbar war. Laut Kolmogorov-Smirnov-Test handelt es sich hierbei um eine Normalverteilung. Bei Astur et al. (2016, S. 794) lag der Durchmesser bei 7,9 mm. Daraus lässt sich ein p = 0,294 errechnen. In den Bildern der Magnetresonanztomografie bei der Nachuntersuchung konnte ein Transplantat von durchschnittlich 6,72 mm, bei Astur von 5,9 mm (p = 0,088) gemessen werden. Das entspricht einer Ausdünnung des Transplantates um 0,93 mm. Astur et al. (2016) konnten sogar eine Reduktion des Ausgangsdurchmessers um 2 mm nachweisen. Dadurch errechnet sich ein p-Wert von 0,022.



Grafik 20: Vergleich Transplantatdurchmesser Studie vs. Literatur

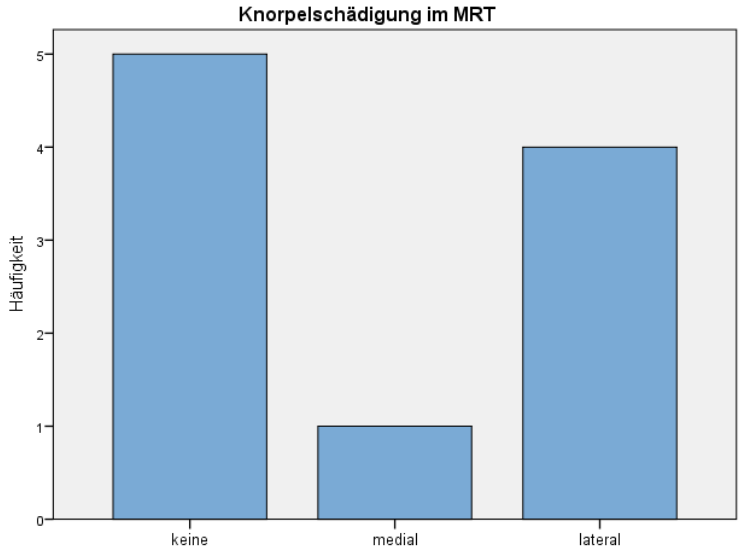
Knorpel- und Meniskusschäden

Obwohl klinisch keine Anhaltspunkte für Knorpel- oder Meniskusschäden gefunden werden konnten, zeigten sich in der Magnetresonanztomografie andere Befunde. Die Menisken wiesen bei drei Patienten eine Schädigung auf, wobei es sich zweimal um den Innenmeniskus und einmal um den Außenmeniskus handelte. Bei zwei dieser Patienten lag zum Zeitpunkt der Kreuzbandruptur keine Begleitverletzung vor, bei einem Patienten lag gleichzeitig ein eingeklemmter Außenmeniskus-Korbhenkelriss vor, welcher bei der Kreuzband-Operation teilreseziert wurde. In der Nachuntersuchung zeigten sich nun jedoch Läsionen im Innenmeniskus.



Grafik 21: Meniskusläsion im MRT

Zudem lag bei letztgenanntem Patienten ein Knorpelschaden bis zum Grad IV nach ICRS (=International Cartilage Research Society) am posterioren lateralen Femurkondylus mit lateraler Gonarthrose vor. Der Patient musste sich einer operativen Weiterbehandlung unterziehen mit Implantation eines künstlichen Außenmeniskus und subchondraler Mikrofrakturierung der lateralen Femurkondyle. Von den zehn nachuntersuchten Patienten musste sich somit ein einziger einer Folgeoperation unterziehen. Dieser Fall wird exemplarisch unter Punkt 6.4 nochmals näher erläutert.
Knorpelschäden konnten bei insgesamt fünf Patienten eruiert werden. Dies betrifft die Patienten mit Meniskusläsion und zwei weitere, welche jedoch lediglich geringgradige Knorpeldefekte aufwiesen und ebenfalls keine Begleitverletzung bei der Kreuzbandruptur erlitten hatten.



Grafik 22: Knorpelschädigung im MRT

6 Diskussion

Diese Studie dient als klinische Anwendungsbeobachtung zum Festhalten der Ergebnisse nach operativer Versorgung einer vorderen Kreuzbandruptur im Kindesalter. Sie soll als Anhaltspunkt und zur Anregung für weitere Studien mit größeren Fallzahlen, gegebenenfalls für multizentrische oder auch prospektive Studien, dienen. Im Rahmen dieser Studie soll dargestellt werden, ob Kreuzbandoperationen bei Kindern gute und für die Patienten zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Mit Hilfe verschiedener Scores und Fragebögen sollte die Patientenzufriedenheit sichergestellt werden. In einer klinischen und magnetresonanztomografischen Untersuchung wurden objektive Parameter zur Kniefunktion und zu Begleitverletzungen erhoben. Die Ergebnisse werden im Folgenden unter die Lupe genommen, erläutert, hinterfragt und mögliche Zusammenhänge aufgezeigt. Dabei wird ein Ausblick für die Zukunft unter Einbezug der aktuellen Studienlage und der hier gewonnenen Erkenntnisse gegeben.

Verletzungen bei Kindern unterliegen einem Wandel (Stracciolini et al. 2013). Bei Kindern im Alter von 5-12 Jahren machen Frakturen mit 20% aller Verletzungen den Großteil aus. Kreuzbandverletzungen liegen im Vergleich dazu nur bei 6,3%. Mit zunehmendem Alter ändert sich dieses Bild. Die Kreuzbandverletzungen holen auf und schieben sich mit 10,6% aller Verletzungen bei den 13-17 Jährigen dicht hinter die Frakturen, welche nur noch einen Anteil von 10,8% ausmachen. In die Studie von Stracciolini et al. (2013) wurden insgesamt 2133 Kinder und Jugendliche eingeschlossen. Die Art der Verletzung hängt dabei auch von der ausgeübten Sportart ab. Bei großen, wenig muskulösen Jungen konnte zudem eine höhere Anzahl an Verletzungen festgestellt werden, was am Wachstumsschub in diesem Alter liegen könnte. Der Anstieg des Anteils an Kreuzbandverletzungen mit dem Alter liegt am ehesten an vermehrten sportlichen und auch leistungsorientierten Aktivitäten (Stracciolini et al. 2013, S. 1925) .

Auch bei Theisen et al. (2009, S. 10) wird eine ansteigende Häufigkeit von Knieverletzungen mit dem Alter beobachtet. Die nachstehende Abbildung zeigt die Anzahl von Knieverletzungen in Bezug zum Alter. Ebenso wird auch hier eine Änderung des Charakters der Verletzung beschrieben. Bei 1,6 Millionen untersuchten fußballbedingten Verletzungen nehmen die Frakturen mit dem Alter ab. Im Gegensatz dazu häufen sich die Bandverletzungen.

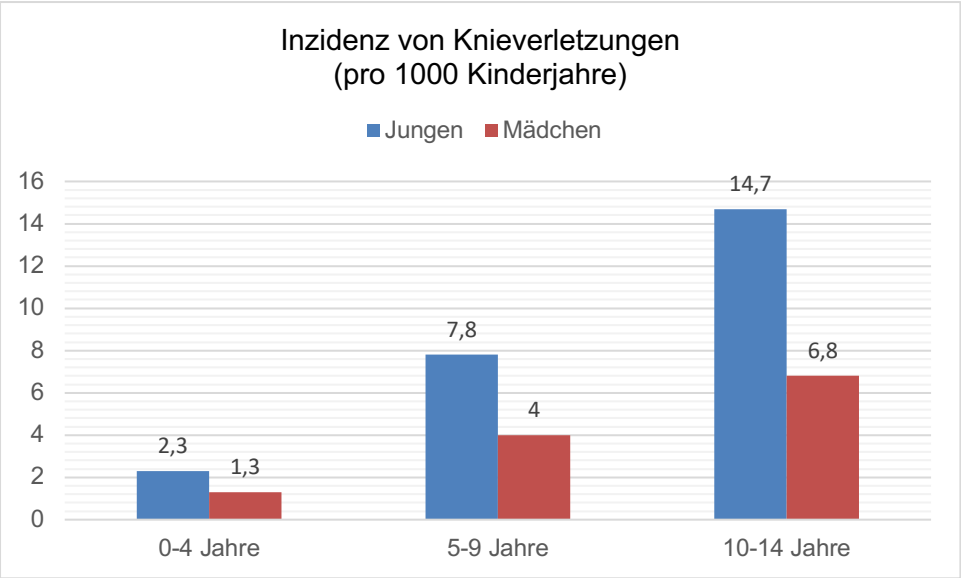


Abbildung 3: **Inzidenz pro 1000 Kinderjahre nicht verkehrsbedingter Knieunfälle mit Krankenhauskontakt** (modifiziert nach Theisen et al. 2009, S. 10)

Anhand der Daten dieser beiden Studien ist ersichtlich, warum wenige Daten und Fallzahlen zu ausgehender Thematik vorhanden sind. Jüngere Kinder erleiden selten eine Kreuzbandverletzung und in der Gruppe der 13-17 jährigen Jugendlichen, in der jede 10. Verletzung einer Kreuzbandverletzung entspricht, haben bereits viele verschlossene Wachstumsfugen. Sie werden bei einer Operation wie Erwachsene behandelt und demzufolge nicht in kindliche Studien einbezogen. Somit bleiben die Fallzahlen bei einer Kreuzbandersatzplastik mit geöffneten Epiphysenfugen weiterhin niedrig.

6.1 Kritische Betrachtung der epidemiologischen Daten

Bei Betrachtung dieser Studie muss die geringe Fallzahl erwähnt werden. Kinder sind eine kleine Gruppe in der Bevölkerung. Aufgrund geöffneter Wachstumsfugen scheuen sich viele Ärzte davor, eine Operation durchzuführen. So kommt es dazu, dass auch bei Literaturrecherchen kaum Studien mit höheren Fallzahlen zu diesem Themengebiet zu finden sind. Die meisten bewegen sich eher im unteren zweistelligen Bereich. Beispielsweise haben Graf et al. (1992) 12 Patienten in ihre Studie eingeschlossen, bei Streich et al. (2010) waren es 16, bei McCarroll et al. (1988) 24 und bei Redler et al. (2012) 18 Patienten. In diesem Kontext kann man sagen, dass die kleine Fallzahl der hier vorliegenden Studie die Studienlage der letzten Jahre gut widerspiegelt.
Werden die epidemiologischen Daten der klinisch untersuchten Gruppe als auch die der Fragebogengruppe betrachtet, zeigt sich bereits auf den ersten Blick eine große Übereinstimmung mit den Daten der Grundgesamtheit. Dies ist jedoch mit großem Vorbehalt zu behandeln, denn aufgrund der sehr kleinen Stichprobe kann nicht von Signifikanzen ge-

sprochen werden. Im Normalfall wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% festgelegt und bei einem errechneten p-Wert von <0,05 kann man von statistischer Signifikanz sprechen. Es wird also die zuvor aufgestellte Nullhypothese abgelehnt. Aufgrund des hier vorliegenden kleinen Stichprobenumfangs kann jedoch nicht von Signifikanzen gesprochen werden. Jeder einzelne Wert könnte die Statistik verheerend verändern. In den errechneten Werten kann man jedoch eine klare Tendenz für eine Übereinstimmung erkennen. Damit von Signifikanzen gesprochen werden kann, müssten weitere Studien mit größeren Fallzahlen oder gar multizentrische Studien durchgeführt werden.

Das Durchschnittsalter dieser Studie mit knapp 14 Jahren liegt höher als in einigen anderen Studien. Jedoch zeigte sich, dass Patientenalter, Zeitpunkt der Behandlung und klinisches Ergebnis auch in der Literatur keinen Zusammenhang erbrachten (Pressman et al. 1997, S. 507). Somit macht es keinen Unterschied, ob die untersuchten Patienten 12 Jahre alt sind oder wie hier vorliegend zwei Jahre älter.

85% der Kreuzbandrupturen erfolgen während des Sports (Fink et al. 2001, S. 304). Auch in der vorliegenden Studie zogen sich 80% der klinischen Patientengruppe die Verletzung bei sportlichen Aktivitäten zu. Die meiste Zeit des Tages wird jedoch mit alltäglichen Dingen verbracht, Sport nimmt nur einen geringen Teil der 24 Stunden eines Tages in Anspruch. Dies legt die Frage nahe: Warum verletzt man sich genau beim Sport? Dieser Sachverhalt lässt sich dadurch erklären, dass beim Sport größere Kräfte auf die Bänder einwirken und somit auch eine höhere Beanspruchung erfolgt, der diese standhalten müssen. Es wirken Scher- und Drehbewegungen, denen die Bänder bei plötzlichen Änderungen nicht gewachsen sind.

In der vorliegenden Studie lagen bei 40% der Patienten Begleitverletzungen vor, bei Marzi (2010, S. 296) war dies bei 50% und bei Graf et al. (1992, S. 230–231) sogar bei 57% der Probanden der Fall. Egal ob eine Begleitverletzung des Meniskus zum Zeitpunkt der Operation vorgelegen hat oder nicht, unterscheidet sich das klinische Ergebnis bei der Nachuntersuchung nicht. Auch bei Morgan et al. (2016) wird diese Hypothese gefestigt.

Besonders auffällig ist die Geschlechterverteilung. 80% der Patienten sind Männer. Eine ähnliche Verteilung ist auch in der Literatur zu finden. Bei Aichroth et al. (2002, S. 38) wurden 48 Männer und 20 Frauen einbezogen, bei Henry et al. (2009, S. 749) lag die Verteilung bei 40 zu 16 Patienten, was beides einem Männeranteil von etwa 71% entspricht. Liegt diese Überlegenheit von Kreuzbandverletzungen bei Männern nun am Alter? Dies lässt sich verneinen, denn ganz ähnliche Ergebnisse wurden auch bei jungen Erwachsenen gefunden. Bei durchschnittlich 33-jährigen Patienten wurden bei Fink et al. (2001) ebenfalls 55 Männer und nur 16 Frauen eingeschlossen. Dies entspricht einem Männeranteil von 77% und ist damit gut vergleichbar mit Studien von

jüngeren Patienten. Nun dürfte die naheliegende Frage lauten, warum es sich bei vorderen Kreuzbandrupturen häufiger um Männer handelt. Die führenden Risikosportarten für eine Kreuzbandruptur sind Fußball und Handball. Diese betreiben im Durchschnitt mehr männliche Sportler. Eine weitere Hypothese besteht darin, dass Jungen im Allgemeinen risikofreudiger, angriffslustiger und konkurrenzliebender sind als Mädchen. Dies wären mögliche Gründe für häufigere Verletzungen bei männlichen Sportlern. Kommen Mädchen in die Pubertät, verändert sich ihr Körper, sie nehmen an Körpergewicht zu und Sport wird anstrengender. Selbst wenn vorher Leistungssport betrieben wurde, stagniert die Leistung in der Pubertät, was die Motivation gravierend beeinflusst.

In Anbetracht der vorliegenden Studie muss man sich zudem vor Augen halten, dass die Wachstumsfugen bei Mädchen früher verschlossen sind als bei Jungen. Durchschnittlich ist das Wachstum bei Mädchen in einem Alter von 14-15 Jahren bereits abgeschlossen, während dagegen bei Jungen der physiologische Fugenschluss erst im Alter von etwa 16 Jahren erfolgt (Seil und Robert 2005, S. 48). Auch bei anderen Autoren zählt eine offene Wachstumsfuge als das wichtigste Kriterium zur Untersuchung des Kreuzbandersatzes bei Kindern (McIntosh et al. 2006). Die Gefahr von Wachstumsstörungen besteht nur, wenn diese Grundlage gegeben ist. Alles in allem handelt es sich hierbei aber nur um Hypothesen, die Mehrheit an Jungen in dieser Studie zu erklären, welche sich dennoch auch in der Literatur widerspiegelt. Trotz der großen Diskrepanz der Anzahl an Männern und Frauen, konnten jedoch keine Unterschiede bei den Fragebögen, der klinischen Untersuchung oder der KT-1000 Messung zwischen Männern und Frauen gefunden werden, wie es auch die Literaturlage bei Pressman et al. (1997, S. 507) hergibt.

6.2 Subjektive klinische Parameter

Lysholm Score

Beim Lysholm Score konnte bei vier Patienten eine exzellente Kniefunktion, bei sechs eine gute und bei zwei eine ausreichende nachgewiesen werden.

Da die Werte der Literatur aus größeren Stichproben stammen, wurde dort jeweils der Mittelwert verwendet. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden jene Werte auch in dieser Studie verwendet, auch wenn bei kleinen Stichproben eher der Wilcoxon-Rangsummentest und die Verwendung des Median zu bevorzugen wären. Bei annähernder Normalverteilung ist diese Entscheidung durchaus berechtigt. Im Lysholm Score wurde im Vergleich mit der Literatur ein $p = 0{,}083$ berechnet, was knapp über

der imaginären Signifikanzgrenze liegt und daher bereits einen Hinweis auf einen möglichen Unterschied andeutet.

Auffällig waren zwei Patienten, die in die Kategorie der ausreichenden Kniefunktion eingeteilt wurden. Sie erzielten 65 und 79 Punkte. Diese Werte können maßgeblich dazu beitragen, dass der Mittelwert des Lysholm Scores niedriger ist als in der Literatur. Patient 8 gab dabei die schlechteste Punktzahl an. Diese lässt sich dadurch erklären, dass er sich nach der Nachuntersuchung aufgrund von Knorpelschäden einer Folgeoperation unterziehen musste. Er vergab natürlich bedeutend schlechtere Punkte für seine Kniefunktion, da er zum Zeitpunkt des Ausfüllens der Bögen beträchtliche Schmerzen und Einschränkungen im Kniegelenk wahrgenommen hatte. Der andere Patient, der ebenfalls eine niedrige Punktzahl angab, konnte im klinischen IKDC in die beste Kategorie (Gruppe A) eingeordnet werden. Es stellt sich die Frage, wie es zu solch einer Diskrepanz kommen kann. Laut klinischer Untersuchung hatte das Kniegelenk eine ausgezeichnete Funktion. Es wurde lediglich ein Flexionsdefizit von 5° ermittelt. Bei diesem Fall kommen mehrere entscheidende Faktoren zum Tragen. Bereits bei telefonischer Kontaktaufnahme zur Teilnahme an der vorliegenden Studie teilten die Eltern des Patienten mit, dass sie sich eine Nachuntersuchung dringend wünschten, da ihr Sohn große Probleme mit dem operierten Kniegelenk habe. Auch begleiteten beide Eltern ihren Sohn zur Nachuntersuchung. Dabei kommt eine Überbehütung und Besorgnis der Eltern zum Vorschein. Beim Hocken verspüre der Patient Schmerzen im operierten Knie, aber die Ausführung war dennoch möglich. Es bestanden keine Bewegungseinschränkungen oder Blockadephänomene. Weiterhin beschwerte er sich über eine dauerhafte Schwellung des Kniegelenkes, welche bei der Nachuntersuchung im UKGM nicht objektiviert werden konnte. Dieser Sachverhalt lässt auf eine fälschlich angegebene Punktzahl im Lysholm Score schließen. Vom Patienten wurde hier eine dauerhafte Schwellung angegeben, er hätte aber die bei schwerer Anstrengung auftretende Schwellung ankreuzen müssen. Dies würde dann insgesamt eine Punktzahl von 85 anstatt den angegebenen 79 Punkten erbringen und in die Kategorie „Gute Kniefunktion“ fallen. Hinzu kommt, dass der Patient in den letzten Jahren ein starkes Wachstum erfahren hat und eher von schlaksigem Körperbau mit geringem Muskelanteil ist. Mit dem Wettkampfsport habe er aufgehört und sportlich betätige er sich kaum noch. Somit können kleine Einschränkungen auch nicht durch Muskeln und Koordination wettgemacht werden. Bei etwas stärkerer Anstrengung im Schulsport beispielsweise gab der Patient deutliche Schmerzen an, welche sich durch einen nebenbefundlich diagnostizierten Morbus Osgood Schlatter erklären lassen.

Tegner Aktivitätsscore

Der Aktivitätslevel sollte von jedem Menschen frei gewählt werden können. Jeder sollte im besten Fall die Sportart ausüben können, die er am liebsten betreibt. Somit sollte der Aktivitätslevel, wenn möglich, nicht durch eine Operation beeinflusst werden. In einer Studie von Fink et al. (2001) zeigte sich, dass der Level des ausgeübten Sportes nach einer vorderen Kreuzbandersatzplastik immer absinkt. Dabei wurden 46 Patienten nachuntersucht, die sich einer operativen Therapie unterzogen, und 25 Patienten, die die konservative Therapie bevorzugten. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Ergebnisse von zwei Nachuntersuchungen. Dabei wurde der Aktivitätslevel wie folgt eingeteilt: 0 Punkte für keine Ausübung von Sport, 1 Punkt für die Ausübung von Sport am Wochenende oder bis zu zweimal pro Woche, 2 Punkte für drei bis fünf Mal Breitensport pro Woche und 3 Punkte für Wettkampfsport. Somit ergaben sich folgende Ergebnisse.

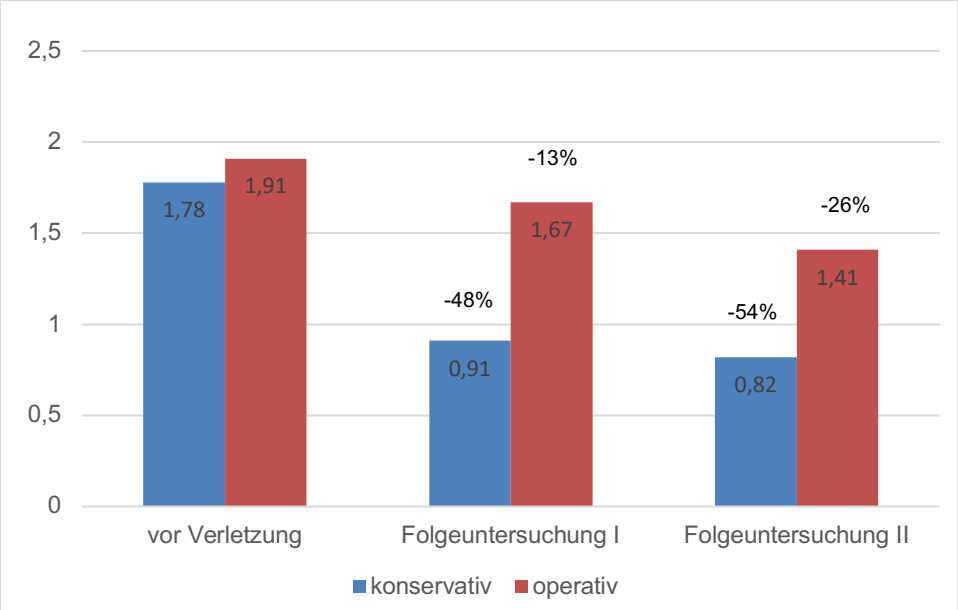


Abbildung 4: **Aktivitätslevel bei Nachuntersuchungen**
(modifiziert nach Fink et al. 2001)
FU = Follow-up Untersuchung

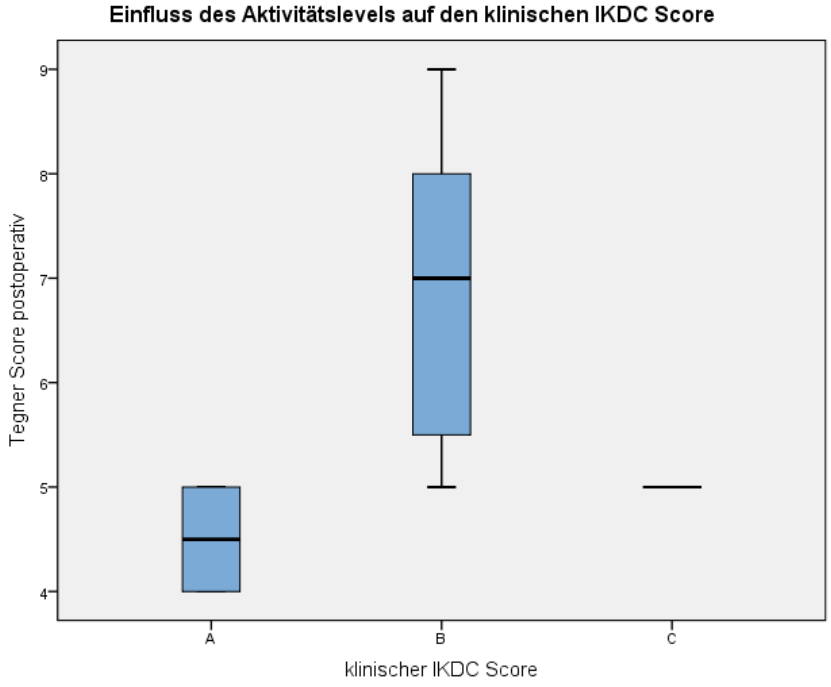
Folglich ist erkennbar, dass die Patienten, welche eine operative Therapie bevorzugten, auch insgesamt mehr Sport getrieben haben. Es zeigt sich sehr schön, dass der Sportlevel bei beiden Gruppen absinkt, jedoch bei der Gruppe der konservativen Therapie stärker abfällt. Insgesamt erlitten die Patienten dieser Gruppe auch mehr Probleme mit ihrem Kniegelenk und erzielten weniger Punkte sowohl im IKDC als auch im Lysholm Score. In dieser Studie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die gewählte Sportart einen großen Einfluss auf das Absinken des Sportlevels hat. So sank es bei Kontaktsportarten wie Fußball oder Basketball bei der KT um 70% ab und bei der OT um 44%, wohingegen Nicht-Kontaktsportarten einen Abfall um 44% und 22% vorwie-

sen. Beim Schwimmen und Radfahren jedoch blieb der Aktivitätslevel bei der KT gleich und stieg bei der OT sogar um 28% an (Fink et al. 2001). Das bedeutet, dass diese beiden Sportarten von Kniegelenksoperationen ziemlich unbeeinflusst bleiben. Man könnte aus den Daten sogar schließen, dass viele Patienten, die keinen Wettkampfsport mehr ausüben können, postoperativ Kniegelenk schonendes Radfahren und Schwimmen ausüben.
Auch in den Ergebnissen der in Gießen durchgeführten Studie konnte im Tegner Aktivitätsscore ein Absinken des Aktivitätslevels nachgewiesen werden. Er sank hierbei von 7 auf 6 Punkte ab und ergab somit einen p-Wert von 0,066. Dieser Wert gibt einen Hinweis auf eine Veränderung des Aktivitätslevels nach einer Operation wie es auch Fink et al. (2001) beschrieben haben.

IKDC Score

Der hier erhobene durchschnittliche IKDC Score stimmt sehr gut (p = 0,928) mit der Literatur (Kocher et al. 2007) überein. Sieben Patienten lagen mit ihrer Punktzahl über 90, zwei zwischen 80 und 90 und drei zwischen 70 und 80 Punkten. Bei den drei schlechtesten Punktzahlen handelt es sich zum einen um die beiden Patienten, die beim Lysholm Score bereits mit niedrigen Punktzahlen aufgefallen sind und um einen weiteren Patienten, welcher im Lysholm Score jedoch 85 Punkte angab. Im Durchschnitt waren die erzielten Punktzahlen von Lysholm Score und IKDC Score fast identisch. Bei Patient 6 ist jedoch eine größere Abweichung zu vermerken. Dies kann die größere Anzahl an Antwortmöglichkeiten beim IKDC als Ursache haben. Ein Wert in der Mitte wird daher bei mangelnder Entscheidungsfreudigkeit bevorzugt angekreuzt. Beim Lysholm Score gibt es weniger Auswahlmöglichkeiten und die Bewertungen sind in 3er und 5er Schritten abgestuft. Klinisch wurde dieser Patient in die Kategorie B eingestuft. Ursächlich für die Einstufung waren ein Flexionsdefizit von 10° und die Angabe der subjektiv empfundenen fast normalen Kniefunktion. In der Magnetresonanztomografie sah man auch nach einer Innenmeniskus-Refixation zwei Jahre zuvor eine neue Risskomponente und kleine Knorpelschäden retropatellär und im lateralen Kompartiment. Dies lässt sich aufgrund des gleichbleibenden Aktivitätsgrades nach der Operation gut nachvollziehen. Weiterhin Sport auf hohem Niveau zu betreiben, prädestiniert für weitere Verletzungen am Kniegelenk. Zudem war die VKB-Plastik schon ein Jahr zuvor nicht durchgehend abgrenzbar und eine Ruptur konnte damals nicht sicher ausgeschlossen werden. In der klinischen Nachuntersuchung waren Lachman und Schubladen Test jedoch negativ.
Ein sehr interessanter Punkt ist in Grafik 13 (S. 43) zu erkennen. Man würde annehmen je höher die Punktzahl im IKDC Fragebogen ist, die der Patient selber angegeben

hat, desto besser ist die Kategorie, in die er bei der klinischen Untersuchung eingestuft wurde. Dies würde für eine hohe Korrelation der beiden Scores sprechen. Wie jedoch ersichtlich ist, stimmt die Patientenbewertung mit der objektiven klinischen Funktionalität nicht überein. Die durchschnittliche subjektive Punktzahl war in Kategorie B am höchsten. Insgesamt kann gesagt werden, dass die Patienten, die einen sehr hohen Anspruch an sich und ihr Kniegelenk haben, schlechtere Punkte vergeben. Menschen, die viel Sport treiben, wissen im Gegensatz dazu, dass Schmerzen auftreten können und lassen sich nicht durch jede Kleinigkeit aus dem Konzept bringen. Sie haben ein besseres Körpergefühl und eine bessere Koordination und wissen, was ihnen gut tut und wie sie mit den Schmerzen umgehen können. Die Schmerztoleranz liegt bei ihnen höher. Im Durchschnitt sind diese Patienten auch zufriedener. Im Gegensatz dazu stört einen Nichtsportler schon ein Flexionsdefizit von 10°, welches klinisch meist keine Relevanz hat. Er besitzt folglich auch weniger Muskulatur und Koordination, um das bestehende Defizit auszugleichen. Nach einer Operation widerfährt dem Kniegelenk dadurch eher eine Schonhaltung, wodurch sich die Muskulatur verkürzt.
Die nachfolgende Grafik 23 zeigt diesen Zusammenhang deutlich. Durch weitere sportliche Aktivitäten können zunächst minimale Kniegelenksverletzungen auftreten, die sich vorerst nur in einer objektiven Untersuchung zeigen. Je besser das Aktivitätsniveau ist, desto schlechter folglich der objektive IKDC Score. Die subjektive Zufriedenheit ist dahingegen sehr hoch, da man weiß, damit umzugehen und durch Muskulatur und Koordination auszugleichen. In der IKDC Gruppe B herrschen sowohl höhere Aktivitätsgrade der Patienten als auch höhere Punktzahlen im subjektiven IKDC Score.



Grafik 23: Einfluss des Aktivitätslevels auf den klinischen IKDC Score

6.3 Objektive klinische Parameter

KT-1000 Arthrometer

Die Werte der Messung mit dem Arthrometer wurden allesamt von demselben Untersucher dreimal hintereinander durchgeführt und daraus der Mittelwert berechnet. Dabei wurden jeweils vier Werte notiert: die posteriore Verschiebung bei 89 N, die anteriore Verschiebung bei 67 N und bei 89 N sowie der maximale manuelle Vorschub. In dieser Studie wurden der bei 89 Newton gemessene Wert und der Wert bei der maximalen Translation verwendet. Zum Seitenvergleich wurden immer beide Kniegelenke gemessen und daraus eine Differenz gebildet. Im Normalfall sollten beide Kniegelenke eine etwa gleich große Translation aufweisen, also die Differenz bei Null liegen. Auffällig ist bei den Ergebnissen, dass die Differenz bei 89 Newton höher war als bei der maximalen Translation (1,7 mm vs 1,3 mm). Dies kann zum einen vom Untersucher selber abhängen, da die Messung viel Kraft erfordert, um die Tibia gegen den Femur nach ventral zu verschieben. Zum anderen spielt auch die Compliance des Patienten eine wichtige Rolle. Das Bein muss ganz entspannt im KT-1000 Arthrometer liegen. Dabei darf nicht gegengespannt werden oder versucht werden das Bein selbstständig zu halten. Weiterhin ist der Trainingszustand des Patienten zu berücksichtigen. Je besser dieser ist, desto schwerer ist es für den Untersucher eine Tibiatranslation zu bewirken, da die Muskulatur das Kniegelenk sehr gut stabilisiert.

Eine andere Auffälligkeit besteht darin, dass die Messwerte eines Patienten bedeutend höher als bei den anderen waren. Bei ihm konnte eine Differenz von 3,6 mm bei 89 Newton und 3,0 mm bei der maximalen Verschiebbarkeit nachgewiesen werden. Laut Daniel et al. (1985b, S. 405–406) spricht eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm bereits für eine vordere Kreuzbandruptur, wobei der Patient kein akutes Trauma erlitten hat oder aktuell Beschwerden angab. Wie bereits in diversen Vorbriefen beschrieben, liegt bei dem Patienten eine erhöhte Bandlaxizität vor. Schließlich gaben die MRT Bilder mehr Aufschluss. Hierbei wurde von den Radiologen eine vordere Kreuzband Agenesie DD Ruptur beschrieben bei nicht abgrenzbarem Transplantatverlauf. Eine bereits drei Jahre zuvor diagnostizierte Agenesie liegt auf der Gegenseite in Kombination mit Dysplasien der Patella vor. Die Seitendifferenz kann man dadurch jedoch nicht erklären, da wie beschrieben eine beidseitige VKB Agenesie vorliegt. Der Patient gab keine Schmerzen oder Einschränkungen an, verspüre aber selten ein Giving-way Phänomen, indem sein Kniegelenk einfach wegknicke. Ein Trauma, welches zu einer Ruptur der Plastik geführt haben könnte, sei nicht erinnerlich. Dieser Patient ist der einzige, bei dem ein positiver Lachman Test nachgewiesen werden konnte.

Der Vergleichswert für diese Studie war ein Seitunterschied von 0,8 mm (Daniel et al. 1985a). Bei einer Kraft von 89 Newton sah man eine deutliche Abweichung von diesem Wert. Dies könnte daran liegen, dass bei Daniel et al. (1985a) der mittlere Altersdurchschnitt bei 26 Jahren lag und die Patienten somit bereits ausgewachsen waren. Es handelte sich jedoch bei dieser Studie um die größte Fallzahl, bei der eine KT-1000 Messung erfolgt war, sodass diese herangezogen wurde. Bei Kindern ist die Bandlaxizität erhöht (Baxter 1988, S. 548). Da jedoch beide Kniegelenke davon betroffen sind, dürfte dies bei einem Differenzwert keine Rolle spielen. Bei Kopf et al. (2010, S. 1448) wurde ein durchschnittlicher Rechts-Links-Unterschied von 1,8 mm bei einem Durchschnittsalter von 14,4 Jahren gefunden. In einer anderen Studie lag dieser bei 1,5 mm (Anderson 2003, S. 1259–1260). Hier wurden jedoch nur 12 Patienten in einem Durchschnittsalter von 13,3 Jahren untersucht. Diese Werte zeigen, dass die Vergleichbarkeit der vorliegenden Studie mit der Literatur trotzdem gewährleistet ist. Ferner kann man erkennen, dass Kinder mehr Spielraum in ihren Bändern haben und somit auch eine erhöhte Seitendifferenz der Bandapparate vorweisen können.

Komplikationen

Bei Kindern unter 18 Jahren ist die Rerupturrate generell höher als bei Erwachsenen. In einer Studie von Morgan et al. (2016) wurden 242 Patienten zwischen 13 und 18 Jahren eingeschlossen. Es erfolgten Nachuntersuchungen nach ein, zwei, fünf, zehn und fünfzehn Jahren. Dabei wurde der Aktivitätslevel und die IKDC Punktzahl bestimmt. Bei der letzten Nachuntersuchung nach 15 Jahren wiesen 17% der Patienten eine Reruptur der Kreuzbandersatzplastik auf und 20% eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes der Gegenseite. Die Rerupturrate bei Erwachsenen liegt nach durchschnittlich 6,5 Jahren bei 7% (Buchner et al. 2007, S. 324), bei Kindern liegt sie nach 5 Jahren sogar bei 12% (Morgan et al. 2016).

Für eine Ruptur der Gegenseite sind hauptsächlich die Patienten gefährdet, welche zu ihrem Ausgangsaktivitätslevel zurückkehren. Auch sind Männer stärker gefährdet, was durch stärker Risiko behaftete Sportarten deutlich wird. Durch eine unterbewusste Schonhaltung des operierten Kniegelenkes gerät die kontralaterale Seite unter höhere Belastung (Morgan et al. 2016, S. 389).

Die Autoren konnten ebenfalls zeigen, dass die Rerupturrate in den ersten zwei Jahren nach der Operation am höchsten ist. Sie liegt bei 4%. Bei den Patienten unter 14 Jahren überdauerten nur 73% aller Transplantate den Nachuntersuchungszeitraum von 15 Jahren, während dagegen in der Gruppe der 14-18 Jährigen die Überdauerungsrate bei 84% lag. Einschränkend muss erwähnt werden, dass auch in dieser Studie mit eigentlich großer Fallzahl die Zahl der unter 14 Jährigen nur bei 23 lag.

In einer anderen Studie wurden Patienten unter 20 Jahren operiert, wobei eine Rerupturrate von 14,3% bei den Jüngeren in dieser Stichprobe festgestellt wurde (Magnussen et al. 2012). Bei Preiss et al. (2012, S. 851–852) traten Rerupturen im Gegensatz dazu bei 3,8% der Patienten auf. Dies könnte an der geringeren Nachuntersuchungszeit von durchschnittlich nur 3 Jahren liegen. Bei Morgan et al. (2016, S. 387) lag das Risiko einer Reruptur in den ersten beiden Jahren bei 4%, was mit den Daten von Preiss wiederum fast übereinstimmt.
In der vorliegenden Studie konnte nur eine Reruptur (und eine fragliche Ruptur) bei 12 Patienten erfasst werden, was einer Rate von 8,3% (bzw. 16,6%) entspricht. Es konnten keinerlei Wachstumsstörungen detektiert werden, weder Beinlängenunterschiede noch Achsabweichungen. In der Beinlängenmessung wurde lediglich ein variabler Beinlängenunterschied von bis zu 2 cm festgestellt. Achsabweichungen kamen ebenfalls nur leichtgradig ohne klinische Relevanz vor und können bei sehr vielen Menschen auch ohne vorherige Kreuzbandoperation nachgewiesen werden. Ob der Kreuzbandersatz bei den untersuchten Patienten für diese leichte Achsfehlstellung verantwortlich ist, kann somit nicht hinreichend geklärt werden. Sicher ist nur, dass keinem Patienten durch die Fehlstellung Nachteile oder Schmerzen entstanden sind.

Magnetresonanztomografie

Meniskus- und Knorpelschäden

Klinisch hatte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung kein Patient einen Hinweis auf einen Meniskus- oder Knorpelschaden. In der Magnetresonanztomografie jedoch konnten bei fünf Patienten Knorpelschäden und bei drei Patienten Meniskusläsionen nachgewiesen werden. Bei der konservativen Therapie treten demgegenüber viel häufiger Folgeverletzungen aufgrund der vorderen Kreuzbandruptur auf, zu denen vorwiegend Meniskus- und Knorpelläsionen zählen (Shafizadeh et al. 2014, S. 889). Bei den Patienten, die viel Sport treiben und dies unter Umständen auch als Wettkampf- und Leistungssport ausüben, treten ebenfalls häufiger Folgeverletzungen auf, weil die Kniegelenke weiterhin stark beansprucht werden (Shelbourne et al. 2009, e39(5)).
Bei einem Patienten dieser Studie, der regelmäßig Handball spielte, rupturierte 1,5 Jahre später ebenfalls das vordere Kreuzband der Gegenseite. Ein Außenmeniskusschaden an initial operiertem Kniegelenk trat sechs Jahre nach der ersten Operation zusammen mit einem Knorpelschaden auf. Dies führte dazu, dass der Sport aufgegeben werden musste, um den Rest an Knorpel, der noch vorhanden war, zu schützen. Bei einem anderen Patienten wurde bei der Kreuzbandersatzplastik eine Teilresektion des Außenmeniskus vorgenommen. In der Nachuntersuchung wurden große Knorpel-

schäden am betroffenen Kniegelenk lokalisiert, die dem Patienten auch Probleme bereiteten. Er musste sich einer Folgeoperation unterziehen (siehe Fallbespiel unter 6.4).

Transplantat

Der Transplantatdurchmesser ist gut vergleichbar mit den Werten aus der Literatur. Bei Astur et al. (2016, S. 794) lag dieser bei 7,9 mm, bei Kohl et al. (2013, S. 2) bei 8,2 mm und in der durchgeführten Studie bei 7,65 mm. Damit ist eine geringe Verletzung der Wachstumsfuge gewährleistet, denn bei einem Bohrkanaldurchmesser von 6-8 mm werden nur etwa 5% der tibialen Wachstumsfuge verletzt (Seil und Robert 2004).
In der in Gießen durchgeführten Studie wurde eine Ausdünnung des Transplantates um 0,93 mm gemessen. Andere Autoren fanden noch viel gravierendere Veränderungen bei der Nachuntersuchung. So konnte bei Astur et al. (2016, S. 794) sogar ein um zwei Millimeter ausgedünntes Transplantat gemessen werden. In einer Studie von 2008 wurde herausgefunden, dass sich Hamstring Transplantate nach einer vorderen Kreuzband Rekonstruktion verlängern, jedoch keine Änderung des Transplantatdurchmessers stattfinde (Bollen et al. 2008). Die Länge des Transplantates wurde in der hier durchgeführten Studie nicht bestimmt.
Bei Patient 6 aus der Fallgruppe der klinisch untersuchten Patienten wurde bei der Operation der größte Transplantatdurchmesser ausgewählt. Dieser betrug 9 mm. Auffällig war, dass dieser Patient im MRT bei der Nachuntersuchung sowohl einen Knorpel- als auch einen Meniskusschaden vorwies sowie eine tibiale Tunnelweitung. Die subjektiven Scores lagen allesamt unter dem Durchschnitt (Lysholm 85 Punkte, IKDC 73,56 Punkte). Es stellt sich die Frage, ob die resultierenden Folgen, die magnetresonanztomografisch gesehen wurden, mit dem Transplantatdurchmesser in Zusammenhang stehen. Diese Frage lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht hinreichend klären, da auch bei anderen Patienten mit kleinerem Durchmesser Knorpel- und Meniskusschäden eruiert werden konnten. Aufgrund der kleinen Fallzahl lässt sich hierzu keine Aussage machen. Laut Literatur könnte dies jedoch ein Grund für Folgeschäden am Kniegelenk sein, da der empfohlene Durchmesser von 8 mm hierbei überschritten wurde (Seil und Robert 2004).

Winkel

Der Winkel, in dem das Transplantat auf die Wachstumsfuge trifft, sollte möglichst steil sein, um größere Verletzungen und damit Wachstumsstörungen zu vermeiden (Kopf et al. 2009). Es wurde ein durchschnittlicher Winkel von 69° angelegt, während die Literatur einen Winkel von 63° beschrieb (Calvo et al. 2015). Dabei handelt es sich um einen recht großen Unterschied und einen errechneten p-Wert von 0,004. Dies könnte am

ehesten von der Messmethode abhängen. Da die Patienten der Studie zum Untersuchungszeitpunkt bereits alle ausgewachsen waren und somit keine Wachstumsfuge mehr im MRT nachgewiesen werden konnte, wurde der Winkel des Transplantates in Bezug zum Tibiaplateau anstatt in Bezug zur Wachstumsfuge wie bei Calvo gemessen. Dadurch kann es zu den höheren Werten kommen. Nichtsdestotrotz ist aus den Ergebnissen dennoch ersichtlich, dass die Bohrkanäle allesamt wie empfohlen steil angelegt waren, denn der physiologische Neigungswinkel des Kreuzbandes zum Tibiaplateau liegt zwischen 52° und 56° (Petersen 2009a, S. 61–62).

Tunnelweitung

Eine femorale Tunnelweitung lag bei 30% der Patienten vor, eine tibiale ebenfalls bei 30%. Verglichen mit der Literatur von 31% und 24% (Fauno und Kaalund 2005) wurden somit vergleichbare Ergebnisse erzielt, die sich in p-Werten von 0,945 und 0,657 abzeichneten. Kein Patient hatte bei einem vergrößerten Bohrkanal in der Nachuntersuchung irgendwelche klinische Einschränkungen oder Probleme. Das Kniegelenk war trotzdem stabil und das Ausüben von Sport und alltäglichen Tätigkeiten war gut möglich.

Bei Erwachsenen werden bei gelenkferner Fixation des Kreuzbandtransplantates vermehrt Tunnelaufweitungen beobachtet, die vorwiegend in den ersten sechs Monaten nach der Operation geschehen. Danach sistiert der Prozess wieder (Kopf et al. 2010, S. 1448). In Tierstudien wurde festgestellt, dass die Transplantate nach 8-12 Wochen ihre knöcherne Einheilung abgeschlossen haben. Bis dahin finden auch die Tunnelweitungen statt. In den ersten 6-8 Wochen nach einer Operation entstehen sie dabei am häufigsten, nach drei Monaten finden diese nur noch geringgradig statt (Petersen 2009c, S. 202–204). Dabei wird dieses Phänomen vermehrt femoral gesehen (Fauno und Kaalund 2005). Auch Asik et al. (2007, S. 969–971) konnten in ihrem Kollektiv von 271 Patienten in einem Durchschnittsalter von 25,7 Jahren eine Tunnelweitung bei 18% der Patienten auf der femoralen und nur bei 12% auf der tibialen Seite feststellen. Jedoch besteht keinerlei Zusammenhang mit den klinischen Ergebnissen. In anderen Studien ist das Phänomen der Tunnelweitung jedoch gar nicht aufgetreten. Bei Kopf et al. (2010, S. 1448) werden bei 14 Patienten mit offenen Wachstumsfugen und transphysärer Operationstechnik nach durchschnittlich sieben Jahren keine Tunnelweitungen beobachtet.

Revisionseingriffe sind bei etwa 8% aller vorderen Kreuzbandersatzplastiken erforderlich, wobei eine Tunnelweitung eine häufige Ursache hierfür darstellt (Kopf et al. 2010, S. 1446). Dabei ist es nicht ganz einfach eine Revisionsoperation durchzuführen. Aufgrund der großen Bohrkanäle besteht die Schwierigkeit, einen neuen Kanal zu bohren.

In einer zweizeitigen Operation muss der erste Bohrkanal daher zunächst mit Spongiosa aufgefüllt werden, um dann im nächsten Schritt einen neuen Kanal bohren zu können (Fink 2004, S. 271).

Die Ursachen der Tunnelerweiterungen sind größtenteils ungeklärt. Man nimmt heutzutage eine multifaktorielle Genese an. Zum einen können als Ursache mechanische Faktoren aufgeführt werden, die durch Mikrobewegungen zwischen Transplantat und Tunnel oder durch die Wahl des Transplantates herbeigeführt werden (Fink 2004, S. 270–271). Dabei kann bei der Verwendung von Beugesehnen häufiger dieses Phänomen beobachtet werden (L'Insalata et al. 1997). Die Autoren führen dies darauf zurück, dass die Hamstring Transplantate weiter entfernt vom Bohrkanal befestigt werden und somit größere Kräfte durch größere Hebelwirkungen bei Bewegung einwirken. Auch bei einem Missverhältnis des Transplantat-Tunnel-Durchmessers oder einer zu aggressiven Rehabilitation nach einer Operation kann eine Tunnelweitung gefördert werden, da die knöcherne Einheilung etwa 8-12 Wochen Zeit bis zur endgültigen Stabilität benötigt (Fink 2004, S. 270–271). Bei gelenkferner extrakortikaler Befestigung hat das Transplantat somit mehr Spielraum für Bewegungen und bei dieser Technik werden auch mehr Tunnelweitungen beschrieben (Fauno und Kaalund (2005, S. 1337)). Die Autoren konnten bei einer Gesamtzahl von 46 Patienten bei 20 Patienten femoral und bei 16 Patienten tibial eine Tunnelaufweitung finden. Dagegen waren bei der gelenknahen Fixation femoral nur sieben und tibial nur fünf von insgesamt 41 Patienten betroffen. Auf der anderen Seite werden auch biologische Faktoren als Ursache angeführt. Innerhalb der Synovialflüssigkeit wurde eine erhöhte Zytokinaktivität gemessen. Zytokine bewirken eine Osteoklastenaktivierung, welche zur Knochenresorption führt. Dringt die Synovia zwischen Transplantat und Tunnelwand ein, wird der Knochenabbau gefördert (Fink 2004, S. 270–271).

Interessant hierbei ist, dass in der in Gießen durchgeführten Studie die Hypothese der gelenkfernen Verankerung, die für die Tunnelweitung verantwortlich sein soll, teilweise widerlegt werden kann. Bei der Rigid Fix® Technik handelt es sich dabei um eine gelenknahe Fixation im Vergleich zum extrakortikalen Endobutton®. Jedoch sind die Tunnelweitungen nur bei der RigidFix® Methode beobachtet worden. Im exakten Test nach Fisher konnte dafür ein p-Wert von 0,024 berechnet werden. Somit gibt dies einen starken Hinweis auf die Relevanz der Operationstechnik und hiermit einen Unterschied zur Beschreibung in der Literatur.

Dieser Sachverhalt, je weiter entfernt die Fixierung erfolgt, desto mehr Tunnelweitungen entstehen, wurde von Ma et al. (2004) ebenfalls untersucht. Zwei Gruppen von je fünfzehn Patienten unterzogen sich einer Operation. Bei einer Gruppe wurde das Transplantat mit bioresorbierbaren Interferenzschrauben gelenknah befestigt, die an-

dere Gruppe wurde mittels Endobutton® operiert. Die beiden Gruppen wurden hinsichtlich IKDC Score, KT-1000 Messung, Röntgen und MRT verglichen. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Tunnelweitung gelegt, welche in beiden Gruppen auftrat. Das klinische Ergebnis unterschied sich in den beiden Gruppen jedoch nicht. Die Messergebnisse und Scores waren vergleichbar. Interessanterweise sind bei der Operation mit Interferenzschrauben sogar mehr Tunnelweitungen entstanden als bei der gelenkfernen Fixation (Ma et al. 2004, S. 126). Dieses Ergebnis spricht somit ebenfalls gegen alle vorangegangenen Theorien der Tunnelerweiterung durch gelenkferne Fixation und stimmt mit den Ergebnissen der hier erbrachten Studie überein. Sowohl eine Fixierung mit Interferenzschrauben als auch mit RigidFix® Pins birgt demnach ein höheres Risiko für Tunnelweitungen als eine Operation mit einem gelenkfernen Endobutton®.

6.4 Fallbeispiel

Zur besseren Anschauung der durchgeführten Studie soll hier ein Fallbeispiel erläutert werden. Es wurde dafür ein Patient ausgewählt, bei welchem schon längere Zeit Probleme am operierten Kniegelenk bestanden. Tatsächlich konnte in der durchgeführten Nachuntersuchung eine korrespondierende Pathologie entdeckt werden, woraufhin er sich einer Folgeoperation unterziehen musste.

Der Patient erlitt im Mai 2009 beim Fußballspielen ein Verdrehtrauma des rechten Kniegelenkes. Die Beschwerden begannen erst drei Wochen später, das Fußballspiel konnte unmittelbar nach der Verletzung sogar fortgeführt werden. Im Verlauf stellten sich jedoch Blockadephänomene mit einem Streckdefizit bis zu 30°, belastungsabhängige Schmerzen und eine Schwellung nach einer Gehstrecke von nur 20 Metern ein. Physiotherapie erbrachte keine Besserung der Beschwerdesymptomatik. Im August wurde schließlich eine Magnetresonanztomografie des Kniegelenkes durchgeführt und ein Außenmeniskus-Korbhenkelriss, ein Innenmeniskus-Hinterhornriss sowie eine alte vordere Kreuzbandruptur diagnostiziert. Somit war die Indikation zur Kreuzbandoperation gegeben, die noch Ende August durchgeführt wurde und somit drei Monate nach dem initialen Verletzungsereignis. Bei der Kniegelenksarthroskopie stellte sich heraus, dass es sich um einen eingeklemmten AM-Korbhenkelriss handelte, der zusätzlich zum vorderen Kreuzbandersatz teilreseziert werden musste. Die Nachuntersuchungen wurden regelmäßig durchgeführt und verliefen ohne größere Probleme. Das Fußballspielen war dem Patienten nach 13 Monaten wieder möglich.

Sechs Jahre später wurde der Patient telefonisch kontaktiert, um seine Bereitschaft für eine klinische Studie zu erfragen. Hierbei zeigte er sich sofort sehr kooperativ, da er be-

reits seit einigen Monaten stark schmerzgeplagt gewesen sei und ihm eine weitere Untersuchung sehr recht käme. In den zugesandten Bögen gab er im Verhältnis zu den anderen Patienten eher schlechte Punktzahlen an. So erzielte er in den subjektiven Bewertungen im Lysholm Score 65 Punkte, im Tegner Score präoperativ 9 Punkte, bei der Nachuntersuchung nur noch 5 Punkte und im IKDC Score 77 Punkte. Bei der Nachuntersuchung im Mai 2015 präsentierte sich der Patient mit einer rezidivierend auftretenden Schwellung, einem Knacken, Schmerzen und gelegentlichen Blockierungsphänomenen im Kniegelenk. Das Fußballspielen habe er immer weiter zurückgeschraubt. Zum einen bedingt durch seinen Job, der ihn viel Zeit koste, zum anderen durch die immer wiederkehrenden Schmerzen im rechten Kniegelenk. In der MRT Untersuchung zeigte sich ein Defekt des Außenmeniskus, der 2009 subtotal reseziert wurde, und eine Chondromalazie Grad 3-4 der lateralen Femurkondyle mit lateraler Gonarthrose. Nebenbefundlich konnte zudem ein nicht dislozierter Innenmeniskus-Hinterhorn Riss ausgemacht werden.

Grafik 24: MRT bei Nachuntersuchung: Defekt des AM und Chondromalazie Grad 3-4 der lateralen Femurkodyle

Aufgrund des resezierten Außenmeniskus befand sich in den letzten Jahren kein Stoßdämpfer mehr im Kniegelenk, um die einwirkenden Kräfte abzufedern und den Knorpel somit zu schonen. Daher litt der Patient im Alter von nur 22 Jahren an einer lateralen Gonarthrose. Zur Verhinderung weiterer Schäden war es nun dringend indiziert, eine weitere Operation durchzuführen. So wurde binnen eines Monats ein Termin zur Operation vereinbart. Hierbei wurde dem Patienten bei einer Kniegelenksarthroskopie ein

künstlicher Außenmeniskus (Actifit®) eingesetzt. Ferner erfolgte eine subchondrale Knocheneröffnung, eine sogenannte Mikrofrakturierung, der lateralen Femurkondyle zur Anregung der Knorpelregeneration.

Es lässt sich nun der Therapieerfolg der vorderen Kreuzbandersatzplastik hinterfragen. Ist die Operation im jungen Alter verantwortlich für die nun aufgetretene Problematik? Dies lässt sich nicht mit Sicherheit beantworten. Es ist zu beachten: Der Patient hatte nach seiner Kreuzbandruptur Schmerzen und konnte aufgrund des eingeklemmten Außenmeniskus kaum auf seinem rechten Bein stehen. Somit wäre eine konservative Therapie wohl nicht angebracht gewesen. Wie auch Welsch et al. (2013, S. 205) in einem Behandlungsalgorithmus vorschlagen, sollte eine konservative Therapie nur erfolgen, wenn keine Begleitverletzungen vorliegen, wenig sportliche Aktivität des Patienten gewährleistet ist und eine Teilruptur ohne jegliche Instabilitätszeichen vorliegt. Bei diesem Patienten traf dies alles jedoch nicht zu. Andere Behandlungsalgorithmen schlagen vor, im Kindesalter zunächst eine funktionelle Behandlung mit abschwellenden Maßnahmen und Physiotherapie bis zur Skelettreife einzuleiten, um erst dann eine Operation vorzunehmen (Seil et al. 2010a, S. 92). Physiotherapie erbrachte bei dem Patienten keine Besserung. Ohne Operation hätte besagter Patient wohl kaum seine Schmerzen beseitigen können. Eine operative Therapie der Kreuzbandruptur war also zu diesem Zeitpunkt indiziert.

War es aber die beste Lösung eine Teilresektion des Meniskus durchzuführen? Könnte dies die Ursache für die aktuelle Gonarthrose des Patienten sein? Meniskusläsionen sind vor allem von traumatischer oder degenerativer Genese. Da die Verletzungen meist im avaskulären Bereich des Meniskus liegen, haben sie ein geringes Selbstheilungspotenzial. Vorwiegend bei traumatischen Läsionen ist eine Wiederherstellung der dadurch eingeschränkten Kniefunktion unerlässlich (Bochynska et al. 2016). Die Meniskusnaht ist eine favorisierte Methode zur Sanierung eines Meniskus, wobei nach besseren Lösungen gesucht wird, da nicht jede Läsion durch eine Naht behoben werden kann (Bochynska et al. 2016). So muss bei nicht zu nähenden Verletzungen auf die Resektion ausgewichen werden, um die Symptomatik aus Schmerzen, Schwellung und Blockierungsphänomenen zu beseitigen. Bei einer Entfernung des Meniskus wirken höhere Kräfte auf den darunter liegenden Knorpel der Tibia und schädigen diesen (McDermott und Amis 2006). Teilresektionen ergeben dabei bessere Ergebnisse als komplette Resektionen. Es konnte festgestellt werden, dass die Kniefunktion umgekehrt proportional zur Größe des entfernten Meniskus ist (McDermott und Amis 2006). Nach einigen Jahren sind radiologische Veränderungen obligat, die in den meisten Fällen auch zur klinischen Symptomatik führen können (McDermott und Amis 2006).

Abschließend lässt sich sagen, dass die bestehende Problematik des Patienten am ehesten auf die Meniskusteilresektion zurückzuführen ist. Danach sind Knorpelschäden fast obligat. Ob der Kreuzbandersatz zur Gonarthrose beigetragen hat, lässt sich dadurch nur schwer einschätzen. Fakt ist jedoch, dass spätestens zu dem Zeitpunkt, an dem eine Folgeoperation unumgänglich war, der Kreuzbandersatz ebenfalls hätte durchgeführt werden müssen. Denn bei zusätzlich rupturiertem vorderen Kreuzband kommt es ebenfalls zu größeren Krafteinwirkungen auf den Knorpel. Bei Auftreten von Meniskus- oder Knorpelschäden nach konservativ behandelter vorderer Kreuzbandruptur, ist eine operative Therapie laut Graf et al. (1992, S. 231–232) ebenfalls indiziert.
Somit ist sowohl der initiale Kreuzbandersatz zur Stabilisierung des Gelenkes als auch die Meniskusteilresektion zur Aufhebung von Blockierungsphänomenen zu rechtfertigen. Es besteht weiterhin die Hoffnung auf neue Techniken in der Meniskuschirurgie, mit welchen die Folgen bei diesem Patienten hätten vermieden werden können.

6.5 Schlussfolgerung bezüglich der eingangs gestellten Fragestellungen

6.5.1 Operativ versus konservativ

Da sich die Literatur ständig im Wettstreit befindet, ob die operative (OT) oder konservative Therapie (KT) den Goldstandard darstellt, gibt es viele Studien, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzen. In einer Studie wurden insgesamt 140 Fragebögen an praktizierende Ärzte geschickt. Dabei zeigte sich, dass das Therapievorgehen maßgebend vom Alter der Patienten abhängt. So gaben nur 16% der Ärzte an, Kindern in einem Alter von 8 Jahren zu einer Operation zu raten, wohingegen bei einem 13-Jährigen sogar 34% der Ärzte dieser Meinung waren (Kocher et al. 2002, S. 455).
Im prospektiven Studiendesign von Moksnes et al. (2013, S. 490–493) wird eine konservative Therapie als vertretbar angesehen. Von 46 Patienten mussten nur zehn später operiert werden, Meniskusverletzungen erlitten 17% der Patienten. Im Behandlungsalgorithmus von Welsch et al. (2013, S. 205) soll eine konservative Therapie nur dann durchgeführt werden, wenn keine Begleitverletzungen und keine Instabilität des Kniegelenkes vorliegen. Außerdem sollte der Patient wenig sportlich aktiv sein und eine hohe Compliance vorweisen.
So führten auch Streich et al. (2010) einen Vergleich durch. In dieser Studie sind zwölf Patienten mittels einer Schiene mit Beugelimitierung bis 90° für acht Wochen und intensiver Krankengymnastik konservativ behandelt worden. Schwimmen und Radfahren war nach 6 Wochen, Laufen nach 12 Wochen erlaubt. Kontaktsportarten durften erst nach 12 Monaten mit einer angelegten Schiene durchgeführt werden. Weitere 16 Pati-

enten unterzogen sich einer operativen Therapie, da sie zum Verletzungszeitpunkt Begleitverletzungen vorwiesen. Mit einem STS-Transplantat mit einem Durchmesser von 6-8 mm wurde eine Ersatzplastik mittels Endobutton® (Smith & Nephew) und Suture-Disc® (Aesculap) durchgeführt. Nach durchschnittlich 21 Monaten mussten sich sieben der anfangs zwölf konservativ Behandelten (58%) aufgrund von bestehender Instabilität im Kniegelenk doch einer Operation unterziehen. Die weiteren Ergebnisse ließen ebenfalls zu wünschen übrig: Der IKDC Score betrug postoperativ 95 Punkte, der Lysholm Score 93. Bei den konservativ Therapierten wurden Punktzahlen von 87 beim IKDC und 84 beim Lysholm Score erzielt. Ein weiterer signifikanter Unterschied zeigte sich in der KT-1000 Messung. Die Seitendifferenz betrug 1,8 mm nach einer Operation und nach der konservativen Therapie 4,3 mm.

Im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse, welche Studien von 1980 bis 2009 einbezog, wurden ebenfalls operative und konservative Therapien verglichen (Frosch und Preiss 2013). Im Detail wurden dabei 155 konservativ behandelte Kniegelenke aus 10 Studien einbezogen und insgesamt 941 operierte Kniegelenke aus 55 Studien. Dabei ergab sich eine klare Überlegenheit der Operation bezüglich des klinischen Outcomes. Der subjektive Lysholm Score lag bei der KT bei 73,2 Punkten, bei der OT bei 95,5 Punkten. Ein Giving-way Phänomen lag bei 89,5% der konservativ Therapierten und nur bei 2,8% der Operierten vor. Ein positiver Lachman Test wurde bei 77,5% (KT) und 13,6% (OT) gefunden. Nach einer Operation konnte nahezu jeder sein vorheriges Sportniveau wieder erreichen (91,2%) im Gegensatz zu 30,9% ohne Operation. Eine Beinlängendifferenz oder Achsabweichung wurde lediglich bei 20 Patienten entdeckt, was einer Rate von 2,1% entspricht.

In einem weiteren systematischen Review von Vavken und Murray (2011) wurden 1217 Patienten aus 48 verschiedenen Studien eingeschlossen. Dabei zeigte sich die operative Therapie ebenfalls klar überlegen. Es ergaben sich keinerlei Wachsstumsstörungen, während dagegen bei der konservativen Therapie viele Meniskus- und Knorpelschäden nachzuweisen waren. In diesem Review wurden verschiedene Operationstechniken einbezogen. Im Vergleich zeigte sich jedoch keine Methode überlegen. Allein die transphysäre Technik wurde bei 479 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 13,6 Jahren angewandt und einer durchschnittlichen Zeit bis zur Nachuntersuchung von 3,5 Jahren. Ferner wurden die Jüngeren des Patientenkollektivs mit den Patienten kurz vor Verschluss der Wachstumsfuge verglichen. Auch hierbei zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Das Alter hatte auch in dieser Studie keinen Einfluss auf das Ergebnis. Eine Operation bei Kindern hat demzufolge sehr gute Ergebnisse erbracht und ist somit auch bei geöffneten Wachstumsfugen indiziert.

Trotzdem bleibt eine Frage weiterhin offen. Aufgrund des Stichprobenumfangs konnte nicht untersucht werden, ob ein Zusammenhang mit dem Alter oder dem aktuell verbleibenden Potenzial der Wachstumsfuge besteht. Woods und O'Connor (2004, S. 202–205) untersuchten, ob die Zeit bis zu einer Operation eine Auswirkung auf das Ergebnis oder auf mögliche Folgeverletzungen hat. Sie teilten ihre Patienten in vier Gruppen ein, wobei die ersten drei Gruppen bestehend aus insgesamt 103 Patienten innerhalb von 26 Wochen nach Verletzung operiert wurden und allesamt schon geschlossene Wachstumsfugen aufwiesen. In Gruppe vier wurden die chronischen vorderen Kreuzbandrupturen erfasst, die erst nach mehr als 6 Monaten operiert wurden. Eine weitere Gruppe bildeten 13 Patienten, bei denen die Operation bis zur Skelettreife abgewartet wurde. Dabei durfte zum Zeitpunkt der Verletzung keine Begleitverletzung vorliegen und eine absolute Ruhigstellung des Kniegelenkes musste gewährleistet sein. Es stellte sich heraus, dass alle Patientengruppen ähnliche Ergebnisse vorweisen konnten. Lediglich in der Verzögerungsgruppe der chronisch instabilen Kreuzbandrupturen waren mehr Folgeoperationen notwendig als bei den Vergleichsgruppen. Obwohl in dieser Gruppe etwa 20% mehr Meniskusläsionen vorzuweisen waren, konnte keine statistische Signifikanz dabei erzielt werden. Es spielte jedoch keine Rolle, ob die Patienten bei verschlossenen Wachstumsfugen operiert wurden oder ob die Operation bis zur Skelettreife verzögert wurde.

Dunn et al. (2016) verglichen ebenfalls die operative, konservative und verzögerte Operation, indem sie 11 Studien, die zwischen 2009 und 2011 publiziert wurden, eingeschlossen haben. Nach der KT berichteten 75% der Patienten über eine Instabilität im Kniegelenk. Der IKDC Score zeigte ebenfalls deutliche Unterschiede. Nach einer Operation wurde eine Punktzahl von 94,6 erreicht, während dagegen bei der abwartenden Therapie nur 82,4 Punkte erzielt werden konnten. So plädierten Dunn et al. (2016) für eine direkte Operation. Es kam dabei zu weniger Sekundärverletzungen und zur schnellen Rückkehr zum vorigen Aktivitätslevel.

Chotel und Seil (2013, S. 586) konnten beweisen, dass bei jüngeren Kindern größere Kräfte in der Wachstumsfuge herrschen. Ein größeres Wachstumspotenzial ist dafür verantwortlich, dass Knochenbrücken, welche sich bei Fugenverletzungen ausbilden, leichter gebrochen werden können. Knochenbrücken gelten wiederum als Ursache für Wachstumsstörungen. Demzufolge dürften bei jüngeren Patienten weniger Wachstumsschwierigkeiten zu erwarten sein und eine verzögerte Operation wäre ebenfalls nicht indiziert. In ihrer Fallstudie wurden ein 7 und ein 10 jähriger Patient vorgestellt, welche keinerlei Probleme nach der Operation vorzuweisen hatten.

6.5.2 Vergleich der Operationstechniken

Die Kreuzbandersatztechniken bei Kindern sind vielfältig. Berechtigt muss man sich die Frage stellen, welche Methode die beste ist. In einer Multicenter-Studie wurden vier verschiedene Operationstechniken, die sowohl transphysäre als auch Fugen aussparende Techniken beinhalteten, an 68 Patienten getestet und verglichen. Zudem wurden verschiedene Transplantate gewählt, wobei 28 mit einem Hamstringtransplantat, 16 mit einem Patellarsehnentransplantat, 12 mit einem Quadrizepssehnentransplantat und 12 mit einem Fascia lata Transplantat behandelt wurden. Man konnte bei den verschiedenen Techniken keine Unterschiede in subjektiven Scores oder im klinischen Ergebnis feststellen. Somit können alle Techniken als gleichwertig angesehen werden (Gebhard et al. 2006, 801).

Ein anderes Review, das die Literatur aus PubMed aus den Jahren von 1966 bis 2009 einbezieht, verglich ebenfalls verschiedene operative Techniken. Vier Studien benutzten die Epiphysenfugen aussparende Technik, sechs die transphysäre, zwei eine kombinierte Technik und eine Multicenter Studie, die beide Techniken einschloss. Die Ergebnisse waren dabei ähnlich. Im klinischen Outcome machte es keinen Unterschied, welche Technik verwendet wurde. Insgesamt war die Rate an auftretenden Wachstumsstörungen sehr niedrig (Kaeding et al. 2010).

Frosch et al. (2010) verglichen in einer Metaanalyse, in die 935 Patienten eingeschlossen wurden, ebenfalls die physeal-sparing und die transphysäre Technik. Dabei zeigte sich bei der fugenkreuzenden Technik ein signifikant geringeres Risiko für Beinlängenunterschiede und Achsabweichungen im Vergleich zur anderen Technik (1,9% vs. 5,8%) und ein geringeres Risiko an Rerupturen mit 1,4% im Vergleich zu 4,2% bei der physeal-sparing Technik. Patellarsehnentransplantate wiesen zwar eine geringere Rate an Rerupturen auf als die Hamstringtransplantate, es wurden jedoch häufiger Wachstumsstörungen beobachtet (3,6% vs. 2,0%). Die fugenferne Fixierung ergab zudem bessere Ergebnisse als die fugennahe.

Obwohl alle Techniken insgesamt gute Ergebnisse erzielen, wird heutzutage die transphysäre Methode bevorzugt, da sie der anatomischen Originalposition der Kreuzbänder am nächsten kommt und damit auch der Technik, die bei Erwachsenen angewendet wird (Seil et al. 2010a, S. 92). Zudem weist sie weniger Schwierigkeiten bei der Durchführung auf als beispielsweise die Technik, die auf die Epiphysen beschränkt ist. Für das Kreuzbandtransplantat werden die Hamstring-Sehnen bevorzugt. Bei ihnen besteht keine Gefahr von Knochenblöcken in den Wachstumsfugen. Die Entnahmemorbidität ist ebenfalls geringer sowie die Rate an möglichen nachfolgenden Wachstumsstörungen (Frosch et al. 2010).

6.5.3 Hypothese/ Ausblick

Die Studie zeigt sehr deutlich, dass die operative Therapie äußerst gute Ergebnisse erbringt. Die Patientenzufriedenheit ist sehr hoch, die Komplikationsrate gering. Der Aktivitätslevel sinkt zwar ab, was jedoch wenig Einfluss auf die Zufriedenheit der Patienten mit ihrem Kniegelenk hat. Bei vielen Menschen lässt der Sport und vor allem auch der wettkampforientierte Sport mit dem Erwachsenwerden immer mehr nach. Wichtig für die Zufriedenheit ist, dass die Kniegelenke ohne Schmerzen, Instabilitätsgefühle oder Wegknickereignisse belastbar sind und sie die notwendige Stabilität für die gewünschten Aktivitäten vorweisen. Kein Patient aus der klinisch untersuchten Gruppe hat Wachstumsstörungen erlitten. Die Beinlänge war nahezu gleich, Achsabweichungen nur in geringem Ausmaß vorhanden, ähnlich repräsentativ wie in der Bevölkerung. Lediglich eine Folgeoperation aufgrund einer lateralen Gonarthrose musste durchgeführt werden, wobei hierfür nicht mit völliger Sicherheit die vordere Kreuzbandersatzplastik verantwortlich gemacht werden kann. Beim Kreuzbandersatz hatte der Patient eine Meniskusteilresektion erfahren, die am wahrscheinlichsten für die Knorpelläsionen zum Nachuntersuchungszeitpunkt verantwortlich war.

Die operative Therapie zeigt hier klare Vorteile und ist als die Methode der Wahl für die Zukunft anzusehen, sofern sich erfahrene Operateure mit großer Sorgfalt der Kinder annehmen und Rücksicht auf die geöffneten Wachstumsfugen nehmen. Diese besitzen ein unterschiedliches Potenzial an Restwachstum. Aktuelle Größe, Perzentilen, die Größe der Eltern und die Bestimmung des Knochenalters mittels einer Röntgenaufnahme der linken Hand können Aufschluss über das jeweilige Wachstumspotenzial eines jeden Einzelnen geben. Die abgeänderten technischen Details spielen dabei eine entscheidende Rolle. Dazu zählen die Anlage eines steilen Bohrkanals und eine möglichst fugenferne Verankerung, um die Wachstumsfuge möglichst wenig zu tangieren (Lawrence et al. 2011b, e39(5)). Courvoisier et al. (2011, S. 590) beschrieben weitere Prinzipien, die es bei Kindern zu beachten gilt. So sollte ein kleiner Durchmesser für das Transplantat gewählt werden, um weniger Schäden zu verursachen. Der Bohrkanal sollte im Zentrum der Wachstumsfuge angelegt werden und es sollte darauf geachtet werden, den Bohrkanal komplett mit Sehnenmaterial auszufüllen, um der Ausbildung von Knochenbrücken entgegen zu wirken (Stadelmaier et al. 1995, S. 431–432).

Alle diese Prinzipien wurden in Gießen beachtet und als Folge dessen wurden keinerlei Wachstumsstörungen erzeugt.

Ein riesiges Manko bei der Erhebung von Daten bezüglich dieser Thematik ist das Fehlen von Fall-Kontroll-Studien. Frosch und Preiss (2013, S. 53) schrieben ein Review, in welchem sie 60 Studien der aktuellen Literatur miteinbezogen. Sie konnten dabei je-

doch keine randomisierten kontrollierten klinischen Studien, prospektive oder Fall-Kontroll-Studien finden, welche eine höhere Aussagekraft hätten als lediglich Anwendungsbeobachtungen mit geringen Fallzahlen. Randomisierte kontrollierte Studien sind vor dem Hintergrund der schlechten Ergebnisse der konservativen Therapie jedoch kaum zu verantworten. Diese Studien sollten nur dann durchgeführt werden, wenn ein Patient ausdrücklich darauf besteht, nicht operiert zu werden. So bedarf es weiterer Untersuchungen zu dieser Datenlage. Multizentrische Studien in prospektivem Design sollten über die komplexe Thematik weiterhin Aufschluss geben. Systematische Reviews stellen dabei eine gute Möglichkeit dar, die vielen Studien mit kleinen Fallzahlen zusammenzufassen.

7 Zusammenfassung/ Summary

7.1 Zusammenfassung in deutscher Sprache

Hintergrund:
Operationen bei Kindern sind ein sehr umstrittenes Thema. Sie befinden sich im Wachstum und bei Verletzung der Epiphysenfugen bei einem vorderen Kreuzbandersatz drohen schwerwiegende Wachstumsstörungen. So haben viele Ärzte größten Respekt vor einer Operation im Kindesalter und bevorzugen die konservative Therapie. Auf der anderen Seite haben sich in den letzten Jahren immer mehr langfristige Nachteile einer konservativen Therapieform gezeigt. Der Aktivitätslevel der Kinder muss zurückgeschraubt werden, Ausübung von Sport ist aufgrund von Instabilität und Wegknickereignissen stark eingeschränkt und Meniskus- und Knorpelläsionen stellen häufige Folgeverletzungen dar. In dieser Studie soll eruiert werden, ob die operative Therapie eine Möglichkeit zur Therapie bei kindlichen Kreuzbandrupturen darstellt.

Methoden:
20 Patienten in einem Durchschnittsalter von 14,1 Jahren, die im Zeitraum von 2004 bis 2014 im Universitätsklinikum in Gießen einen vorderen Kreuzbandersatz in der transphysären Technik erhielten, wurden in die Studie eingeschlossen. Das Transplantat wurde dabei zum einen gelenkfern mittels Endobutton® und Suture Disc® oder Schrauben verankert und zum anderen gelenknah mittels RigidFix® Pins. Als Einschlusskriterium musste eine komplette vordere Kreuzbandruptur bei geöffneten Wachstumsfugen gegeben sein. Zur Erfassung der postoperativen Zufriedenheit der Patienten wurden verschiedene Fragebögen verwendet: der Lysholm Score, der Tegner Aktivitätsscore sowie der International Knee Documentation Commitee Fragebogen. Weiterhin wurde eine klinische Untersuchung des Kniegelenkes durchgeführt sowie die Beinachse und die Beinlänge beurteilt. Zur Objektivierung der Untersuchung wurde das KT-1000 Arthrometer und die Magnetresonanztomografie zu Hilfe genommen. Bei letztgenannter Untersuchung wurde besonderer Wert auf die Transplantate, eine Tunnelweitung und den Winkel des Transplantates zum Tibiaplateau gelegt.

Ergebnisse:
Es ergab sich im Lysholm Score eine mittlere Punktzahl von 89,92, im IKDC von 89,75, im präoperativen Tegner Score ein Median von 7 und im postoperativen Score von 6 Punkten. Kein Patient beklagte sich über größere Probleme mit dem operierten Kniegelenk. In der klinischen Nachuntersuchung zeigte sich lediglich ein positiver Lachman-Test. Die weiteren Untersuchungen für Kreuzband- und Meniskusverletzungen blieben negativ. Das KT 1000-Arthrometer ergab eine Seitendifferenz von 1,29 mm beim maximalen Vorschub. Zwei Patienten konnten beim objektiven IKDC Score in die Kategorie A eingestuft werden, sieben Patienten in Kategorie B, ein Patient in Kategorie C und keiner in Kategorie D.
Der durchschnittliche Winkel des Transplantates zum Tibiaplateau entsprach 69,21°. MR-tomografisch wurden bei fünf Patienten Knorpelläsionen und bei drei Patienten Meniskusschäden gesichtet. Eine Tunnelaufweitung ohne klinische Konsequenz und Symptomatik präsentierten fünf Patienten. Es wurden keinerlei Achsabweichungen oder Beinlängendifferenzen beobachtet. Lediglich ein Patient musste sich einer Folgeoperation unterziehen aufgrund einer lateralen Gonarthrose nach subtotaler Außenmeniskusresektion.

Schlussfolgerung:
Die subjektiven Scores ergaben eine hohe Patientenzufriedenheit. Keiner der untersuchten Patienten erlitt Wachstumsstörungen durch den Ersatz des vorderen Kreuz-

bandes. Es kann gesagt werden, dass der vordere Kreuzbandersatz im Kindesalter definitiv eine gute Möglichkeit zur Behandlung darstellt. Bei erfahrenen Operateuren und der Beachtung der Besonderheiten eines kindlichen Kniegelenkes können gute Ergebnisse erzielt werden.
Aufgrund geringer Fallzahlen können jedoch kaum signifikante Aussagen getroffen werden, nach denen sich Operateure richten können. Daher werden weitere Studien, vor allem im prospektiven Design oder auch multizentrische Studien, benötigt, um wegweisende Aussagen für die Zukunft treffen zu können.

7.2 Summary

Background:
Medical treatment of anterior cruciate ligament injury in children is highly controversial. Conventional operation techniques can cause physeal damage and as a consequence may lead to iatrogenic growth disturbances. Thus, many doctors prefer conservative therapy. Children are not allowed to do sports for a long time and their preinjury activity level decreases. They are limited due to instability and giving way. But after conservative therapy secondary damage has often been diagnosed. The purpose of this study was to evaluate the results of a transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in children with open growth plates.

Methods:
A total of 20 pediatric patients with anterior cruciate ligament rupture and open physes were treated between 2004 and 2014. The supervising doctors applied transphyseal anterior cruciate ligament reconstructions using hamstring grafts. Mean patient age was 14,1 years. The patients were evaluated by functional outcome scores as the Lysholm score, Tegner score and IKDC score, as well as physical examination including measurements of leg length and angular deformities. Further examination was done with the KT-1000 arthrometer measurements and the MRI. The grafts itself, tunnel widening and angular position of the grafts were also evaluated.

Results:
For the twelve patients sending back the questionnaires the mean Lysholm score was 89,92, the mean IKDC subjective knee score was 89,75, the mean preoperative Tegner score was 7 and postoperative score 6.
The result of the Lachman examination was positive in just one patient. The mean manual maximum side-to-side difference with KT-1000 testing was 1,3 mm. In the objective IKDC two patients were rated A, seven B, one C and none D. No angular deformities or length discrepancy of the lower extremity were measured. Only one patient had further operation due to a lateral gonarthrosis after subtotal lateral meniscectomy.
Concerning the MRI, five patients showed chondral lesions and three patients meniscal lesions. Tunnel widening occurred in five patients who has been operated with Rigid-Fix® Pins. There is no correlation between tunnel widening and clinical outcome.

Conclusion:
Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament provides an excellent functional outcome and a high satisfaction without any growth disturbances. Experienced surgeons can achieve excellent clinical results.
Nevertheless, more studies with a higher number of cases and a prospective design or even multicenter studies are needed for significant conclusions.

8 Literaturverzeichnis

Aichroth, P. M.; Patel, D. V.; Zorrilla, P. (2002): The natural history and treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. A prospective review. In: *J Bone Joint Surg Br* 84 (1), S. 38–41.

ALLEX - alles fürs Examen (2012). Stuttgart, New York: Thieme.

Anderson, A. F. (2003): Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. A preliminary report. In: *J Bone Joint Surg Am* 85-A (7), S. 1255–1263.

Andrews, M.; Noyes, F. R.; Barber-Westin, S. D. (1994): Anterior cruciate ligament allograft reconstruction in the skeletally immature athlete. In: *Am J Sports Med* 22 (1), S. 48–54.

Asik, M.; Sen, C.; Tuncay, I.; Erdil, M.; Avci, C.; Taser, O. F. (2007): The mid- to long-term results of the anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons using Transfix technique. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15 (8), S. 965–972. DOI: 10.1007/s00167-007-0344-6.

Astur, D. C.; Arliani, G. G.; Debieux, P.; Kaleka, C. C.; Amaro, J. T.; Cohen, M. (2016): Intraarticular hamstring graft diameter decreases with continuing knee growth after ACL reconstruction with open physes. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 24 (3), S. 792–795. DOI: 10.1007/s00167-016-4030-4.

Aumüller, G.; Engele, J.; Kirsch, J.; Mense, S. (2014): Duale Reihe Anatomie: Thieme. Online verfügbar unter https://books.google.de/books?id=AFWsBAAAQBAJ.

Barrack, R. L.; Bruckner, J. D.; Kneisl, J.; Inman, W. S.; Alexander, A. H. (1990): The outcome of nonoperatively treated complete tears of the anterior cruciate ligament in active young adults. In: *Clin Orthop Relat Res* (259), S. 192–199.

Basad, E.; Kipper, A.; Wusten, O. A.; Sturz, H.; Ishaque, B. A. (2010): Vergleichende Studie nach vorderer Hamstring-Kreuzbandplastik mit RigidFix® (Pinfixation) und EndoButton® (Ankerfixation). In: *Z Orthop Unfall* 148 (3), S. 276–281. DOI: 10.1055/s-0029-1240737.

Baxter, M. P. (1988): Assessment of normal pediatric knee ligament laxity using the genucom. In: *J Pediatr Orthop* 8 (5), S. 546–550.

Becker, R.; Kopf, S. (2009): VKB-Plastik bei Kindern. In: W. Petersen und T. Zantop (Hg.): Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verlag, S. 159–164.

Bochynska, A. I.; Hannink, G.; Grijpma, D. W.; Buma, P. (2016): Tissue adhesives for meniscus tear repair: an overview of current advances and prospects for future clinical solutions. In: *Journal of materials science. Materials in medicine* 27 (5), S. 85. DOI: 10.1007/s10856-016-5694-5.

Bollen, S.; Pease, F.; Ehrenraich, A.; Church, S.; Skinner, J.; Williams, A. (2008): Changes in the four-strand hamstring graft in anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally-immature knee. In: *J Bone Joint Surg Br* 90 (4), S. 455–459. DOI: 10.1302/0301-620X.90B4.19416.

Briggs, K. K.; Lysholm, J.; Tegner, Y.; Rodkey, W. G.; Kocher, M. S.; Steadman, J. R. (2009): The Reliability, Validity, and Responsiveness of the Lysholm Score and Tegner Activity Scale for Anterior Cruciate Ligament Injuries of the Knee: 25 Years Later. In: *The American Journal of Sports Medicine* 37 (5), S. 890–897. DOI: 10.1177/0363546508330143.

Buchner, M.; Schmeer, T.; Schmitt, H. (2007): Anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled semitendinosus tendon - minimum 6 year clinical and radiological follow-up. In: *Knee* 14 (4), S. 321–327. DOI: 10.1016/j.knee.2007.04.006.

Bylski-Austrow, D. I.; Wall, E. J.; Rupert, M. P.; Roy, D. R.; Crawford, A. H. (2001): Growth plate forces in the adolescent human knee: a radiographic and mechanical study of epiphyseal staples. In: *J Pediatr Orthop* 21 (6), S. 817–823.

Calvo, R.; Figueroa, D.; Gili, F.; Vaisman, A.; Mococain, P.; Espinosa, M. et al. (2015): Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study. In: *The American Journal of Sports Medicine* 43 (2), S. 289–294.

Cassard, X.; Cavaignac, E.; Maubisson, L.; Bowen, M. (2014): Anterior cruciate ligament reconstruction in children with a quadrupled semitendinosus graft: preliminary results with minimum 2 years of follow-up. In: *J Pediatr Orthop* 34 (1), S. 70–77. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182a008b6.

Cassar-Pullicino, V. N.; Roberts, S. N. (2002): The postoperative Knee 1: Menisci, Cruciate Ligaments, Cartilage. In: A. M. Davies, V. N. Cassar-Pullicino und Abd-el Bagi, M. E (Hg.): Imaging of the knee. Techniques and applications. Berlin, New York: Springer, S. 165–198.

Chotel, F.; Henry, J.; Seil, R.; Chouteau, J.; Moyen, B.; Bérard, J. (2010): Growth disturbances without growth arrest after ACL reconstruction in children. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18 (11), S. 1496–1500. DOI: 10.1007/s00167-010-1069-5.

Chotel, F.; Seil, R. (2013): Growth Disturbances After Transphyseal ACL Reconstruction in Skeletally Immature Patients. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 33 (5), S. 585–586. DOI: 10.1097/BPO.0b013e318286c161.

Cohen, M.; Ferretti, M.; Quarteiro, M.; Marcondes, F. B.; de Hollanda, J. P. B.; Amaro, J. T.; Abdalla, Rene J. (2009): Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes. In: *Arthroscopy* 25 (8), S. 831–838. DOI: 10.1016/j.arthro.2009.01.015.

Courvoisier, A.; Grimaldi, M.; Plaweski, S. (2011): Good surgical outcome of transphyseal ACL reconstruction in skeletally immature patients using four-strand hamstring graft. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19 (4), S. 588–591. DOI: 10.1007/s00167-010-1282-2.

Csintalan, R. P.; Inacio, M. C. S.; Desmond, J. L.; Funahashi, T. T. (2013): Anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: early outcomes. In: *J Knee Surg* 26 (4), S. 225–232. DOI: 10.1055/s-0032-1329235.

Daniel, D. M.; Malcom, L. L.; Losse, G.; Stone, M. L.; Sachs, R.; Burks, R. (1985a): Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. In: *J Bone Joint Surg Am* 67 (5), S. 720–726.

Daniel, D. M.; Stone, M. L.; Sachs, R.; Malcom, L. (1985b): Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. In: *Am J Sports Med* 13 (6), S. 401–407.

Dunn, K. L.; Lam, K. C.; McLeod, T. C. V. (2016): Early Operative Versus Delayed or Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Pediatric Patients. In: *Journal of athletic training. DOI:* 10.4085/1062-6050.51.5.11.

Fabricant, P. D.; Jones, K. J.; Delos, D.; Cordasco, F. A.; Marx, R. G.; Pearle, A. D. et al. (2013): Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: a review of current concepts: AAOS exhibit selection. In: *J Bone Joint Surg Am* 95 (5), e28. DOI: 10.2106/JBJS.L.00772.

Falconiero, R. P.; DiStefano, V. J.; Cook, T. M. (1998): Revascularization and ligamentization of autogenous anterior cruciate ligament grafts in humans. In: *Arthroscopy* 14 (2), S. 197–205.

Fauno, P.; Kaalund, S. (2005): Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: a prospective randomized study. In: *Arthroscopy* 21 (11), S. 1337–1341.

Fink, C. (2004): Bohrkanalerweiterung nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. Ätiologie und klinische Konsequenzen. In: *Arthroskopie* 17 (4), S. 270–271. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=C749561.

Fink, C.; Hoser, C.; Hackl, W.; Navarro, R. A.; Benedetto, K. P. (2001): Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture--is sports activity a determining variable? In: *International journal of sports medicine* 22 (4), S. 304–309. DOI: 10.1055/s-2001-13823.

Frosch, K.-H.; Preiss, A. (2013): Knieverletzungen im Wachstumsalter. Vordere Kreuzbandruptur. Knee injuries in children and adolescents. Anterior cruciate ligament. In: *Trauma Berufskrankh* 15 (S1), S. 52–58. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=C952309371.

Frosch, K.-H.; Stengel, D.; Brodhun, T.; Stietencron, I.; Holsten, Dirk; Jung, C. et al. (2010): Outcomes and risks of operative treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 26 (11), S. 1539–1550. DOI: 10.1016/j.arthro.2010.04.077.

Funahashi, K. M.; Moksnes, H.; Maletis, G. B.; Csintalan, R. P.; Inacio, M. C. S.; Funahashi, T. T. (2014): Anterior cruciate ligament injuries in adolescents with open physis: effect of recurrent injury and surgical delay on meniscal and cartilage injuries. In: *Am J Sports Med* 42 (5), S. 1068–1073. DOI: 10.1177/0363546514525584.

Gebhard, F.; Ellermann, A.; Hoffmann, F.; Jaeger, J-H; Friederich, N. F. (2006): Multicenter-study of operative treatment of intraligamentous tears of the anterior cruciate ligament in children and adolescents: comparison of four different techniques. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14 (9), S. 797–803. DOI: 10.1007/s00167-006-0055-4.

Graf, B. K.; Lange, R. H.; Fujisaki, C. K.; Landry, G. L.; Saluja, R. K. (1992): Anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: meniscal pathology at presentation and after attempted conservative treatment. In: *Arthroscopy* 8 (2), S. 229–233.

Hadjicostas, P. T.; Soucacos, P. N.; Paessler, H. H.; Koleganova, N.; Berger, I. (2007): Morphologic and histologic comparison between the patella and hamstring tendons grafts: a descriptive and anatomic study. In: *Arthroscopy* 23 (7), S. 751–756. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.02.002.

Hefti, E.; Müller, W.; Jakob, R. P.; Stäubli, H.-U. (1993): Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. In: *Knee Surg, Sports traumatol, Arthroscopy* 1 (3-4), S. 226–234. DOI: 10.1007/BF01560215.

Henry, J.; Chotel, F.; Chouteau, J.; Fessy, M. H.; Berard, J.; Moyen, B. (2009): Rupture of the anterior cruciate ligament in children: early reconstruction with open physes or delayed reconstruction to skeletal maturity? In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17 (7), S. 748–755.

Hofbauer, M.; Muller, B.; Murawski, C. D.; van Eck, C F; Fu, F. H. (2014): The concept of individualized anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22 (5), S. 979–986. DOI: 10.1007/s00167-013-2562-4.

Irrgang, J. J.; Anderson, A. F.; Boland, A. L.; Harner, C. D.; Kurosaka, M.; Neyret, P. et al. (2001): Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. In: *Am J Sports Med* 29 (5), S. 600–613.

Kaeding, C. C.; Flanigan, D.; Donaldson, C. (2010): Surgical techniques and outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction in preadolescent patients. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 26 (11), S. 1530–1538. DOI: 10.1016/j.arthro.2010.04.065.

Kercher, J.; Xerogeanes, J.; Tannenbaum, A.; Al-Hakim, R.; Black, J. C.; Zhao, J. (2009): Anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: an anatomical study utilizing 3-dimensional magnetic resonance imaging reconstructions. In: *J Pediatr Orthop* 29 (2), S. 124–129. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181982228.

Kipper, A. (2010): Vergleich klinischer und kernspintomografischer Ergebnisse 6 und 12 Monate nach vorderer Hamstring Kreuzbandplastik mit transversaler Pin-Fixation bzw. extrakortikaler Anker- Fixation. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.

Kocher, M. S.; DiCanzio, J.; Zurakowski, D.; Micheli, L. J. (2001): Diagnostic performance of clinical examination and selective magnetic resonance imaging in the evaluation of intraarticular knee disorders in children and adolescents. In: *Am J Sports Med* 29 (3), S. 292–296.

Kocher, M. S.; Garg, S.; Micheli, L. J. (2005): Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. In: *J Bone Joint Surg Am* 87 (11), S. 2371–2379. DOI: 10.2106/JBJS.D.02802.

Kocher, M. S.; Saxon, H. S.; Hovis, W. D.; Hawkins, R. J. (2002): Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and The ACL Study Group. In: *J Pediatr Orthop* 22 (4), S. 452–457.

Kocher, M. S.; Smith, J. T.; Zoric, B. J.; Lee, B.; Micheli, L. J. (2007): Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature pubescent adolescents. In: *J Bone Joint Surg Am* 89 (12), S. 2632–2639. DOI: 10.2106/JBJS.F.01560.

Kohl, S.; Stutz, C.; Decker, S.; Ziebarth, K.; Slongo, T.; Ahmad, S. S. et al. (2013): Mid-term results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents. In: *Knee. DOI:* 10.1016/j.knee.2013.07.004.

Kopf, S.; Schenkengel, J-P; Wieners, G.; Starke, C.; Becker, R. (2010): No bone tunnel enlargement in patients with open growth plates after transphyseal ACL reconstruction. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18 (11), S. 1445–1451. DOI: 10.1007/s00167-009-1041-4.

Kopf, S.; Stärke, C.; Meller, R.; Becker, R. (2009): Transplantatverhalten bei offenen Wachstumsfugen. In: *Arthroskopie* 22 (1), S. 45–50. DOI: 10.1007/s00142-008-0510-y.

Kumar, S.; Ahearne, D.; Hunt, D. M. (2013): Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: follow-up to a minimum of sixteen years of age. In: *J Bone Joint Surg Am* 95 (1), e1. DOI: 10.2106/JBJS.K.01707.

Lawrence, J. T. R.; Argawal, N.; Ganley, T. J. (2011a): Degeneration of the Knee Joint in Skeletally Immature Patients With a Diagnosis of an Anterior Cruciate Ligament Tear: Is There Harm in Delay of Treatment? In: *The American Journal of Sports Medicine* 39 (12), S. 2582–2587. DOI: 10.1177/0363546511420818.

Lawrence, J. T. R.; Bowers, A. L.; Belding, J.; Cody, S. R.; Ganley, T. J. (2010): All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. In: *Clin. Orthop. Relat. Res.* 468 (7), S. 1971–1977. DOI: 10.1007/s11999-010-1255-2.

Lawrence, J. T. R.; West, R. L.; Garrett, W. E. (2011b): Growth disturbance following ACL reconstruction with use of an epiphyseal femoral tunnel: a case report. In: *J Bone Joint Surg Am* 93 (8), e39. DOI: 10.2106/JBJS.J.00569.

L'Insalata, J. C.; Klatt, B.; Fu, F. H.; Harner, C. D. (1997): Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 5 (4), S. 234–238. DOI: 10.1007/s001670050056.

Lysholm, J.; Gillquist, J. (1982): Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. In: *The American Journal of Sports Medicine* 10 (3), S. 150–154.

Ma, C. B.; Francis, K.; Towers, J.; Irrgang, J.; Fu, F. H.; Harner, C. H. (2004): Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of bioabsorbable interference screw and endobutton-post fixation. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 20 (2), S. 122–128. DOI: 10.1016/j.arthro.2003.11.007.

Magnussen, R. A.; Lawrence, J. T. R.; West, R. L.; Toth, A. P.; Taylor, D. C.; Garrett, W. E. (2012): Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. In: *Arthroscopy* 28 (4), S. 526–531. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.11.024.

Makela, E. A.; Vainionpaa, S.; Vihtonen, K.; Mero, M.; Rokkanen, P. (1988): The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits. In: *J Bone Joint Surg Br* 70 (2), S. 187–191.

Marshall, J. L.; Wang, J. B.; Furman, W.; Girgis, F. G.; Warren, R. (1975): The anterior drawer sign: what is it? In: *J Sports Med* 3 (4), S. 152–158.

Marx, A.; Siebold, R.; Sobau, C.; Saxler, G.; Ellermann, A. (2009): Ersatz des vorderen Kreuzbandes bei Kindern und Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen. In: *Sportverletz Sportschaden* 23 (1), S. 47–51. DOI: 10.1055/s-0028-1109307.

Marzi, I. (2010): Kindertraumatologie. Berlin [u.a.]: Springer. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=817102.

Matava, M. J.; Siegel, M. G. (1997): Arthroscopic reconstruction of the ACL with semitendinosus-gracilis autograft in skeletally immature adolescent patients. In: *Am J Knee Surg* 10 (2), S. 60–69.

Mayr, H. O.; Willkomm, D.; Petersen, W. (2009): Transplantatwahl. In: W. Petersen und T. Zantop (Hg.): Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verlag, S. 85–96.

McCarroll, J. R.; Rettig, A. C.; Shelbourne, K. D. (1988): Anterior cruciate ligament injuries in the young athlete with open physes. In: *Am J Sports Med* 16 (1), S. 44–47.

McDermott, I. D.; Amis, A. A. (2006): The consequences of meniscectomy. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 88 (12), S. 1549–1556. DOI: 10.1302/0301-620X.88B12.18140.

McIntosh, A. L.; Dahm, D. L.; Stuart, M. J. (2006): Anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature patient. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 22 (12), S. 1325–1330. DOI: 10.1016/j.arthro.2006.07.014.

Meller, R.; Willbold, E.; Hesse, E.; Dreymann, B.; Fehr, M.; Haasper, C. et al. (2008): Histologic and biomechanical analysis of anterior cruciate ligament graft to bone healing in skeletally immature sheep. In: *Arthroscopy* 24 (11), S. 1221–1231. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.06.021.

Micheli, L. J.; Rask, B.; Gerberg, L. (1999): Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who are prepubescent. In: *Clin Orthop Relat Res* (364), S. 40–47.

Millett, P. J.; Willis, A. A.; Warren, R. F. (2002): Associated injuries in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament tears: does a delay in treatment increase the risk of meniscal tear? In: *Arthroscopy* 18 (9), S. 955–959.

Mizuta, H.; Kubota, K.; Shiraishi, M.; Otsuka, Y.; Nagamoto, N.; Takagi, K. (1995): The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. In: *J Bone Joint Surg Br* 77 (6), S. 890–894.

Moksnes, H.; Engebretsen, L.; Eitzen, I.; Risberg, M. A. (2013): Functional outcomes following a non-operative treatment algorithm for anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature children 12 years and younger. A prospective cohort with 2 years follow-up. In: *Br J Sports Med* 47 (8), S. 488–494. DOI: 10.1136/bjsports-2012-092066.

Moksnes, H.; Engebretsen, L.; Risberg, M. A. (2008): Performance-based functional outcome for children 12 years or younger following anterior cruciate ligament injury: a two to nine-year follow-up study. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16 (3), S. 214–223. DOI: 10.1007/s00167-007-0469-7.

Moksnes, H.; Engebretsen, L.; Risberg, M. A. (2012): The current evidence for treatment of ACL injuries in children is low: a systematic review. In: *J Bone Joint Surg Am* 94 (12), S. 1112–1119. DOI: 10.2106/JBJS.K.00960.

Morgan, M. D.; Salmon, L. J.; Waller, A.; Roe, J. P.; Pinczewski, L. A. (2016): Fifteen-Year Survival of Endoscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Patients Aged 18 Years and Younger. In: *The American Journal of Sports Medicine* 44 (2), S. 384–392. DOI: 10.1177/0363546515623032.

Odensten, M.; Gillquist, J. (1985): Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. In: *J Bone Joint Surg Am* 67 (2), S. 257–262.

Petersen, W. (2009a): Diagnostik von Bandverletzungen. In: W. Petersen und T. Zantop (Hg.): Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verlag, S. 49–65.

Petersen, W. (2009b): Fixation von Kreuzbandtransplantaten. In: W. Petersen und T. Zantop (Hg.): Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verlag, S. 97–109.

Petersen, W. (2009c): Tunnelweitung. In: W. Petersen und T. Zantop (Hg.): Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verlag, S. 201–207.

Petersen, W.; Tillmann, B. (2002): Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. In: *Der Orthopäde* 31 (8), S. 710–718. Online verfügbar unter http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12426749.

Petersen, W.; Zantop, T.; Achtnich, A.; Forkel, P.; Metzlaff, S. (2013): Die anatomische Ersatzplastik des vorderen Kreuzbands in Einzelbündeltechnik. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 25 (2), S. 185–204. Online verfügbar unter http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23525493.

Preiss, A.; Brodhun, T.; Stietencron, I.; Frosch, K-H (2012): Rupture of the anterior cruciate ligament in growing children: surgical or conservative treatment? A systematic review. In: *Unfallchirurg* 115 (9), S. 848–854. DOI: 10.1007/s00113-012-2215-y.

Pressman, A. E.; Letts, R. M.; Jarvis, J. G. (1997): Anterior cruciate ligament tears in children: an analysis of operative versus nonoperative treatment. In: *J Pediatr Orthop* 17 (4), S. 505–511.

Redler, L. H.; Brafman, R. T.; Trentacosta, N.; Ahmad, C. S. (2012): Anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients with transphyseal tunnels. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 28 (11), S. 1710–1717. DOI: 10.1016/j.arthro.2012.04.145.

Risberg, M. A.; Holm, I.; Steen, H.; Beynnon, B. D. (1999): Sensitivity to changes over time for the IKDC form, the Lysholm score, and the Cincinnati knee score. A prospective study of 120 ACL reconstructed patients with a 2-year follow-up. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7 (3), S. 152–159.

Ropiak, C. R.; Bosco, J. A. (2012): Hamstring injuries. In: *Bull NYU Hosp Jt Dis* 70 (1), S. 41–48.

Sasaki, T.; Ishibashi, Y.; Okamura, Y.; Toh, S.; Sasaki, T. (2002): MRI evaluation of growth plate closure rate and pattern in the normal knee joint. In: *J Knee Surg* 15 (2), S. 72–76.

Scheffler, S. U.; Petersen, W.; Weiler, A. (2007): Fixation von Kreuzbandtransplantaten. In: *Arthroskopie* 20 (2), S. 105–114. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=C951921701.

Schneider, F. J.; Linhart, W. E.; Kraus, T. (2008): Vorderer Kreuzbandersatz mit der Semitendinosussehne bei Kindern. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 20 (4-5), S. 409–422. Online verfügbar unter http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19169783.

Schöler, R.: Prospektiver Vergleich zwischen Hamstring- und Patellasehnentransplantat sowie flexibler und starrer stationärer Verweildauer mindestens 3 Jahre nach vorderem Kreuzbandersatz. Köln, Univ., Diss., 2011. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=855531.

Seil, R.; Freiwald, J.; Jöllenbeck, T.; Bauer, G.; Schmitt, H.; Gokeler, A. et al. (2010a): Vorderes Kreuzband: Rupturen des vorderen Kreuzbandes beim Kind. In: *GOTS-Expertenmeeting*, S. 81–94.

Seil, R.; Frosch, K.-H.; Becker, R. (Hg.) (2012): Kreuzbandverletzungen im Wachstumsalter. Tuttlingen: Stiftung zur Förderung der Arthroskopie (Arthroskopie aktuell, 25). Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=894671.

Seil, R.; Pape, D.; Kohn, D. (2008): The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. In: *Arthroscopy* 24 (7), S. 824–833. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.02.007.

Seil, R.; Robert, H. (2004): Complete anterior cruciate ligament tears in children. In: *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 90 (8 Suppl), 3S11-20.

Seil, R.; Robert, H. (2005): VKB-Plastik bei offenen Wachstumsfugen. In: *Arthroskopie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Arthroskopie und des Bundesverbandes für Ambulante Arthroskopie* 18 (1), S. 48.

Seil, Romain; Freiwald, Jürgen; Jöllenbeck, Thomas; Bauer, Gerhard; Schmitt, Holger; Gokeler, Alli et al. (2010b): Rupturen des vorderen Kreuzbandes beim Kind. In: *GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband*, S. 81–94.

Shafizadeh, S.; Schneider, M. M.; Bouillon, B. (2014): Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bei Sportlern. In: *Der Chirurg* 85 (10), S. 888–894. Online verfügbar unter http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25225041.

Shelbourne, K. D.; Gray, T.; Haro, M. (2009): Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft.

In: *The American Journal of Sports Medicine* 37 (2), S. 246–251. DOI: 10.1177/0363546508325665.

Stadelmaier, D. M.; Arnoczky, S. P.; Dodds, J.; Ross, H. (1995): The Effect Of Drilling and Soft Tissue Grafting Across Open Growth Plates: A Histologic Study. In: *The American Journal of Sports Medicine* 23 (4), S. 431–435. DOI: 10.1177/036354659502300410.

Stracciolini, A.; Casciano, R.; Levey Friedman, H.; Meehan, William P 3rd; Micheli, L. J. (2013): Pediatric sports injuries: an age comparison of children versus adolescents. In: *The American Journal of Sports Medicine* 41 (8), S. 1922–1929. DOI: 10.1177/0363546513490644.

Streich, N. A.; Barié, A.; Gotterbarm, T.; Keil, M.; Schmitt, H. (2010): Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent athletes. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18 (11), S. 1481–1486. DOI: 10.1007/s00167-010-1057-9.

Tegner, Y.; Lysholm, J. (1985): Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. In: *Clin Orthop Relat Res* (198), S. 43–49.

Theisen, D.; Nührenbörger, C.; Frisch, A. (2009): Sportverletzungen des Kniegelenks im Kindesalter. In: *Arthroskopie* 22 (1), S. 8–13. DOI: 10.1007/s00142-008-0509-4.

Ulmer, M.; Mehling, A. P.; Jäger, A. (2008): Kindliche vordere Kreuzbandruptur. In: *Arthroskopie* 21 (4), S. 279–282. DOI: 10.1007/s00142-008-0495-6.

Vavken, P; Murray, M M. (2011): Treating anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 27 (5), S. 704–716. DOI: 10.1016/j.arthro.2010.11.062.

Weller, S.; Hierholzer, G.; Platzer, W.; Tentz, O. (1997): Chirurgische Operationslehre. Spezielle Anatomie, Indikationen, Technik, Komplikationen. Stuttgart [u.a.]: Thieme (10 Teil 1 Untere Extremität).

Welsch, F.; Mehling, A. P.; Stein, T.; Hoffmann, R. (2013): Ersatz des vorderen Kreuzbandes beim Kind. In: *Trauma Berufskrankh* 15 (S2), S. 204–211. DOI: 10.1007/s10039-013-1943-8.

Wester, W.; Canale, S. T.; Dutkowsky, J. P.; Warner, W. C.; Beaty, J. H. (1994): Prediction of angular deformity and leg-length discrepancy after anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. In: *J Pediatr Orthop* 14 (4), S. 516–521.

Williams, J. S. Jr.; Abate, J. A.; Fadale, P. D.; Tung, G. A. (1996): Meniscal and nonosseous ACL injuries in children and adolescents. In: *Am J Knee Surg* 9 (1), S. 22–26.

Wilmes, P.; Lorbach, O.; Chotel, F.; Seil, R. (2009): Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes bei offenen Wachstumsfugen. In: *Arthroskopie* 22 (1), S. 35–44. DOI: 10.1007/s00142-008-0502-y.

Woods, G. W.; O'Connor, D. P. (2004): Delayed anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents with open physes. In: *Am J Sports Med* 32 (1), S. 201–210.

Wörtler, K.: MRT des Kniegelenks nach Kreuzband- und Meniskusoperationen. In: Radiologie up2date, Bd. 9, S. 67–81. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=THIEME10_1055_s_0028_1119516.

Wroble, R. R.; Van Ginkel, L A; Grood, E. S.; Noyes, F. R.; Shaffer, B. L. (1990): Repeatability of the KT-1000 arthrometer in a normal population. In: *Am J Sports Med* 18 (4), S. 396–399.

Yoo, W. J.; Kocher, M. S.; Micheli, L. J. (2011): Growth Plate Disturbance After Transphyseal Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament in Skeletally Immature Adolescent Patients. In: *Journal of Pediatric Orthopaedics* 31 (6), S. 691–696. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182210952.

Zantop, T.; Petersen, W. (2007): Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. In: *Arthroskopie* 20 (2), S. 94–104. Online verfügbar unter http://www.medpilot.de?ID=C951921700.

Zantop, T.; Petersen, W.; Sekiya, J. K.; Musahl, V.; Fu, F. H. (2006): Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14 (10), S. 982–992. DOI: 10.1007/s00167-006-0076-z.

9 Anhang

Ergebnistabelle

Parameter	VKB-Studie 2015	Frosch 2013	Daniel 1985	Gebhard 2006	Kocher 2007	Marx 2009	Fauno 2005	Calvo 2015
Patientenanzahl	12	935	138	68	59	55	87	27
Männlich	10		111	35	23	33	38	
Weiblich	2		27	33	36	22	49	
Alter	14,25	13,4	26	13,3	14,7	13,4	25,5	13
Sportverletzung (%)	91,7		70,0	81,0				
Endobutton	4			28	59	55	46	
RigidFix	8						41	
Rechte Seite	6							
Transplantat Ø (mm)	7,71							
Linke Seite	6							
Begleitverletzung (%)	41,67			44,12	52,54	60,00		
Zeit bis OP in Monaten	1,55 (0,5 - 29)				3,8			3,8
follow up in Jahren	5,66	3,33		2,99	3,6	3,5	1	10,6
Scores								
Lysholm	89,92	**95,5±3,1**		94,1	91,2	94,1		94
Minimum	65					70		55
Maximum	100					100		100
IKDC Punkte	89,75				**89,5**	78,4		92
Minimum	73,56					51,7		44
Maximum	100,00					87,4		100
Tegner prä	7			**6,5**		7,3		7
Tegner post	6			**5,9**		7		6
Klinischer IKDC (%)								
A	20			**47**			16	
B	70			**38**			66	
C	10			**15**			16	
D	0			**0**			2	
KT-1000	1,71 (0,3-3,6)		**0,8±0,7**					
KT-1000 MD	1,29 (0-3,0)		**0,8±1,0**	2		1 (0-4)		2,58 (-2,7-7)
Lachman negativ (%)	90,00		86,40		**86,44**			
Impingement (%)	30,00							
Meniskuszeichen neg.	100,00							
Bewegungsausmaß (°)	-2,50							
Restwachstum (cm)	10,4				**8,2**	6		
Genu varum	3							
Genu valgum	1							
MRT								
Meniskusschaden	3					5,45%		
Knorpelschaden	5							
Tunnel widening	5							
femoral	3						**27 (31%)**	
tibial	3						**21 (24%)**	
Winkel in °	69,2							**63 (53-75)**
Wachstumsstörung		**2,10%**			0			
Achsabweichung					0			0
Beinlängenunterschied					0			0
Reruptur		**3,80%**						14,80%

UKGM
UNIVERSITÄTSKLINIKUM
GIESSEN UND MARBURG

Uniklinikum GI und MR GmbH, Klinik und Poliklinik für Orthopädie
und Orthopädische Chirurgie Klinikstr. 33 35392 Gießen

Standort Gießen

Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie

Direktor: Prof. Dr. med. M. Rickert

Gelenkcenter Gießen
Kompetenzzentrum für regenerative Knorpeltherapie

Klinikstr. 33
35392 Gießen

Telefon: 0641/985-42925
Telefax: 0641/985-42999

www.ortho-giessen.de

Stolz/

Gießen, den 02.12.2014

Sehr geehrter

wie bereits telefonisch besprochen, senden wir Ihnen anbei die Aufklärung und Einverständniserklärung für unsere **Klinische Studie nach vorderer Kreuzbandersatzplastik bei geöffneter Epiphysenfuge** sowie einen umfangreichen Fragebogen zu.
Wir würden uns sehr freuen, Sie mit einbeziehen zu können, da es sich bei der Studie um eine ausgewählte Anzahl von nur 20 Patienten handelt.
Kreuzbandoperationen in solch jungem Alter sind relativ selten und daher liegt es uns sehr am Herzen, dass diese optimal durchgeführt wurden und Ihnen daraus keinerlei Nachteile entstanden sind. In der geplanten Nachsorge werden wir sie nochmals gründlich untersuchen, um Ihre Zufriedenheit und Ihr Wohlbefinden nach der Operation beurteilen und sicherstellen zu können.

Um ein weiteres Vorgehen planen zu können, ist es notwendig, dass Sie die Aufklärung gründlich lesen und die Seiten 4-6 der Anlage unterschrieben an uns zurücksenden sowie die ausgefüllten Fragebögen. So haben wir die Möglichkeit, bereits erste Auswertungen vorzunehmen. Dafür wurde Ihnen ein **frankierter Rückumschlag** beigelegt. Wir bitten Sie um baldige Rücksendung, damit wir telefonisch einen Termin mit Ihnen vereinbaren können. Sollten Sie noch weitere Fragen haben, stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.
Wir freuen uns auf Sie.
Vielen Dank!

Mit freundlichen Grüßen

Dr. med. D. Stolz
Funktionsoberarzt

Kerstin Grieshober
Doktorandin

Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung

Vollständige Bezeichnung der klinischen Studie/ Prüfung:

Klinische Studie nach vorderer Kreuzbandersatzplastik mit Semitendinosussehnenersatz und transepiphysärer Rekonstruktion bei geöffneter Epiphysenfuge

Verantwortlicher Träger und Leiter der klinischen Prüfung:

Institution:	Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie - GI Universitätsklinikum Gießen Marburg GmbH
Leiter:	Prof. Dr. med. Markus Rickert
Leiter der klinischen Prüfung:	Dr. med. Dirk Stolz

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

wir möchten Sie fragen, ob Sie bereit sind, an der nachfolgend beschriebenen klinischen Studie teilzunehmen.

Klinische Studien sind notwendig, um Erkenntnisse über die Wirksamkeit und Verträglichkeit von medizinischen Behandlungsmethoden zu gewinnen oder zu erweitern. Die klinische Studie, die wir Ihnen hier vorstellen, wurde von der zuständigen Ethikkommission zustimmend bewertet. Diese klinische Prüfung wird in der orthopädischen Klinik in der Ambulanz durchgeführt; es sollen insgesamt ungefähr 20 Personen daran teilnehmen.

Ihre Teilnahme an dieser klinischen Studie ist freiwillig. Sie werden in diese Prüfung also nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der klinischen Studie teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile.

Um Sie über das Vorhaben und über die etwaigen Vorteile und Risiken Ihrer Teilnahme zu informieren, wird der verantwortliche Arzt ein ausführliches Aufklärungsgespräch mit Ihnen führen. Vor diesem Gespräch möchten wir Sie bitten, die nachfolgenden Ausführungen zu lesen. Sie können sich dadurch bereits einen eingehenden Überblick verschaffen.

1. Warum wird diese Studie durchgeführt?

Das Kniegelenk ist eines der wichtigsten Gelenke des menschlichen Körpers und trägt viel zu unserem Wohlstand bei. Dabei stellen wir uns Fragen wie: Müssen wir humpeln? Haben wir Schmerzen? Können wir uns uneingeschränkt fortbewegen? Damit wir alles verneinen können, muss unser Kniegelenk intakt sein.
Zudem wirken auf das Kniegelenk stets viele verschiedene Kräfte ein, denen die Bänder und Sehnen standhalten müssen. So kann es häufiger passieren, dass bei Scherbewegungen oder Verdrehen des Beins und falscher Belastung verschiedene Strukturen im Kniegelenk beschädigt werden. Dazu gehören unter anderem die beiden Kreuzbänder, die für Stabilität im Kniegelenk sorgen. Sie bilden eine Schiene und führen das Gelenk während der Bewegung, sodass Ober- und Unterschenkel sich weder gegeneinander nach vorne und hinten verschieben lassen, noch zu weit rotieren können.

Da es noch relativ wenige Studien zum Kreuzbandersatz bei Kindern gibt, wollten wir Sie gerne dafür begeistern. Weil es sich um eine geringe Anzahl an Patienten handelt, wäre es umso schöner, Sie mit einbeziehen zu können. Dabei liegt uns im Rahmen dieser Nachuntersuchung Ihre Gesundheit und Ihr Wohl sehr am Herzen und wir stehen Ihnen jederzeit für Fragen zur Verfügung.
Die derzeitige Studienlage steht momentan klar auf Seiten einer Operation, wie Sie bei Ihnen durchgeführt wurde. Bei konservativen Methoden, die das Ruhigstellen des Knies zum Ziel haben, ergaben sich viele Begleitverletzungen oder Instabilitäten des Kniegelenks für den Patienten.
Bei Kindern sind Operationen stets wohlüberlegt, da sie sich noch im Wachstum und der Entwicklung befinden und man das Wachstum in keinerlei Hinsicht einschränken oder behindern möchte. Daher wurde bei Ihnen eine Technik durchgeführt, die die Wachstumsfuge so wenig wie möglich tangiert. Verschiedene Studien haben diese Operation klar im Vorteil gesehen. Im Rahmen Ihrer Nachuntersuchungen möchten wir nun die Ergebnisse der Behandlung dokumentieren. Dazu gehört die Erfassung von Schmerzen, Funktion und Zufriedenheit.

2. Wie ist der Ablauf der Studie und was muss ich bei Teilnahme beachten?

Bei Aufnahme in diese klinische Studie wird die Vorgeschichte Ihrer Krankheit erhoben. Mittels Fragebögen wollen wir Ihre derzeitige Lebensqualität, Lebenssituation und etwaige Probleme oder Schwierigkeiten in Bezug auf die durchgeführte Operation erfragen. Sie werden dabei einer umfassenden ärztlichen Untersuchung unterzogen. Dazu gehört insbesondere die Stabilitäts- und Beweglichkeitsprüfung Ihres Kniegelenks sowie eine Magnetresonanztomographie (MRT) ganz ohne Strahlenbelastung.
Bei Teilnahme an der Studie müssen Sie sich einmalig wieder in der Klinik vorstellen. Dafür kontaktieren wir Sie in nächster Zeit telefonisch und vereinbaren einen Termin mit Ihnen.

3. Welchen persönlichen Nutzen habe ich von der Teilnahme an der Studie?

Für Sie persönlich ergibt sich der Vorteil einer zeitnahen und persönlichen Beobachtung Ihres Behandlungsergebnisses. Eventuelle Probleme oder Schäden können früh entdeckt und behandelt werden.
Die Ergebnisse der Studie können dazu beitragen, die Behandlung von Kreuzbandverletzungen im Kindesalter zukünftig besser beurteilen zu können. Da es noch sehr wenige Studien in diesem Bereich gibt, könnte es einen Fortschritt in der Operation bei Kindern bedeuten. Durch die Auswertung der Daten möglichst vieler Patienten ermöglichen Sie wichtige wissenschaftliche Erkenntnisse zum Thema Kreuzbandersatzplastik im Kindesalter.

4. Was geschieht mit meinen Daten?

Während der klinischen Studie werden medizinische Befunde und persönliche Informationen von Ihnen erhoben und in der Prüfstelle in Ihrer persönlichen Akte niedergeschrieben oder elektronisch gespeichert. Die für die klinische Studie wichtigen Daten werden zusätzlich in pseudonymisierter Form gespeichert, ausgewertet und gegebenenfalls weitergegeben. Pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- und/ oder Buchstabencode, evtl. mit Angabe des Geburtsjahres.

Die Daten sind gegen unbefugten Zugriff gesichert. Eine Entschlüsselung erfolgt nur unter den vom Gesetz vorgeschriebenen Voraussetzungen. Einzelheiten entnehmen Sie bitte der Einwilligungserklärung, die im Anschluss an diese Patienteninformation abgedruckt ist.

Wenn Sie aus der klinischen Studie ausscheiden möchten, können Sie Ihre Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen. Dadurch entstehen Ihnen keinerlei Nachteile.

5. An wen wende ich mich bei weiteren Fragen?

Beratungsgespräche an der Prüfstelle

Sie haben stets die Gelegenheit zu weiteren Beratungsgesprächen mit dem auf Seite 1 genannten oder einem anderen Prüfarzt.

Einwilligungserklärung

Titel der klinischen Studie:

Klinische Studie nach vorderer Kreuzbandersatzplastik mit Semitendinosus-sehnenersatz und transepiphysärer Rekonstruktion bei geöffneter Epiphysenfuge

Verantwortlicher Träger und Leiter der klinischen Prüfung:

Institution:	Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie - GI
	Universitätsklinikum Gießen Marburg GmbH
Leiter:	Prof. Dr. med. Markus Rickert
Leiter der klinischen Prüfung:	Dr. med. Dirk Stolz

.....
Name des Patienten in Druckbuchstaben

geb. am ..... Teilnehmer-Nr. .....

Ich bin in einem persönlichen Gespräch durch den Prüfarzt

.....
Name der Ärztin/des Arztes

ausführlich und verständlich über die zu prüfende Behandlungsmethode sowie über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der klinischen Studie aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text der Patienteninformation sowie die hier nachfolgend abgedruckte Datenschutzerklärung gelesen und verstanden. Ich hatte die Gelegenheit, mit dem Prüfarzt über die Durchführung der klinischen Prüfung zu sprechen. Alle meine Fragen wurden zufrieden stellend beantwortet.

Ich hatte Gelegenheit, Fragen zu stellen und habe eine Kopie der vorliegenden Unterlagen erhalten. Anschließend wurde mir ausreichend Zeit gewährt, um in Ruhe über meine Teilnahme nachzudenken. Derzeit habe ich keine weiteren Fragen.

Mit der Teilnahme an der klinischen Studie bin ich einverstanden.
Meine Einwilligung befasst auch die beschriebene Verwendung meiner personenbezogenen Daten, insbesondere die Erhebung und Verarbeitung von Angaben über meine Gesundheit.
Insoweit verweise ich auch meine beigefügte Datenschutzerklärung.

Die klinische Studie erfolgt auf freiwilliger Basis. Ein Ausscheiden ist jederzeit möglich und ohne Angabe von Gründen. Durch den Widerruf erwachsen mir keinerlei Nachteile.

.....
(Ort, Datum) (Name, Vorname) (Unterschrift)

Datenschutz:

Mir ist bekannt, dass bei dieser klinischen Prüfung personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Angaben über meine Gesundheit erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der klinischen Prüfung folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, das heißt ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der klinischen Prüfung teilnehmen.

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser klinischen Studie personenbezogene Daten, insbesondere Angaben über meine Gesundheit, über mich erhoben und in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern in der Orthopädischen Klinik Gießen aufgezeichnet werden. Soweit erforderlich, dürfen die erhobenen Daten pseudonymisiert (verschlüsselt) weitergegeben werden zum Zwecke der wissenschaftlichen Ausarbeitung.

2. Außerdem erkläre ich mich damit einverstanden, dass autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Beauftragte des Verantwortlichen sowie die zuständigen Überwachungsbehörden in meine beim Prüfarzt vorhandenen personenbezogenen Daten, insbesondere meine Gesundheitsdaten, Einsicht nehmen, soweit dies für die Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung der Studie notwendig ist. Für diese Maßnahme entbinde ich den Prüfarzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

3. Ich bin bereits darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der klinischen Prüfung beenden kann. Im Fall eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten weiterhin verwendet werden dürfen, soweit dies erforderlich ist, um sicherzustellen, dass meine schutzwürdigen Interessen nicht beeinträchtigt werden. Falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe, müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten, insbesondere Gesundheitsdaten, gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten zu dem vorgenannten Zweck noch erforderlich sind. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.

4. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch der Studie zehn Jahre aufbewahrt werden. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht, soweit nicht gesetzliche, satzungsmäßige oder vertragliche Aufbewahrungsfristen entgegenstehen *(vertraglich vereinbarte Fristen müssen hier genannt werden)*.

Ich erkläre mich hiermit mit den oben ausgeführten Datenschutzbestimmungen einverstanden.

.....

(Ort, Datum) (Name, Vorname) (Unterschrift)

Ich erkläre mich bereit,
an der oben genannten klinischen Studie
freiwillig teilzunehmen.

Ein Exemplar der Patienten-Information und -Einwilligung habe ich erhalten. Ein Exemplar verbleibt im Prüfzentrum.

.....
Name des Patienten in Druckbuchstaben

.....	.....
Datum	Unterschrift des **Patienten**

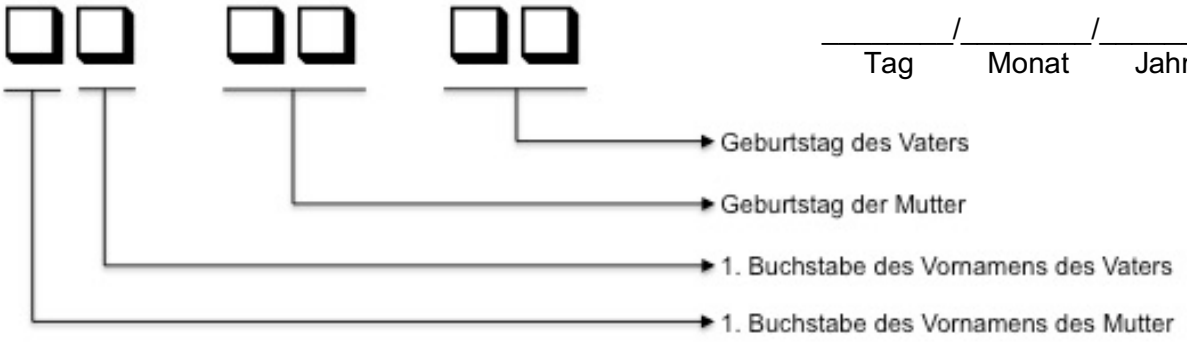
Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die Einwilligung des Patienten eingeholt.

.....
Name des Prüfarztes/der Prüfärztin in Druckbuchstaben

.....	.....
Datum	Unterschrift des aufklärenden **Prüfarztes/der Prüfärztin**

Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Standort Gießen

VERSCHLÜSSELUNGS- CODE



Heutiges Datum:

_____/_____/_____
Tag Monat Jahr

Lysholm und Gilquist Score

Bitte kreuzen Sie in der rechten freien Spalte das für Sie Zutreffende an!

Hinken	nein	5	
	wenig oder zeitweise	3	
	stark oder immer	1	

Belastung	Vollbelastung	5	
	Gehstützen oder Stock	3	
	Belastung nicht möglich	0	

Blockierung	keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung	15	
	Gefühl der Einklemmung, aber keine Blockierung	10	
	gelegentliche Blockierung	6	
	häufige Blockierung	2	
	blockiertes Gelenk bei Untersuchung	0	

Instabilität	Niemals "giving way"* Phänomen	25	
	"giving way" selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung	20	
	"giving way" häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich, daran teilzuneh-men)	15	
	"giving way" gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10	
	"giving way" oft während Tätigkeiten des Alltags	5	
	"giving way" bei jedem Schritt	0	

*Giving way: Das Gefühl des Einknickens oder Wegknickens im Kniegelenk

Schmerzen	keine	25	
	unregelmäßig und gering während schwerer Anstrengung	20	
	deutlich/ ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15	
	deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2 km	10	
	deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2 km	5	
	ständig	0	

Schwellung	keine	10	
	bei schwere Anstrengung	6	
	bei gewöhnlicher Anstrengung	2	
	ständig	0	

Treppensteigen	kein Problem	10	
	ein wenig beeinträchtigt	6	
	Schritt für Schritt	2	
	nicht möglich	0	

Hocken	kein Problem	5	
	wenig beeinträchtigt	4	
	nicht über 90°	2	
	nicht möglich	0	

Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie am Standort Gießen

Aktivitätsscore nach Tegner und Lysholm

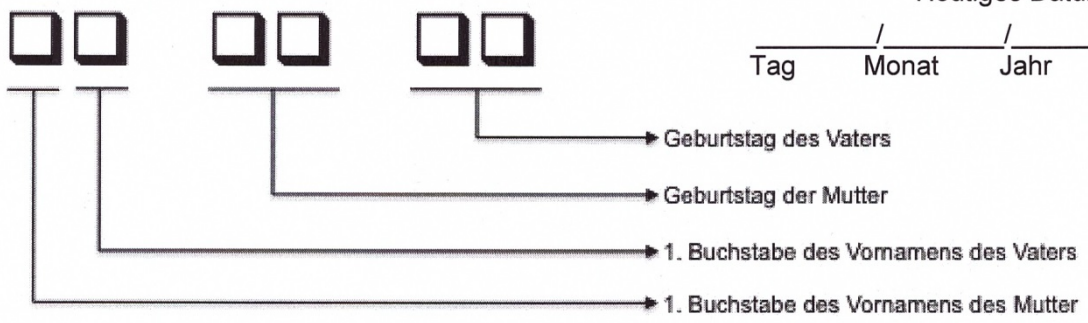
Bitte lesen Sie sich die Angaben sorgfältig durch und kreuzen Sie das für Sie zutreffende Kästchen an!

Aktivitätslevel:

		Prä OP	Post OP
Krankenschein oder Frührentner aufgrund der Knieverletzung	0		
Arbeit: sitzende Tätikeit Spazierengehen auf ebenem Grund möglich	1		
Arbeit: lockere Tätigkeit Spazierengehen auf unebenem Grund möglich, aber ein Waldspaziergang ist unmöglich	2		
Arbeit: lockere Tätigkeit (z.B. Krankenpflege) Wettkampf und Breitensport: Schwimmen Waldspaziergänge sind möglich	3		
Arbeit: mäßig schwere Arbeit (z.B. LKW Fahren, schwere Hausabeit) Breitensport: Fahrradfahren, Skilanglauf, Joggen auf ebenem Grund mindestens zweimal pro Woche	4		
Arbeit: körperlich schwere Arbeit (z.B. Bauarbeiter, Forstwirtschaft) Wettkampfsport: Fahrradfahren, Skilanglauf Breitensport: Joggen auf unebenem Grund mindestens zweimal wöchentlich	5		
Breitensport: Tennis, Badmington, Handball, Basketball, Alpinski, Joggen mindestens fünfmal pro Woche	6		
Wettkampfsport: Tennis, Leichtathletik (Laufen),Motorradrennen, Handball, Basketball Breitensport: Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Hoch, Weitsprung), Cross-Lauf als Breiten- und Wettkampfsport	7		
Wettkampfsport: Squash, Badmington, Leichtathletik, Alpinski	8		
Wettkampfsport: Fußball, Eishockey, Ringen, Turnen	9		
Wettkampfsport: Fußball – Nationale und international Ebene	10		

2000
DEMOGRAPHISCHES FORMBLATT

VERSCHLÜSSELUNGS-CODE:



Heutiges Datum:

_____/_____/_____
Tag Monat Jahr

Geschlecht: ❑ männlich ❑ weiblich

Beruf: _____

Nachstehend finden Sie eine Liste häufig vorkommender Gesundheitsbeschwerden. Bitte kreuzen Sie in der ersten Spalte „Ja" oder „Nein" an und gehen Sie dann zum nächsten Punkt weiter. Wenn Sie an den genannten Beschwerden oder Krankheiten leiden, geben Sie bitte in der zweiten Spalte an, ob Sie dafür Medikamente erhalten oder anderweitig behandelt werden. In der letzten Spalte geben Sie bitte an, ob Ihre Aktivitäten durch diese Beschwerden oder Krankheiten eingeschränkt werden.

	Haben Sie diese Beschwerden?		Sind Sie deswegen in Behandlung?		Sind Ihre Aktivitäten dadurch eingeschränkt?	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Herzkrankheit	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Hoher Blutdruck	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Asthma oder Lungenkrankheit	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Diabetes (Zuckerkrankheit)	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Geschwür oder Erkrankungen des Magens	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Darmerkrankung	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Nierenerkrankung	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Lebererkrankung	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Anämie (Blutarmut) oder andere Blutkrankheiten	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Übergewicht	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Krebs	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Depressionen	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Gelenkentzündung, degenerative Arthritis	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Rheumatoide Arthritis	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Rückenschmerzen	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Lyme-Borreliose	❑	❑	❑	❑	❑	❑
andere Gesundheitsbeschwerden	❑	❑	❑	❑	❑	❑
Alkoholismus	❑	❑	❑	❑	❑	❑

1. Rauchen Sie Zigaretten?

- ❑ Ja
- ❑ Nein, ich habe das Rauchen in den letzten sechs Monaten aufgegeben.
- ❑ Nein, ich habe das Rauchen vor mehr als Monaten aufgegeben.
- ❑ Nein, ich habe nie geraucht.

2. Ihre Größe: _____ cm

3. Ihr Gewicht: _____ kg

4. Ihre rassische Zugehörigkeit: (bitte alles Zutreffende ankreuzen)

- ❑ Weiß
- ❑ Schwarz oder Afroamerikanisch
- ❑ Hispanisch
- ❑ Asiatisch oder Pazifische Inseln
- ❑ Nordamerika-Indianer
- ❑ Sonstige

5. Welchen Schulabschluss haben Sie?

- ❑ Hauptschule
- ❑ Realschule (mittlere Reife)
- ❑ Abitur
- ❑ Fachausbildung
- ❑ Universität
- ❑ Postgraduiertenstudium-Studiengang

6. Wie intensiv ist Ihre sportliche Betätigung?

- ❑ Ich bin ambitionierter Sportler/in.
- ❑ Ich bin gut durchtrainiert und treibe häufig Sport.
- ❑ Ich treibe ab und zu Sport.
- ❑ Ich treibe nie Sport

2000

FORMBLATT ZUR BEURTEILUNG DES GEGENWÄRTIGEN GESUNDHEITSZUSTANDES (SF36)

1. Wie würden Sie Ihren allgemeinen Gesundheitszustand beurteilen?
   ❑ hervorragend ❑ sehr gut ❑ gut ❑ mäßig ❑ schlecht

2. Wie würden Sie Ihren derzeitigen Allgemeinzustand im Vergleich zu Ihrem Zustand vor einem Jahr beurteilen?
   ❑ viel besser als vor einem Jahr
   ❑ etwas besser als vor einem Jahr
   ❑ etwa genauso wie vor einem Jahr
   ❑ etwas schlechter als vor einem Jahr
   ❑ viel schlechter als vor einem Jahr

3. Es folgt eine Liste von Aktivitäten, die an einem typischen Tag anfallen können. Werden Sie bei diesen Aktivitäten durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand eingeschränkt? Wenn ja, in welchem Umfang?

		Ja, sehr eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
a)	Anstrengende Aktivitäten wie laufen, schwere Gegenstände heben, an anstrengenden Sportarten teilnehmen	❑	❑	❑
b)	Mäßig anstrengende Aktivitäten wie z.B. einen Tisch umstellen, staubsaugen, kegeln oder Golf spielen	❑	❑	❑
c)	Lebensmittel hochheben oder tragen	❑	❑	❑
d)	Mehrere Treppen hochsteigen	❑	❑	❑
e)	Eine Treppe hochsteigen	❑	❑	❑
f)	Sich bücken, knien, in die Hocke gehen	❑	❑	❑
g)	Mehr als 1,5 km gehen	❑	❑	❑
h)	Mehrere Straßenblöcke gehen	❑	❑	❑
i)	Einen Straßenblock gehen	❑	❑	❑
j)	Sich baden oder anziehen	❑	❑	❑

4. Hatten Sie in den <u>vergangenen 4 Wochen</u> aufgrund seelischer Probleme Schwierigkeiten bei Ihrer Arbeit oder bei anderen normalen täglichen Aktivitäten? Sie waren z.B. deprimiert oder unruhig.

		JA	NEIN
a)	Ich musste die für meine Arbeit oder andere Aktivitäten vorgesehene Zeit reduzieren.	❑	❑
b)	Ich konnte nicht so viel leisten wie ich wollte.	❑	❑
c)	Ich habe meine Arbeit oder andere Aktivitäten nicht so sorgfältig wie gewohnt ausgeführt.	❑	❑

5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Verfassung Schwierigkeiten bei Ihrer Arbeit oder bei anderen normalen täglichen Tätigkeiten?

		JA	NEIN
a)	Ich musste die für meine Arbeit oder andere Aktivitäten vorgesehene Zeit reduzieren.	❑	❑
b)	Ich konnte nicht soviel leisten wie ich wollte.	❑	❑
c)	Ich war in meiner Arbeit oder in anderen Aktivitäten eingeschränkt	❑	❑
d)	Ich hatte Schwierigkeiten, meine Arbeit oder andere Aktivitäten auszuführen. (Ich musste mich z.B. besonders anstrengen)	❑	❑

6. Inwieweit haben Ihre körperliche Verfassung oder seelischen Probleme Ihre normalen gesellschaftlichen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn, oder anderen Gruppen in den vergangenen 4 Wochen beeinträchtigt?

❑ überhaupt nicht ❑ etwas ❑ mäßig stark ❑ ziemlich stark ❑ extrem stark

7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?

❑ keine Schmerzen ❑ sehr gering ❑ gering ❑ mäßig stark ❑ stark ❑ sehr stark

8. Inwieweit wurde Ihre normale Arbeit (Arbeit außerhalb des Hauses und Hausarbeit) in den vergangenen 4 Wochen durch Ihre Schmerzen beeinträchtigt?

❑ überhaupt nicht ❑ etwas ❑ mäßig stark ❑ ziemlich stark ❑ extrem stark

9. Die folgenden Fragen betreffen Ihren Gemüts- und Allgemeinzustand in den vergangenen 4 Wochen. Kreuzen Sie bitte für jede Frage die Antwort an, die Ihre Situation am Besten beschreibt. Wie oft hatten Sie dieses Gefühl in den vergangenen 4 Wochen?

		immer	fast immer	ziemlich oft	manchmal	gelegentlich	nie
a)	Waren Sie durchweg voll Energie und Schwung?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
b)	Waren Sie sehr nervös?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
c)	Waren Sie ruhig und gelassen?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
d)	Hatten Sie viel Energie?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
e)	Fühlten Sie sich niedergeschlagen und traurig?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
f)	Fühlten Sie sich erschöpft?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
g)	Waren Sie glücklich?	❑	❑	❑	❑	❑	❑
h)	Fühlten Sie sich müder?	❑	❑	❑	❑	❑	❑

10. Wie häufig wurden Ihre gesellschaftlichen Aktivitäten (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) in den vergangenen 4 Wochen durch Ihre körperliche Verfassung oder seelischen Probleme beeinträchtigt?

❑ immer ❑ fast immer ❑ ziemlich häufig ❑ manchmal ❑ selten ❑ nie

11. Inwieweit sind die folgenden Aussagen in Bezug auf Ihre Person RICHTIG oder FALSCH?

	unbedingt richtig	überwiegend richtig	ich weiß nicht	überwiegend falsch	unbedingt falsch
a) Ich glaube, ich bin etwas krankheitsanfälliger als andere Leute.	❑	❑	❑	❑	❑
b) Ich bin so gesund wie jeder andere.	❑	❑	❑	❑	❑
c) Ich erwarte, dass sich mein Gesundheitszustand verschlechtert.	❑	❑	❑	❑	❑
d) Mein Gesundheitszustand ist Ausgezeichnet.	❑	❑	❑	❑	❑

* Dieses Formblatt enthält Fragen aus dem SF-36 Health Survey (SF-36 Fragebogen zur Gesundheit). Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung des Medical Outcomes Trust, Copyright © 1992.

2000
FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES

SYMPTOME*:

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

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?
   - ❑ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
   - ❑ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
   - ❑ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
   - ❑ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
   - ❑ Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der ober genannten Aktivitäten ausführen.

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

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nie	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	ständig Schmerzen

3. Wie stark waren Ihre Schmerzen?
   Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt bei 0 (Nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nie	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	unerträgliche Schmerzen

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

5. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?
   - ❑ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
   - ❑ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
   - ❑ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
   - ❑ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
   - ❑ Ich kann aufgrund einer geschwollenen Knies keine der ober genannten Aktivitäten ausführen.

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

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

- ❑ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- ❑ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- ❑ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ❑ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ❑ Ich kann aufgrund der Knieschwäche keine der ober genannten Aktivitäten ausführen.

Sportliche Betätigung

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

- ❑ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- ❑ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- ❑ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ❑ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ❑ Ich kann aufgrund meines Knies keine der ober genannten Aktivitäten ausführen.

9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

	überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	minimal schwierig	extrem schwierig	unmöglich
a) Treppensteigen	❑	❑	❑	❑	❑
b) Treppe hinuntergehen	❑	❑	❑	❑	❑
c) Auf dem vorderen Knie knien	❑	❑	❑	❑	❑
d) Hockstellung	❑	❑	❑	❑	❑
e) Normal sitzen	❑	❑	❑	❑	❑
f) Vom Stuhl aufstehen	❑	❑	❑	❑	❑
g) Geradeaus laufen	❑	❑	❑	❑	❑
e) Hochspringen und auf dem betroffenen Bein landen	❑	❑	❑	❑	❑
f) Beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportler/in sind) schnell anhalten und starten	❑	❑	❑	❑	❑

Funktion

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

FUNKTIONSFÄHIGKEIT VOR DER KNIEVERLETZUNG:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten

DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	keine Einschränkung

Anamnese – Bogen

Name:_____ Heutiges Datum: _____

Geburtsdatum:_____

Datum der Verletzung:_____

Datum der ersten Untersuchung:_____

Klinische Untersuchungsbefunde:

Datum der Operation:_____

Wachstumsfuge: ❑ offen ❑ nahezu geschlossen ❑ geschlossen

Restwachstum: ❑ ja ❑ nein

Betroffenes Knie: ❑ rechts ❑ links

Kontralateral: ❑ normal ❑ nahezu normal ❑ abnormal ❑ stark abnormal

Beginn der Beschwerden: _____

Hauptbeschwerde: _____

_____

Zusatzverletzung: _____

Aktivität, bei der die Verletzung auftrat: ❑ Aktivität des täglichen Lebens

❑ Sport ❑ Arbeit

❑ Verkehrsunfall ❑ Sonstiges:

Verletzungsmechanismus: ❑ Allmähliches Eintreten ohne Trauma

❑ Plötzlicher Beginn ohne Trauma

❑ Beginn mit Trauma ohne Kontakt

❑ Beginn mit Trauma und Kontakt

Frühere Operationen:

Vorerkrankungen:

Befinden vor der OP:

Operation:

Meniskusoperation ❑ Mediale Meniskektomie ❑ Laterale Meniskektomie

❑ Mediale Meniskusrefixation ❑ Laterale Meniskusrefixation

❑ Mediale Meniskustransplantation ❑ Laterale Meniskustransplantation

Bänderoperation ❑ Naht des VKB

❑ Extraartikuläre Rekonstruktion VKB

❑ Ersatzplastik des VKB

❑ Rekonstruktion der posterolateralen Gelenkecke

❑ Naht/ Rekonstruktion des Lig. collaterale mediale ❑ laterale

Transplantattyp ❑ Lig. patellae ❑ ipsilateral ❑ kontralateral
❑ Hamstring Transplantat
❑ Quadrizepssehnen-Transplantat
❑ Allotransplantat
❑ Sonstiges
❑ Technik ❑ Rigid Fix ❑ Endobutton ❑ Suture Disc
❑ Schraube ❑ sonstige

Weitere / folgende Operationen:

Bildgebende Untersuchungen:

❑ Röntgen ❑ MRT ❑ CT ❑ Knochenszintigraphie

Befunde: Ligamente
Menisci
Gelenkknorpel
Knochen
Wachstumsfuge

Nachbehandlung:

Schiene wie lange?_____

Krücken wie lange?_____

❑ Teilbelastung ❑ Vollbelastung wie lange?_____

Krankengymnastik: Wie lang?_____ _____ Wie oft?_____

Sport ab wann_____ Stop-and-Go Sportarten_____

Probleme:

Allgemein: ❑ Knirschen ❑ Knacken ❑ Blockade ❑ Instabilität ❑ Schmerzen

Frühzeitige Belastung nach OP: ❑ draufgefallen ❑ weggerutscht ❑ jmd. dagegengetreten

❑ angestoßen ❑ Sportunfall ❑ Sonstiges:_____

Druckstellen: ❑ Reizung ❑ Rötung ❑ Allergie ❑ Entzündung

Nachuntersuchung:

❑ nach 6 Wochen ❑ nach 3 Monaten ❑ nach 6 Monaten ❑ Weitere:_____

Befunde:

Auffälligkeiten/ Bemerkungen:

Untersuchungsbogen [1]

THE IKDC KNEE LIGAMENT STANDARD EVALUATION FORM*[1]

Name:_____ first name:_____ DOB:__/__/__ med. rec. #:_____

Examiner:___date of examination:__/__/__ date of injury/ies:__/__/__ ; __/__/__ date of surgeries:__/__/__ ; __/__/__

Cause of injury : ☐ ADL*[2] ☐ traff. ☐ non-pivoting non-contact sports ☐ pivoting non-contact sp. ☐ contact sp. ☐ work

Time inj. to surg. : _____(months) ☐ acute (0-2 weeks) ☐ subacute (2-8 weeks) ☐ chronic (>8 weeks)

Knee involved : ☐ r. ☐ l. opposite knee: ☐ norm. ☐ injured exam. under anesthes.: ☐ yes ☐ no

Postop. diagnosis : _____

Surgical proced. : _____

Status menisci : norm ☐ med. ☐ lat. 1/3 removed: ☐ med. ☐ lat. 2/3 removed: ☐ med. ☐ lat. compl. rem. ☐ med. ☐ lat.

Morphotype : ☐ lax ☐ normal ☐ tight ☐ varus ☐ valgus

Activ.level*[3] : preinjury: ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV pretreatment: ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV

present: ☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV Eventual change knee-related: ☐ yes ☐ no

GROUPS (PROBLEM AREA)	QUALIFICATION WITHIN GROUPS *[4] A: normal	B: nearly norm.	C: abnormal	D:sev. abnorm.	GROUP QUALIFIC. A	B	C	D*[4]
1. PATIENT SUBJECTIVE ASSESSMENT								
How does your knee function?	☐ normally	☐ nearly norm.	☐ abnormally	☐ sev. abnorm.				
On a scale of 0 to 3 how does your knee affect your activity level?	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐	☐	☐	☐
2. SYMPTOMS (absence of significant symptoms, at highest activity level known by patient) *[5]								
No pain at activity level*[3]	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV or worse				
No swelling at activity level*[3]	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV or worse				
No partial giving way at activity level*[3]	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV or worse				
No complete giving way at activity level*[3]	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV or worse	☐	☐	☐	☐
3. RANGE OF MOTION: Flex./ext.: documented side: __/__/__ opposite side: __/__/__ *[6]								
Lack of extension (from zero anatomic)	☐ <3°	☐ 3-5°	☐ 6-10°	☐ >10°				
Δ *[7] lack of flexion	☐ 0-5°	☐ 6-15°	☐ 16-25°	☐ >25°	☐	☐	☐	☐
4. LIGAMENT EXAMINATION *[8]		3 to 5mm or	6 to 10mm					
Δ *[7] Lachman (in 25°. flex.)*[9]	☐ -1 to 2mm	☐ -1 to-3mm[10]	☐ or <-3mm	☐ >10mm				
idem (alternative measurement, optional)	☐ -1 to 2mm	☐ 3-5 /-1 to-3mm	☐ 6-10/<-3mm	☐ >10mm				
Endpoint: ☐ firm ☐ soft								
Δ *[7] total a.p.transl. in 70° flex.*[9]	☐ 0 to 2mm	☐ 3 to 5mm	☐ 6 to 10mm	☐ >10mm				
idem (alternative measurement, optional)	☐ 0 to 2mm	☐ 3 to 5mm	☐ 6 to 10mm	☐ >10mm				
Δ *[7] post. sag in 70° flex.	☐ 0 to 2mm	☐ 3 to 5mm	☐ 6 to 10mm	☐ >10mm				
Δ *[7] med. joint opening (valgus rotation)	☐ 0 to 2mm	☐ 3 to 5mm	☐ 6 to 10mm	☐ >10mm				
Δ *[7] lat. joint opening (varus rotation)	☐ 0 to 2mm	☐ 3 to 5mm	☐ 6 to 10mm	☐ >10mm				
Pivot shift *[11]	☐ neg.	☐ + (glide)	☐ ++ (clunk)	☐ +++ (gross)				
Δ *[7] reversed pivot shift	☐ equal(neg.) ☐ equal(pos.)	☐ slight	☐ marked	☐ gross	☐	☐	☐	☐
5. COMPARTMENTAL FINDINGS *[12]								
Δ *[7] Crepitus patellofemoral	☐ none/equal	☐ moderate	☐ painful	☐ severe				
Δ *[7] Crepitus medial compartment	☐ none	☐ moderate	☐ painful	☐ severe				
Δ *[7] Crepitus lateral compartment	☐ none	☐ moderate	☐ painful	☐ severe				
6. HARVEST SITE PATHOLOGY *[13]								
Tenderness, irritation, numbness	☐ none	☐ slight	☐ moderate	☐ severe				
7. X-RAY FINDINGS (DEGENERATIVE JOINT DISEASE) *[14]								
Patellofemoral cartilage space	☐ normal	☐ > 4mm	☐ 2-4mm	☐ < 2mm				
Medial compartment cartilage space	☐ normal	☐ > 4mm	☐ 2-4mm	☐ < 2mm				
Lateral compartment cartilage space	☐ normal	☐ > 4mm	☐ 2-4mm	☐ < 2mm				
8. FUNCTIONAL TEST *[15]								
Δ One leg hop (percent of opposite side)	☐ 90-100%	☐ 76-90%	☐ 50-75%	☐ <50%				
FINAL EVALUATION					☐	☐	☐	☐

Fig. 1a, b. Original knee ligament evaluation form of the International Knee documentation Committee (IKDC). **a** Front of the form, **b** back of the form with remarks and footnotes

Untersuchungsbogen [2] Betroffenes Knie rechts ❑ links ❑

Untersuchungen - Befunde

Schwellung	keine ❑	gering ❑	mäßig ❑	stark ❑
Erguss	keiner ❑	gering ❑	mäßig ❑	stark ❑
Narbenzustand	reizfrei ❑	gerötet ❑	entzündet ❑	

Beinachse

Genu varum ❑ Genu valgum ❑ weder noch ❑

Abweichung (in Grad): _____ Malleolenabstand:_____

Beinlänge

Betroffenes Bein:_____ Gegenseite:_____ Differenz:_____

Beinumfang

Betroffenes Bein:_____ Gegenseite:_____

Muskelatrophie: Ja ❑ Nein ❑ Abweichung in cm:_____

Bewegungsausmaß nach Neutral Null

Extension/ Flexion:_____ Innen-/ Außenrotation:_____

KT-Messung (jeweils drei Messungen zur Durchschnittsermittlung)

	Betroffenes Bein				**Gegenseite**			
1.								
2.								
3.								

Funktions-test

Kniebeuge bis 90° ❑ ohne Beschwerden möglich ❑ mit Beschwerden möglich ❑ unmöglich

Kniebeuge ganz ❑ ohne Beschwerden möglich ❑ mit Beschwerden möglich ❑ unmöglich

Zohlen-Zeichen: pos. ❑ neg. ❑

Meniskus Zeichen

Steinmann I (Knie 90° gebeugt): Schädigung AM ❑ Schädigung IM ❑ Keine ❑

Steinmann II: Schädigung AM ❑ Schädigung IM ❑ Keine ❑

Payr: Medial Schmerzen ja ❑ nein ❑

Apley (Bauchlage): Schädigung AM ❑ Schädigung IM ❑ Keine ❑

Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten 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 sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich beim Erstellen dieser Dissertation begleitet und unterstützt haben.
Meinen besonderen Dank möchte ich meinem Doktorvater Herr Prof. Dr. med. Rickert und meinen Betreuer Herr Dr. med. Stolz aussprechen, die meine Themenauswahl unterstützt haben, sich gleichermaßen begeistert zeigten und mir bei der Verfassung dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.
Danke an Frau Möbus in der Ambulanz der Poliklinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie am UKGM Gießen. Von ihr wurde ich bei der Vereinbarung der MRT-Termine und verschiedenen anderen organisatorischen Dingen im Verlauf (Annahme der Briefe und Weiterleitung an mich) der Arbeit unterstützt.
Ein weiterer Dank geht an Frau Windhorst, welche mich mit der Auswertung der Daten und der Erstellung der Statistik begleitet hat. Ein Kurs zu SPSS bei Herrn Pons-Kühnemann und die themenbezogene Beratung am Statistischen Institut der Justus-Liebig Universität Gießen waren für mich sehr hilfreich.
Ein besonderer Dank geht an meinen Partner, ohne den ich oft die Motivation verloren hätte. Er unterstützte mich auch in schwierigen Situationen und schaffte es immer wieder, mich anzutreiben und zu motivieren. Bei der Ausgestaltung der Fragebögen, der Formatierung der Arbeit und als erster Korrekturleser stand er mir ebenfalls tatkräftig zur Seite.
Weiterhin möchte ich auch meinen Eltern, meiner Schwester und meinen Schwiegereltern danken, die sich als Korrekturleser zur Verfügung stellten und sich das ein oder andre Problem anhören mussten.
Ohne diese Menschen wäre die Dissertation wie die vorliegende nicht möglich gewesen. Daher meinen Dank.