

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

**Dissertation**

**Klinisches Ergebnis nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei  
Patienten mit offenen Wachstumsfugen**

Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.)

Vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Theresa Anna Lackner  
aus Korneuburg/Wien

06.03.2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>10</b>
1.1	ANATOMIE DES KNIEGELENKS	10
1.1.1	Anatomische Besonderheiten bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen	11
1.1.2	Wachstumsfugen im Kniegelenk	11
1.1.3	Anatomie des vorderen Kreuzbandes	13
1.2	VKB-RUPTUREN BEI PATIENTEN MIT OFFENEN WACHSTUMSFUGEN	13
1.2.1	Epidemiologie	14
1.2.2	Anamnese und Diagnostik	15
1.2.3	Differentialdiagnosen der VKB-Ruptur im Kindes- und Jugendalter	16
1.3	THERAPIEMÖGLICHKEITEN DER LIGAMENTÄREN VKB-RUPTUR BEI PATIENTEN MIT OFFENEN WACHSTUMSFUGEN	16
1.3.1	Konservative Therapie	17
1.3.2	Operative Therapie	17
1.3.3	Transplantate	18
1.3.4	Fixierungsmöglichkeiten	19
1.4	WACHSTUMSSTÖRUNGEN NACH VKB-REKONSTRUKTION BEI PATIENTEN MIT OFFENEN WACHSTUMSFUGEN UND TECHNISCHE BESONDERHEITEN DER OPERATION	20
1.5	ZIEL DER ARBEIT UND FRAGESTELLUNGEN	22
<b>2</b>	<b>PATIENTEN</b>	<b>24</b>
2.1	EINSCHLUSSKRITERIEN	25
2.2	AUSSCHLUSSKRITERIEN	25
2.3	ANALYSE DER WACHSTUMSFUGEN	25
<b>3</b>	<b>METHODEN</b>	<b>26</b>
3.1	OPERATIONSTECHNIK	26
3.2	NACHBEHANDLUNGSSCHEMA VORDERES KREUZBAND	27
3.3	ALGORITHMUS DER KLINISCHEN NACHUNTERSUCHUNG	27
3.3.1	Bewegungsausmaß	28
3.3.2	Beinlängenmessung	28
3.3.3	Messung von Oberschenkel- und Wadenumfang	28
3.3.4	Vorderer Schubladentest	28
3.3.5	Lachman-Test	29
3.3.6	Varus- und Valgusstress	29
3.3.7	Transplantatentnahmemorbidität	29
3.4	INSTRUMENTELLE STABILITÄTSMESSUNG MIT DEM KT-1000® ARTHROMETER	30
3.5	EVALUATIONSMETHODEN	31
3.5.1	IKDC 2000	31

3.5.2	KOOS-Fragebogen .....	32
3.5.3	Lysholm-Score .....	32
3.6	STATISTISCHE ANALYSE .....	33
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>34</b>
4.1	PATIENTENCHARAKTERISTIKA .....	34
4.1.1	Body-Mass-Index (BMI) prä- und postoperativ .....	35
4.1.2	Unfallhergang .....	38
4.2	OPERATION .....	38
4.2.1	Zeitraum zwischen Unfall und operativer Versorgung .....	38
4.2.2	Operationsdauer .....	39
4.2.3	VKB-Zustand präoperativ .....	39
4.2.4	Begleitpathologien .....	40
4.2.5	Sehnenwahl .....	43
4.2.6	Fixierung .....	43
4.2.6.1	Femorale Fixierung .....	43
4.2.6.2	Tibiale Fixierung .....	45
4.2.7	Transplantatdurchmesser .....	46
4.2.8	Transplantatlänge .....	47
4.2.9	Postoperativer stationärer Aufenthalt .....	47
4.3	NACHBEHANDLUNG UND PHYSIOTHERAPIE .....	48
4.4	KLINISCHE NACHUNTERSUCHUNG .....	49
4.4.1	Stabilitätstests VKB .....	49
4.4.2	Stabilitätstests Seitenbänder .....	51
4.4.3	Beinachse .....	51
4.4.4	Beinlängendifferenz .....	51
4.4.5	Bewegungsausmaß .....	51
4.4.6	Muskuläre Defizite .....	51
4.4.7	Rückkehr zum Sport .....	52
4.4.8	Postoperatives Längenwachstum .....	54
4.5	INSTRUMENTELLE MESSUNG DER VORDEREN TRANSLATION MITTELS KT-1000®-ARTHROMETER .....	54
4.6	ERGEBNISSE DER SCORES .....	55
4.6.1	IKDC 2000 .....	55
4.6.1.1	Subjektiver IKDC 2000 .....	55
4.6.1.2	IKDC-Gruppengrade .....	56
4.6.2	KOOS .....	56
4.6.3	Lysholm-Score .....	56
4.7	KOMPLIKATIONEN .....	57
4.7.1	Revisionspflichtige Komplikationen .....	57
4.7.2	Nichtrevisionspflichtige Komplikationen .....	58
4.8	ERGEBNISSE IN ABHÄNGIGKEIT DES PATIENTENALTERS .....	59

5	DISKUSSION.....	60
6	LITERATURVERZEICHNIS .....	73
7	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG.....	82
8	ANTEILSERKLÄRUNG AN ETWAIGEN ERFOLGTEN PUBLIKATIONEN.....	83
9	ANHANG .....	84
10	LEBENS LAUF .....	85
11	DANKSAGUNG .....	87

## Abkürzungsverzeichnis

ACL	Anterior cruciate ligament
AM-Bündel	Anteromediales Bündel
AM	Außenmeniskus
a.p.	Anterior-posterior
BMI	Body-Mass-Index
BPTB	Bone-patellar-tendon-bone
cm	Zentimeter
IM	Innenmeniskus
HKB	Hinteres Kreuzband
IKDC	International Knee Documentation Committee
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
mm	Millimeter
MPFL	Mediopatellofemorales Ligament
MRT	Magnetresonanztomografie
OP	Operation
PL-Bündel	Posterolaterales Bündel
ROM	Range of motion
VKB	Vorderes Kreuzband

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Kniegelenks .....	11
Abbildung 2: 12-jähriger Patient mit offenen Wachstumsfugen im Röntgen.....	12
Abbildung 3: 12-jähriger Patient mit offenen Wachstumsfugen im MRT .....	13
Abbildung 4: Patientenauswahl .....	24
Abbildung 5: Klinische Messung der vorderen Translation mit dem KT-1000®-Arthrometer .....	31
Abbildung 6: Geschlechterverteilung der Patienten .....	34
Abbildung 7: Verteilung der betroffenen Knieseite, rechts (n = 16), links (n = 10).....	35
Abbildung 8: Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation, (n = 26).....	35
Abbildung 9a: Präoperative Gewichtsverteilung nach BMI-Perzentilen.....	37
Abbildung 9b: Postoperative Gewichtsverteilung nach BMI-Perzentilen .....	37
Abbildung 10: Präoperativer Lachman-Test in Narkose.....	40
Abbildung 11: Begleitpathologien bei VKB-Ruptur nach Ort der Läsion.....	41
Abbildung 12: Lokalisation und Art der Außenmeniskusläsion, (n = 14).....	42
Abbildung 13: Größenverteilung der femoralen Interferenzschraube in Millimeter, (n = 10).....	44
Abbildung 14: Größenverteilung der tibialen Interferenzschraube in Millimeter, (n = 26) .....	45
Abbildung 15: Verteilung der Transplantatdurchmesser in Millimeter,(n = 26) .....	46
Abbildung 16: Dauer des postoperativen stationären Aufenthaltes in Tagen .....	47
Abbildung 17: Vordere Schublade am operierten Knie bei Follow-up .....	49
Abbildung 18: Lachman-Test am operierten Knie bei Follow-up .....	50
Abbildung 19: Pivot-Shift-Test am operierten Knie bei Follow-up. ....	50
Abbildung 20: Varus- und Valgusstress am operierten Knie bei Follow-up in Millimeter .....	51
Abbildung 21: Postoperativ ausgeübte sportliche Aktivität.....	53
Abbildung 22: Postoperativ ausgeübte Sportarten.....	53
Abbildung 23: Seitendifferenz zwischen gesundem und operiertem Knie in Millimeter .....	55
Abbildung 24: Ergebnis IKDC-Gruppengrade zur Beurteilung der Kniefunktion .....	56
Abbildung 25: Ergebnis Lysholm-Score.....	57

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zum Zeitpunkt der Verletzung ausgeübte Sportart nach Einteilung in Kontakt und Nicht-Kontakt-Situation.....	38
Tabelle 2: Auswertung der Knie-Scores (Mittelwert Standardabweichung) in Abhängigkeit des Transplantatdurchmessers, n = Patientenzahl.....	46
Tabelle 3: Auswertung der Knie-Scores bei Patienten mit überdurchschnittlich langem stationären Aufenthalt.....	48
Tabelle 4: Subjektives muskuläres Defizit, n = Patientenzahl.....	52

**Einleitung:** Die optimale Versorgung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen wird weiterhin kontrovers diskutiert. Aufgrund der offenen Wachstumsfugen können potenziell postoperative Wachstumsstörungen entstehen. Ziel dieser Studie ist die Evaluation des funktionellen Ergebnisses der transphysealen VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen.

**Methoden:** Aus einem Patientenkollektiv von 75 Patienten unter 18 Jahren, die sich im Zeitraum von 2001 bis 2012 einer VKB-Rekonstruktion aufgrund einer intraligamentären VKB-Ruptur unterzogen haben, wurden 37 Patienten mit zum Operationszeitpunkt offenen Wachstumsfugen in die retrospektive Studie eingeschlossen. Davon konnten 26 klinisch nachuntersucht werden. Im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung wurden u.a. eine Beinlängenmessung, Umfragen mittels kniespezifischer Fragebögen wie dem IKDC 2000, dem Lysholm-Score und dem KOOS sowie eine Messung der tibialen Translation mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer durchgeführt.

**Ergebnisse:** Durchschnittlich beträgt das Follow-up 47 Monate  $\pm$  26 (range, 13-84). Es zeigte sich bei keinem der untersuchten Patienten eine postoperative Beinlängendifferenz. Als Begleitpathologien der VKB-Ruptur zeigten sich 8 versorgungspflichtige Außenmeniskusläsionen (31 %) sowie 3 Innenmeniskusläsionen (12 %). Das durchschnittliche Ergebnis des Lysholm-Scores betrug  $96,4 \pm 8,5$  (range, 62-100). Im Mittel zeigte sich ein IKDC-Score von  $91,1 \pm 7,5$  (range, 70,1-100). Der durchschnittliche KOOS ergab ein Ergebnis von  $94 \pm 5,6$  (range, 84,8-100). Insgesamt kam es zu 5 revisionspflichtigen Rerupturen des VKB-Ersatzes (19 %). Der Mittelwert der Seitendifferenz der instrumentellen Messung der vorderen Translation mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer betrug  $1,9 \text{ mm} \pm 0,95$  (range, 0-3,5). Im Durchschnitt wurde auf der betroffenen Seite eine tibiale Translation von  $9 \text{ mm} \pm 3$  (range, 4-13) gemessen.

**Schlussfolgerung:** Die transphyseale VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zeigt ein gutes klinisches Ergebnis. Durch die verwendete Operationstechnik kam es in dem von uns untersuchten Patientengut zu keiner Beinlängendifferenz. Die Revisionsrate ist jedoch hoch.



**Introduction:** The optimal treatment for injuries of the anterior cruciate ligament in patients with open physes remains controversial, as surgical treatment may lead to potential leg-length discrepancy and growth disturbance. The aim of the study was to evaluate the clinical and functional results after transphyseal ACL reconstruction in patients with open physes.

**Methods:** Out of 75 patients (< 18 years of age), who underwent ACL reconstruction after intraligamentary ACL rupture between 2001 and 2012, we identified 37 patients who matched our inclusion criteria. Out of these 37 patients, who had radiologically open physes at the time of surgery, 26 patients were enrolled in this study. In the follow-up examination we investigated possible leg-length discrepancy, knee-specific scores such as KOOS, Lysholm-Score and IKDC 2000 and carried out a clinical examination including measurement with the knee arthrometer KT-1000®.

**Results:** The mean follow-up was 47 months  $\pm$  26 (range, 13-84). There was neither a leg-length discrepancy nor a leg-deviation in the whole study group. 8 patients (31%) with lateral meniscal tear and 3 patients (12%) with a medial meniscus tear required surgery at the time of ACL reconstruction. The mean Lysholm-Score was  $96.4 \pm 8.5$  (range, 62-100), the mean KOOS was  $94 \pm 5.6$  (range, 84.8-100). The mean IKDC 2000 was  $91.1 \pm 7.5$  (range, 70.1-100). There were 5 patients who had a re-rupture of the reconstructed ACL (19%). The tibial translation examined with the KT-1000® arthrometer of the injured knee was  $9 \text{ mm} \pm 3$  (range, 4-13). The average of the side-to-side difference of the tibial translation was  $1.9 \text{ mm} \pm 0.95$  (range, 0-3.5).

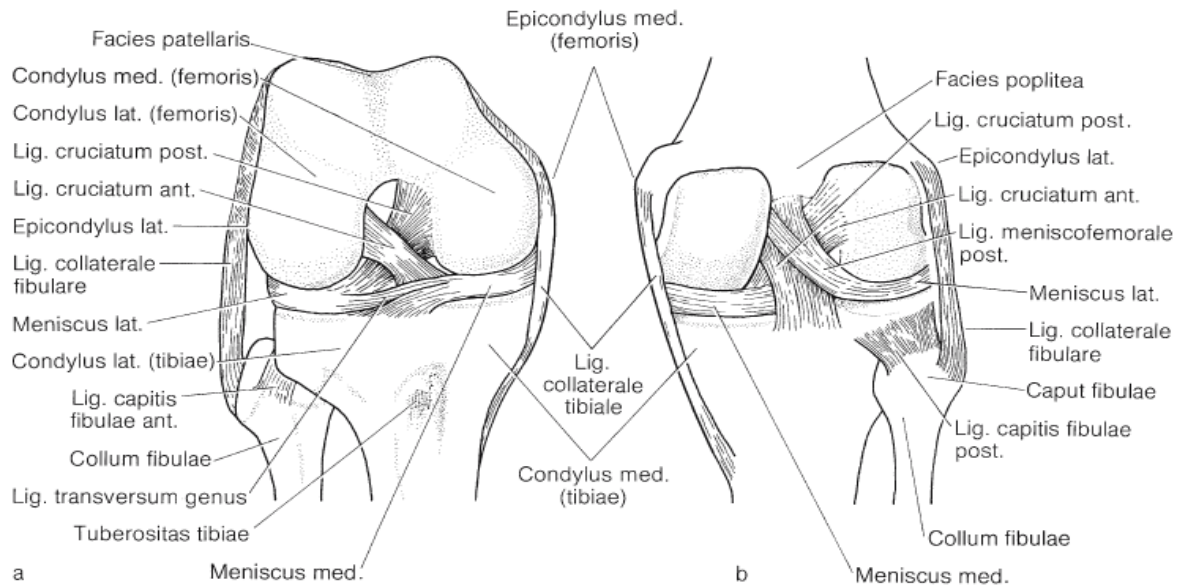
**Conclusion:** The transphyseal ACL reconstruction in patients with open physes shows a good clinical result with no leg-length discrepancy in the whole study group. However, there is still a high rate of complications.

## **1 Einleitung**

Die vordere Kreuzbandruptur im kindlichen Knie ist ein hochaktuelles Thema, dessen wissenschaftliche Aufarbeitung in den letzten Jahren einen deutlichen Aufschwung erlebt hat. Die operative Versorgung dieser Verletzungsentität birgt spezielle Risiken, die in der kindlichen Anatomie des Kniegelenks begründet sind. Aufgrund der potenziellen Verletzung der benachbarten Wachstumsfugen wurde bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen lange Zeit zu einer konservativen Behandlung der VKB-Ruptur tendiert. Aufgrund des hohen Aktivitätsanspruches von Kindern und den unbefriedigenden Ergebnissen nach konservativer Therapie hat die operative VKB-Rekonstruktion in den letzten Jahren jedoch an Bedeutung gewonnen. In der epidemiologischen Studie über die gesamten VKB-Rekonstruktionen bei Kindern im Bundesstaat New York, USA, von Dodwell et al.(1) aus dem Jahr 2014 zeigte sich ein deutlicher Anstieg der Zahl dieser Operationen seit 1990. Das Fehlen vergleichbarer Studien in Deutschland und Europa unterstreicht die Notwendigkeit der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen und ihrem Ergebnis.

### **1.1 Anatomie des Kniegelenks**

Das Kniegelenk ist nach einer Studie von Segesser et al. (2) mit 35 % das am häufigsten verletzte Gelenk. Die artikulierenden Knochen des Kniegelenks (Femur, Tibia und Patella) stehen über die gemeinsame Gelenkkapsel in Verbindung. Zur Sicherung der knöchernen Strukturen dient die Oberschenkelmuskulatur und der komplexe Bandapparat aus Außenbändern (Lig. popliteum obliquum und arcuatum, Lig. patellae, Retinaculum patellae, Ligg. collaterale) und Binnenbändern (Ligg. cruciata genus, Lig. transversum genus, Lig. meniscofemorale posterius). Die Kreuzbänder liegen innerhalb der Gelenkkapsel (in der Subintima der Membrana synovialis), aber außerhalb des Gelenks, da sie keinen direkten Kontakt zur Gelenkflüssigkeit haben.



**Abbildung 1:** Anatomie des Kniegelenks, a) Ansicht von vorne, b) Ansicht von hinten (3), mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags

### 1.1.1 Anatomische Besonderheiten bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen

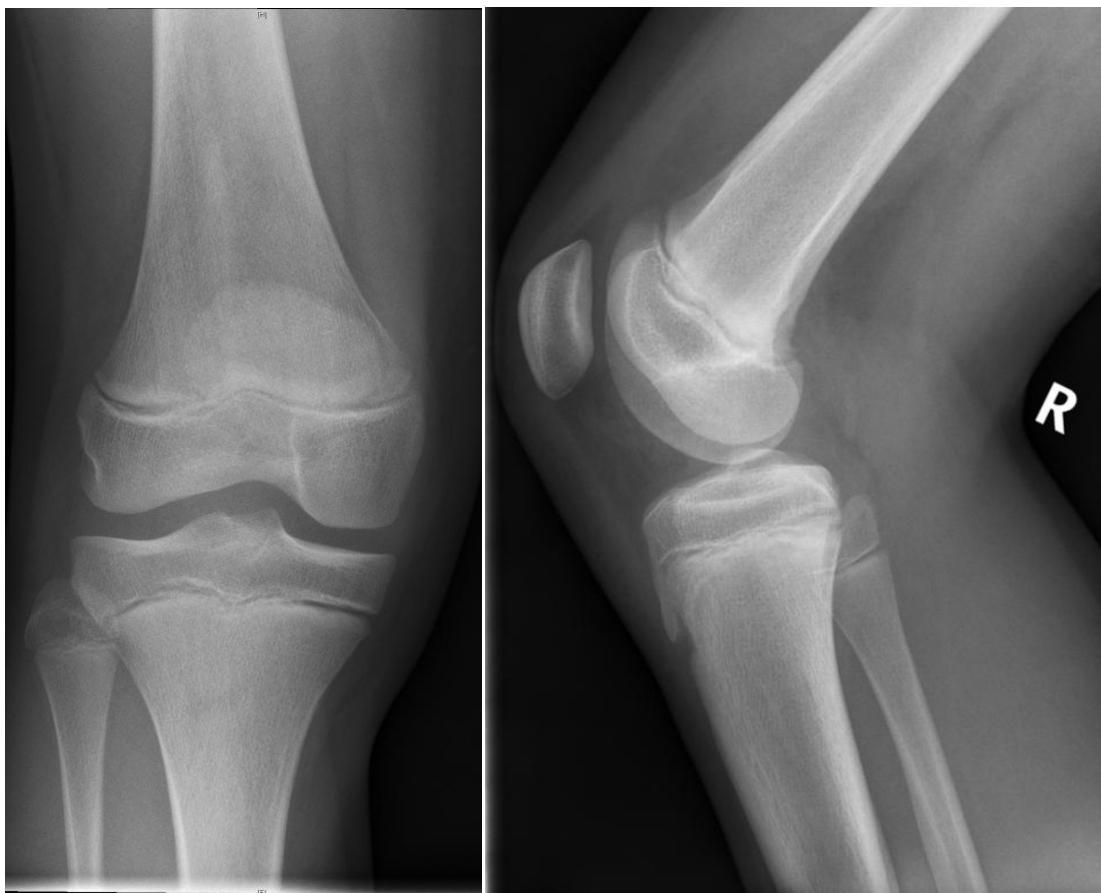
Laut Seil et al. (4) ist das Kniegelenk von Geburt an bis zum Schluss der Wachstumsfugen als „kindlich“ zu betrachten und so zu behandeln. Als Besonderheit bei Kindern zeigt sich eine physiologische, valgische Beinachse, die zumindest bei Erwachsenen als Risikofaktor für eine VKB-Ruptur zu werten ist (5). In Studien zur klinischen Messung der Beinachse zeigen sich unterschiedliche physiologische Valguswerte von 5,5° bis 9°. Sowohl Arazi et al. als auch Cahozac et al. haben in ihren Studien herausgefunden, dass Jungen im Alter von 13 Jahren eine geringere Ausprägung der Valgusstellung haben als Mädchen und dass der Grad der Valgusstellung mit zunehmendem Alter sinkt (6, 7).

Eine weitere in der Literatur diskutierte Besonderheit bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen mit VKB-Ruptur ist eine geringere Notch-Weite. Als Notch wird der Raum zwischen den beiden Femurkondylen bezeichnet. In unterschiedlichen Studien wurde bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen mit VKB-Ruptur im MRT eine geringere Notch-Größe als bei gesunden, gleichaltrigen Patienten gemessen (8, 9).

### 1.1.2 Wachstumsfugen im Kniegelenk

Die Wachstumsfugen sind jeweils proximal und distal angelegte Wachstumszonen des Knochens, die durch enchondrale Ossifikation aus hyalinem Knorpel für das interstitielle

Längenwachstum sorgen. Die Wachstumsfuge an sich liegt zwischen Epi- und Metaphyse und ist in unterschiedliche Zonen eingeteilt, wobei die oben genannte enchondrale Ossifikation in der der Epiphyse zugewandten Proliferationszone erfolgt. Die Knochenkerne der Epi- und Apophysen entstehen, im Vergleich zu den bereits in der Fetalperiode primär entstandenen Knochenkernen, sekundär nach der Geburt. Mit dem Schluss der Epiphysenfuge ist das Längenwachstums abgeschlossen (3, 10). Die femoralen und tibialen Wachstumsfugen sind für den Großteil des Längenwachstums (62 %) des Skelettes verantwortlich. 70 % des femoralen Längenwachstums werden durch die distale femorale Wachstumsfuge erbracht (11). Für die nachfolgend thematisierte VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen sind zwei histomorphologische Besonderheiten zu erwähnen. Der perichondrale Ring von LaCroix dient der Verankerung des epiphysären Knorpels, und zwar sowohl an der Metaphyse als auch am Periost. Der Ranvier-Schnürring ist eine Reservezone von Knorpelzellen, die für das Breitenwachstum verantwortlich ist (12). Laut Seil et al. gilt es, diese Strukturen zu schonen, um Wachstumsstörungen nach VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zu vermeiden (13).



**Abbildung 2:** 12-jähriger Patient mit offenen Wachstumsfugen im Röntgen



**Abbildung 3:** 12-jähriger Patient mit offenen Wachstumsfugen in der MRT (T1 FSE Sag)

### 1.1.3 Anatomie des vorderen Kreuzbandes

Die Kreuzbänder liegen im Zentrum des Kniegelenks, in der Fossa intercondylaris. Der Verlauf des vorderen Kreuzbandes ist von der medialen Fläche der lateralen Femurkondyle zur Area intercondylaris anterior der Tibia. Man unterscheidet zwischen anteromedialem (AM-) Bündel und posterolateralem (PL-) Bündel, da diese sich bei Bewegung unterschiedlich verhalten (14). In Beugung ist das AM-Bündel, in Streckung das PL-Bündel gespannt (15-17). Hauptaufgabe der Kreuzbänder ist die Stabilisierung des Kniegelenks und die Verhinderung einer tibialen Translation gegen das Femur. Die Blutversorgung des vorderen Kreuzbandes wird proximal durch die A. genus media und distal durch Äste der A. inferior medialis und lateralis genus gewährleistet (18). Histologisch besteht das vordere Kreuzband aus kollagenem Bindegewebe (Typ-I-Kollagen) und im Ansatzbereich aus Faserknorpel (14) .

### 1.2 VKB-Rupturen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen

Bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen gibt es neben den oben genannten anatomischen auch epidemiologische Besonderheiten, welche nachfolgend erörtert werden.

### 1.2.1 Epidemiologie

Die Zahl der Rupturen des vorderen Kreuzbandes wird in der Literatur als steigend angegeben (19, 20). Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist mit 70 % im Alter zwischen 15 und 45 Jahren eine Verletzung eines jüngeren Patientengutes (20), wobei die höchste Inzidenz zwischen 15 und 25 Jahren liegt (21). Collins et al. (22) haben in ihrer Studie zur Rolle des Alters, des Geschlechts und der Herkunft in Bezug auf die VKB-Ruptur und deren Rekonstruktion herausgefunden, dass sich jüngere Patienten (20 bis 29 Jahre) mit 45 % häufiger als ältere einer VKB-Rekonstruktion unterziehen. Als Erklärung für das hohe Vorkommen von VKB-Rupturen sowie deren Operation im Kindes- und Jugendalter wird ein gesteigertes und leistungsorientiertes Aktivitätslevel sowie die Teilnahme an Hochgeschwindigkeitssportarten beschrieben (21).

Laut McCarrol et al. treten 3,3 % aller VKB-Rupturen bei jungen Athleten auf (23). Zwei Drittel der Verletzungen sind bei der Untersuchung von Strand et al. (24) in Nicht-Kontakt-Situationen entstanden. In der Studie von Myklebust et al. an norwegischen Profi-Handballern sind mit 82% weibliche Athleten deutlich häufiger betroffen als männliche (25).

Die häufigste Art der Kreuzbandruptur im Kindesalter sind die knöchernen, tibialen VKB-Ausrisse, die zu 80 % bei Patienten unter 12 Jahren auftreten (26). Bei 90 % aller Bandverletzungen des vorderen Kreuzbandes sind die Patienten älter als 12 Jahre (26). Luhmann hat in einer prospektiven Untersuchung der Ursache von Kniegelenksergüssen bei 44 Patienten festgestellt, dass 29 % davon eine VKB-Ruptur erlitten hatten (27). Bei Eiskjaer et al. liegt diese Zahl bei 45 % (28). Stanitski et al. haben in ihrer Analyse zum Thema Hämarthros im kindlichen Knie herausgefunden, dass 70 % aller blutigen Ergüsse im kindlichen Knie durch Sportverletzungen hervorgerufen wurden und 63 % eine akute VKB-Ruptur als Ursache hatten (29). Laut Luhmann et al. zeigt sich hinsichtlich der Inzidenz der VKB-Ruptur bei Patienten mit traumatischem Kniegelenkserguss ein deutlicher Unterschied in Bezug auf das Geschlecht. Bei den untersuchten Jungen zeigte sich mit 52 % deutlich häufiger eine VKB-Ruptur als bei den untersuchten Mädchen (16 %) (27).

### 1.2.2 Anamnese und Diagnostik

Um die Diagnose der vorderen Kreuzbandruptur stellen zu können, erfolgt zunächst eine ausführliche Anamnese des Unfallherganges und der Beschwerdesymptomatik. Zunächst sollte abgeklärt werden, ob es sich um ein akutes oder um ein chronisches Geschehen handelt (30). Darüber kann eine Rekonstruktion des Unfallherganges Aufschluss geben, da die VKB-Ruptur durch typische Bewegungsabläufe in Risikosportarten wie Fußball, Handball, Basketball und Volleyball verursacht werden kann (20). Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes wird hauptsächlich

- durch Rotationsbewegungen
- durch Stellungen, in denen das Knie hyperflektiert oder hyperextendiert ist,
- durch Translationsbewegungen
- oder durch Varus- oder Valguseinwirkung

verursacht (31). Die typischen Symptome einer VKB-Ruptur können in „akut“ und „chronisch“ unterteilt werden. Zu den akuten zählen Kniegelenkserguss, Rupturgeräusch und Zerreißungsgefühl während des Unfalls, Schmerzen in der Kniekehle, Hemmung der Extension und Flexion sowie Blockierungsgefühl und Instabilität (31). Ein akuter Hämarthros nach Trauma bei Kindern bedarf einer genauen Untersuchung (21). Zeichen einer chronischen VKB-Ruptur können Gangunsicherheit, „Giving way“ als Leitsymptom bei chronischen VKB-Rupturen (32), Instabilität, Verschiebegefühl von Oberschenkel gegen Unterschenkel und Kniegelenkserguss sein. Wichtig ist, dass die Planung der Behandlung sowohl von der Anamnese und dem klinischen Befund als auch von der Erwartung des Patienten und der Familie abhängig ist (32). Hierbei sollte das sportliche Aktivitätsniveau des Patienten vor der Verletzung erfasst werden, das für das Ergebnis der VKB-Rekonstruktion ein wichtiger Verlaufparameter ist (33-35).

Die Beurteilung eines verletzten Knies beinhaltet die Inspektion und die klinische Untersuchung im Vergleich zur gesunden Seite (31). Die aktive und passive Beweglichkeit des Kniegelenks kann durch die Verletzung bzw. durch die damit verbundenen Schmerzen, intraartikuläre Ergüsse oder muskuläre Verspannungen eingeschränkt sein (20). Eine große differentialdiagnostische Bedeutung ist den funktionellen Tests wie dem Lachman-Test, dem Pivot-Shift-Test, dem Varus- und

Valgusstress-Test, dem Schubladentest sowie den zahlreichen Meniskus-Tests zuzuschreiben. Häufig ist die klinische Untersuchung in der Akutsituation aufgrund von Schmerzen und Schwellungen jedoch nur eingeschränkt durchführbar. Standardmäßig werden Röntgenbilder (Kniegelenk in 2 Ebenen, Patella axial) sowie eine MRT des Kniegelenks gemacht.

### **1.2.3 Differentialdiagnosen der VKB-Ruptur im Kindes- und Jugendalter**

Bei Verletzungen des kindlichen Kniegelenkes sind folgende Verletzungen differentialdiagnostisch zu beachten:

- Patellaluxationen mit ihren Begleitverletzungen (Verletzungen des MPFL, osteochondrale Läsionen an medialer Patella und lateralem Femur)
- Seitenbandrupturen
- Meniskusläsionen
- Verletzungen der Plica mediopatellaris
- knöcherne Ausrisse des VKB (21).

Hierbei handelt es sich meist um einen tibialen Ausriss des knöchernen VKB-Ansatzes, da die ligamentären Strukturen noch stabiler als die knöchernen, epiphysären Anteile sind (36). Eine anerkannte Einteilung der tibialen Ausrissfrakturen wurde 1959 von Meyers und McKeever beschrieben (37). Nach dieser Klassifikation unterscheidet man drei Typen der Eminentiafraktur:

- Typ I: undislozierte Fraktur
- Typ II: hängende Fraktur
- Typ III: dislozierte Fraktur.

### **1.3 Therapiemöglichkeiten der ligamentären VKB-Ruptur bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen**

Grundsätzlich gibt es bei VKB-Rupturen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen wie beim Erwachsenen die Möglichkeit einer konservativen und einer operativen Therapie.



### 1.3.1 **Konservative Therapie**

Aufgrund der Sorge um eine iatrogene Verletzung der Wachstumsfugen wurde in der Vergangenheit häufig eine konservative Therapie von VKB-Rupturen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen bevorzugt. Diese tritt durch den Wissenszuwachs der letzten Jahre zunehmend in den Hintergrund. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die konservative Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur im Kindesalter zu einer persistierenden Instabilität, Knorpelschäden oder Meniskusverletzungen führt oder nachfolgende VKB-Rekonstruktionen im Erwachsenenalter notwendig macht und somit zu unbefriedigenden Ergebnissen führt (38-41).

### 1.3.2 **Operative Therapie**

Die operative Therapie der VKB-Ruptur bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen wird in „fugenschonend“ und „fugendurchbohrend“ eingeteilt. In der Literatur werden verschiedene fugenschonende Methoden beschrieben. Diesen ist gemein, dass die Wachstumsfuge an sich nicht durchbohrt wird und die Fixierung des Transplantates außerhalb der Fuge entweder epiphysär oder extraphysär erfolgt. Es gibt einige Studien zur fugenschonenden Methode mit positiven Ergebnissen (42-44), jedoch haben Frosch et al. in einer Metaanalyse herausgefunden, dass das Risiko für Wachstumsstörungen nach fugenschonender Methode signifikant höher (5,9 %) als nach transphysealer VKB-Rekonstruktion (1,9 %) ist (45).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der fugendurchbohrenden Methode, die als „transphyseale VKB-Rekonstruktion“ bezeichnet wird. Die transphyseale VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen wurde in zahlreichen Studien mit guten Ergebnissen untersucht. Bei dieser Technik wird die tibiale und die femorale Wachstumsfuge durchbohrt. Um nachfolgenden Wachstumsstörungen vorzubeugen, sollten bei der Operation bestimmte Schritte beachtet werden. Für den femoralen Bohrkanal wird eine möglichst zentrale und vertikale Platzierung des Bohrkanals empfohlen, da es dadurch zu einer geringeren Fugenläsion kommt. Hinsichtlich des tibialen Bohrkanals wird empfohlen, im Bereich des VKB-Footprints ebenso möglichst zentral in der Wachstumsfuge zu bohren (46).

### 1.3.3 Transplantate

In dem systematischen Review von Samuelsson et al. konnte trotz der Fülle an beurteilten Artikeln keine einheitliche Empfehlung zur Transplantatwahl für die VKB-Rekonstruktion bei Erwachsenen gegeben werden (47). Stecker et al. haben in ihrer vergleichenden Untersuchung der Transplantate festgestellt, dass alle heute verwendeten Transplantate dem intakten VKB in Bezug auf Reißfestigkeit überlegen oder gleichwertig sind (48). Wichtig für die Transplantatwahl im Allgemeinen ist, dass der VKB-Ersatz eine geringe Entnahmemorbidität aufweist und das Transplantat strukturell dem nativen Kreuzband nahekommt (20).

Sowohl die bei erwachsenen Patienten verwendete Patellarsehne als Bone-Patellar-Tendon-Bone-Transplantat mit Knochenblöcken aus Patella und Tibia als auch die Quadricepssehne werden aufgrund der hohen Entnahmemorbidität und der Verwendung von Knochenblöcken in der VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen nur eingeschränkt verwendet.

Neben körpereigenen Sehnen können auch Allografts als VKB-Ersatz verwendet werden. Diese kommen jedoch vorwiegend bei Revisionsoperationen oder komplexen Verletzungsmustern zur Anwendung und unterliegen strengen Richtlinien (20). Laut Engelman et al. haben Allografts im Vergleich zu körpereigenen Sehnen bei transphysealen VKB-Rekonstruktionen bei Kindern eine höhere Transplantatversagerquote, sodass die Verwendung von autologen Sehnen bei Kindern empfohlen wird (49). Goddard et al. haben 32 Kinder nachuntersucht, denen als allogenes Transplantat die Hamstringsehne („living donor“) eines Elternteils implantiert wurde. Zwei Jahre postoperativ konnten 93 % der Kinder wieder einer anstrengenden sportlichen Aktivität nachgehen, insgesamt kam es nur zu 2 Rerupturen innerhalb dieser Follow-up-Phase (50). Die Verwendung von allogenen Lebendspenden eines Elternteils ist eine vielversprechende Methode und bedarf weiterer Studien.

Im kindlichen Knie werden als VKB-Ersatz vorwiegend die Sehnen des M. semitendinosus und gegebenenfalls des M. gracilis verwendet. Durch die Zusammenlegung von mehreren Strängen der Sehne kann die Reißfestigkeit deutlich gesteigert werden. Hamner et al. (51) haben in ihren biomechanischen Versuchen gezeigt, dass die Reißfestigkeit um 1800 N gesteigert wird, wenn man eine Kombination

aus vierfacher Semitendinosus- und Gracilissehne statt zweifacher Semitendinosussehne heranzieht. Der Transplantatdurchmesser ist also für die Reißfestigkeit des VKB-Ersatzes ausschlaggebend und kann mittels Körpergröße berechnet werden (52). Tuman et al. haben herausgefunden, dass die Körpergröße ein statistisch signifikanter Vorhersagewert für den Durchmesser der Hamstringsehne ist (52). Bei Patienten mit einer Körpergröße unter 147 cm hat die vierfache Hamstringsehne einen Durchmesser von weniger als 7 mm (52).

Einer der wichtigsten Faktoren, der für die Wahl von Hamstringsehnen spricht, ist die geringere Entnahmemorbidity im Vergleich zur Patellarsehne (47). Als Nachteil wird in der Literatur die Abnahme der Beugekraft und der Innenrotation diskutiert (53-57). In der Studie von Yasuda et al. kam es durch die Sehnenentnahme postoperativ zu einer signifikanten Abnahme der Beugekraft über einen Zeitraum von einem Monat (bei Entnahme auf der Gegenseite der VKB-Rekonstruktion) bis zu 9 Monaten (bei ipsilateraler Entnahme) (53). Segawa et al. und Gobbi et al. haben herausgefunden, dass Frauen stärker von diesen Auswirkungen betroffen waren und die zusätzliche Entnahme der Gracilissehne zu einer stärkeren Verminderung der Innenrotation führt (56, 57). Die Hamstringsehnen sind Mittel der Wahl bei der kindlichen Kreuzbandrekonstruktion (20) und wurden bei allen von uns untersuchten Patienten verwendet.

#### **1.3.4 Fixierungsmöglichkeiten**

Die Transplantatfixierung bestimmt den Erfolg der VKB-Rekonstruktion wesentlich mit und steht im Mittelpunkt zahlreicher biomechanischer Studien. Um das eingesetzte Sehnentransplantat zu fixieren, gibt es je nach Operationstechnik unterschiedliche Möglichkeiten. Kurosaka et al. haben in ihrer biomechanischen Studie gezeigt, dass die Fixierungsmöglichkeit das „schwächste Glied“ in der VKB-Rekonstruktion ist (58). Laut Weiler et al. (59) ist die Fixierung der VKB-Rekonstruktion der „kritischste Faktor in den ersten postoperativen Wochen bis das Transplantat komplett im Knochentunnel eingeheilt ist“. Schwierigkeiten bestehen in der Interpretation von Studien am Tiermodell und deren Übertragbarkeit auf den Menschen. Um die Vergleichbarkeit biomechanischer Studienergebnisse vom Tier mit jenen beim Menschen gewährleisten zu können, muss zum Beispiel die Knochendichte des verwendeten Materials beachtet werden, da diese die Biomechanik deutlich beeinflusst (20). Um diese Ergebnisse auf

kindliche VKB-Fixierungen übertragen zu können, werden in Studien Rinder- und Schweineknie verwendet, da deren Knochendichte jener junger Menschen entspricht (59).

Bei der Fixierung müssen drei unterschiedliche Kompartimente betrachtet werden: der femorale Anteil, das Transplantat und der tibiale Anteil. In der Literatur werden zahlreiche Fixierungsarten unterschieden, unter anderem die direkte und die indirekte Fixierung sowie die anatomische und die nicht-anatomische Fixierung (in Abhängigkeit von der Lage zur Gelenklinie), wobei die nicht-anatomische Fixierung als außerhalb des Gelenks bezeichnet wird. Die direkte Fixierung erfolgt mittels Schraubenfixierung. Bei der indirekten Fixierung wird auf ein zusätzliches Fixierungselement wie zum Beispiel den Endobutton® (Smith & Nephew, Andover, USA) zurückgegriffen, über den eine Fixierung mittels Faden möglich ist. Die EndoPearl® (Linvatec, Largo, USA) wird mittels Faden an das Ende des Transplantats geknüpft und dient der Verstärkung der Interferenzschraube (60). Da man im kindlichen Knie Implantate in der Nähe der Wachstumsfugen vermeiden will, erfolgt eine eher extrakortikale, nicht-anatomische Fixierung. Zu beachten ist, dass die gewählte Fixierungsmöglichkeit des Transplantates möglichst der Kraft (454 N laut Noyes et al.), der das intakte VKB ausgesetzt ist (58, 61) standhalten muss. Studien am Schafsmodell (62, 63) zeigten, dass die Wahl des Fixierungsmaterials einen Einfluss auf die Steifigkeit und die Kraft des fixierten Transplantates hat. In der aktuellen Literatur gibt es keine definierte Aussage darüber, welche die beste Fixierungsmethode ist (64), da die klinischen Studien ein meist ähnlich gutes Ergebnis zeigen. Femoral zeigen sich die indirekten Fixierungsvarianten wie der Endobutton als Fixierungsmöglichkeit der Wahl, tibial wird die Interferenzschraube in der Literatur als am häufigsten verwendetes Fixierungsmaterial beim Erwachsenen beschrieben (64).

#### **1.4 Wachstumsstörungen nach VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen und technische Besonderheiten der Operation**

In der Literatur werden unterschiedliche Achsabweichungen des Knies wie Genu varum und Genu valgum sowie eine Beinlängendifferenz als mögliche Wachstumsstörungen nach VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen beschrieben (45, 65). Kocher et al. (65) haben in einer Befragung von 140 Mitgliedern der „ACL Study

Group“ und der „The Herodicus Society“ herausgefunden, dass bei 15 Patienten Wachstumsstörungen nach VKB-Rekonstruktion auftraten. 80 % der Wachstumsstörungen waren femoral, 20 % tibial bedingt und beinhalteten distale femorale Valgusdeformitäten und Beinlängendifferenzen. In einer von Frosch et al. durchgeführten Metaanalyse wurden bei 2 % der 935 untersuchten Patienten Wachstumsstörungen nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nachgewiesen (45). Laut Frosch et al. hat die transphyseale VKB-Rekonstruktion ein signifikant niedrigeres Risiko in Bezug auf Wachstumsstörungen im Vergleich zur fugenschonenden Technik (45). Im systematischen Review von Vavken et al. (38) wurden bei 479 Patienten, die mittels transphysealer VKB-Rekonstruktion versorgt wurden, nur insgesamt 5 Wachstumsstörungen beschrieben (1 %).

Ein anderer Faktor, der bei der VKB-Rekonstruktion beachtet werden muss, ist, wie viel Prozent der Wachstumsfuge bei der Durchbohrung verletzt werden. Mäkelä et al. haben im Kaninchenmodell gezeigt, dass es bei einer Verletzung der femoralen Wachstumsfuge von mehr als 7 % der Querschnittsfläche zu Wachstumsstörungen kommen kann (66). Betrachtet man die Wachstumsfuge im a. p. Röntgenbild, stellt man fest, dass diese 7 % eine Fläche von 20 % in der Breite bedeuten (13). In der Studie am Tiermodell von Seil et al. wird der Ort der Verletzung der Wachstumsfugen, der folglich zu Wachstumsstörungen führen kann, präzisiert. Genannt werden der perichondrale Ring von Lacroix am Rand der Fuge und der Ranvier-Schnürring als zu schonender Fugenbereich (67). In Hinblick auf die potenzielle Gefahr einer Wachstumsstörung ist die Studie von Barash et al. (68) zu erwähnen, die zeigt, dass die Gefahr von Wachstumsstörungen größer ist, je kleiner das verbleibende Wachstumspotenzial ist.

Außerdem muss die Wahl des Transplantats und die Lage der Bohrkanäle bei der Evaluierung der postoperativen Wachstumsstörungen beachtet werden. Bei Frosch et al. ist das Risiko für eine Beinlängendifferenz oder eine Achsenabweichung bei BPTB-Transplantaten mit 3,6 % höher als das bei Hamstringsehnen (1,9 %) (45). In der Studie der ACL Study Group hatten 8 von 15 Patienten mit Wachstumsstörungen eine Valgusdeformität. Diese war durch den vorzeitigen Fugenschluss der lateralen distalen Wachstumsfuge des Femur bedingt (65). Seil et al. haben im Schafsmodell gezeigt, dass es durch den transphysealen Bohrkanal in der posterolateralen Wachstumsfuge des Femur zu einem vorzeitigen Fugenschluss und einer nachfolgenden Valgusdeformität von 12,8° gekommen ist (67). Für die operative Versorgung bedeutet

dies, dass nach dorsal eine ausreichend große Knochenbrücke erhalten bleiben muss (69).

Im oben genannten Tierversuch von Seil et al. wurde zusätzlich festgestellt, dass das Transplantat auf Höhe der Wachstumsfuge liegen sollte, da aus leeren Bohrkanälen - genauso wie aus einer zu dorsalen Lage des Bohrkanals - eine Achsabweichung - in diesem Falle ein Genu valgum - resultieren kann (67). Weitere Ursachen für die Ausbildung eines Genu valgums können laut Kocher et al. Fixierungsmaterialien oder Knochenblöcke im Kontakt mit der Fuge, ein zu großer Tunneldurchmesser, eine randständige Verletzung der femoralen Fuge durch die Over-the-top-Fixierung im Femur oder eine laterale, extraartikuläre Fixierung der Sehne sein (65).

Das Genu varum nach VKB-Rekonstruktion kommt im Vergleich zum Genu valgum seltener vor (69). In der Metaanalyse von Frosch et al. (45) kam es bei 941 VKB-Rekonstruktionen postoperativ zu nur einem Genu varum. In der Fallstudie von Kumar et al. (70) konnte nach VKB-Rekonstruktion bei 32 Kindern keine Beinlängendifferenz gemessen werden. Nach Fabricant et al. (11) zeigt die transphyseale VKB-Rekonstruktion ein gutes Ergebnis ohne klinisch relevante Beinlängendifferenzen mit einem mittleren IKDC-Score von 91,5 und einem durchschnittlichen Lysholm-Score von 93,5. Anhand der Studien von Fabricant, Kumar und Frosch et al. (11, 45, 70) wird gezeigt, dass klinisch relevante Beinlängendifferenzen nach transphysealer VKB-Rekonstruktion als selten einzustufen sind, jedoch bei der Nachuntersuchung unbedingt beachtet werden müssen.

## **1.5 Ziel der Arbeit und Fragestellungen**

Ziel dieser Arbeit ist die Evaluation des klinischen Ergebnisses nach transphysealer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen. Dabei sollen folgende Fragen untersucht werden:

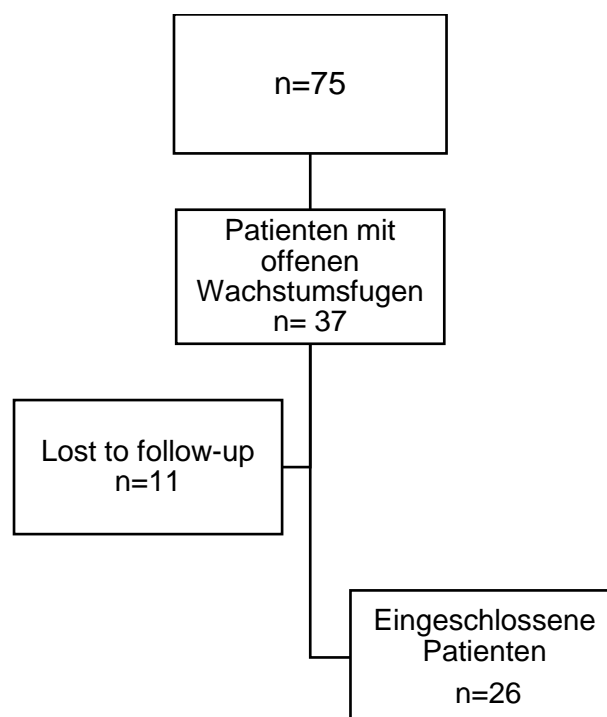
- Wie ist die objektive und subjektive Funktion des Knies nach transphysealer VKB-Rekonstruktion mit vierfacher Semitendinosussehne bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen?
- Ist eine Rückkehr zum ursprünglichen Aktivitätsniveau möglich?
- Sind postoperative Wachstumsstörungen nach transphysealer VKB-Rekonstruktion bei offenen Wachstumsfugen zu erwarten?

- Wie hoch ist die Komplikationsrate?

Die Hypothese ist, dass die transphyseale Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit autologer Hamstringsehne bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen ein gutes Ergebnis in Bezug auf die Kniegelenksfunktion, die postoperative Kniestabilität sowie die Rückkehr zum Sport ohne nachfolgende Wachstumsstörungen zeigt.

## 2 Patienten

Aus der Datenbank der Charité - Universitätsmedizin Berlin wurde eine Liste mit allen Patienten erstellt, die sich zwischen dem 1. Januar 2001 und dem 1. Januar 2012 einer arthroskopischen VKB-Rekonstruktion am Campus Virchow-Klinikum unterzogen haben. Es wurden sowohl männliche als auch weibliche Patienten eingeschlossen. Aus diesem Patientengut wurden 75 mögliche Patienten herausgesucht, die zum Operationszeitpunkt unter 18 Jahre alt waren. Zusätzlich wurde ein Patient aus dem Jahr 2013 in die Studie eingeschlossen. Um die Wachstumsfugen dieser Patienten zum Zeitpunkt der Operation beurteilen zu können, wurden hierbei die präoperativen Röntgenbilder (a.p.- und lateraler Strahlengang) von einem leitenden Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, einem leitenden Facharzt für Radiologie, einem Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie sowie einer Doktorandin auf ihren offenen Zustand überprüft. Danach konnten 37 Patienten mit im präoperativen Röntgenbild offenen Wachstumsfugen in die Nachuntersuchung eingeschlossen werden.



**Abbildung 4:** Patientenauswahl



## **2.1 Einschlusskriterien**

Als Einschlusskriterium wurde das Vorhandensein einer intraligamentären Ruptur des vorderen Kreuzbandes, das mit einer VKB-Plastik versorgt wurde, definiert. Keiner der Patienten hat sich vor dieser Verletzung einer anderen Operation an diesem Knie unterzogen. Zudem musste der Patient nachweislich seit dem Operationszeitpunkt gewachsen sein, um den offenen Zustand der Wachstumsfuge zu validieren.

Patienten mit Begleitverletzungen wie Meniskusläsionen oder Rupturen des Innenbandes wurden eingeschlossen.

## **2.2 Ausschlusskriterien**

Patienten mit bilateralen VKB- Rupturen, knöchernen Ausrissen des VKB, Verletzungen des lateralen Kollateralbandes, einer Ruptur des HKB sowie Verletzungen der posterolateralen Gelenkecke wurden von der Studie ausgeschlossen.

Nach Erfüllung der oben genannten Einschlusskriterien wurden die Krankengeschichte und der Operationsbericht analysiert. Dabei konnten patientenbezogene Daten wie Geschlecht, Seite der VKB-Ruptur, Alter der Patienten zum Operationszeitpunkt sowie präoperatives Gewicht und Größe, aber auch der präoperative Zustand des Knies mit Bewegungsausmaß, Druckschmerz und Erguss erfasst werden. Darüber hinaus wurden Daten wie Indikation zur VKB-Rekonstruktion, Datum der Verletzung und der Operation, Operateur/Assistent und OP-Dauer sowie sämtliche Daten zum Transplantat (Transplantatwahl, Länge, Durchmesser), zur Fixierung (femoral und tibial) und zur Versorgung von Begleitpathologien erhoben. Vor der Auswertung der Daten wurden die Tabellen anonymisiert. Die Auflagen des Datenschutzes und der guten wissenschaftlichen Praxis wurden streng eingehalten.

## **2.3 Analyse der Wachstumsfugen**

Bei den 26 nachuntersuchten Patienten wurde die Wachstumsfuge von Femur und Tibia im OP-Bericht als offen beschrieben. Als wesentliches Kriterium zur Beurteilung der offenen Wachstumsfugen zum Zeitpunkt der OP wurde das stattgehabte postoperative Längenwachstum herangezogen.

### **3 Methoden**

Neben einer ausführlichen klinischen Nachuntersuchung sowie der instrumentellen Stabilitätsmessung mit dem KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer erfolgte eine Evaluation der Kniegelenksfunktion mittels IKDC 2000, KOOS-Fragebogen und Lysholm- Score.

#### **3.1 Operationstechnik**

Die arthroskopischen VKB-Rekonstruktionen wurden am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité Berlin, Campus Virchow-Klinikum, durchgeführt.

Im Rahmen der operativen Versorgung wurden die unten genannten Stabilitätstests auch in Narkose durchgeführt und dokumentiert, da besonders Subluxationstests wie der Pivot-Shift-Test durch die muskuläre Anspannung beeinflusst werden können.

Der Patient wird nach entsprechender anästhesiologischer Vorbereitung (Vollnarkose mit entsprechender Muskelrelaxation zur Erleichterung der Sehnenentnahme) in Rückenlage gelagert. Vor der Operation wird die Blutdruckmanschette zur Blutsperre angelegt. Es erfolgt die Hautdesinfektion und das sterile Abdecken des Operationsgebietes nach hausüblicher Technik. Die Hautschnitte werden entsprechend den arthroskopischen Portalen anteromedial und anterolateral gewählt.

Zunächst erfolgt die diagnostische Arthroskopie, wobei standardmäßig das femoropatellare, das mediale und das laterale Kompartiment des Kniegelenks eingesehen werden. Hierbei werden die Menisken auf Rissbildungen überprüft und diese gegebenenfalls versorgt. Im Falle einer residuellen Laxizität des Innenbandes wurde eine Mikroperforation nach Rosenberg durchgeführt (71). Um den genauen Ort der VKB-Ruptur erfassen und das HKB beurteilen zu können, wird die Interkondylarregion arthroskopisch aufgesucht und dargestellt.

Als Transplantat wurde die autologe, ipsilaterale Semitendinosussehne verwendet. Dazu wurde ein Hautschnitt 2 cm medial der Tuberositas tibiae angelegt und bis in die Tiefe auf die Faszie des M. sartorius präpariert. Nach der Spaltung der Sartoriusfaszie werden die Sehnen des M. semitendinosus und gegebenenfalls des M. gracilis aufgesucht. Um einen ausreichenden Durchmesser und somit eine hohe Reißfestigkeit des Transplantates (52) zu gewährleisten, wird die Semitendinosussehne vierfach genommen. Ist die Länge der vierfachen Semitendinosussehne nicht ausreichend, wird die Gracilissehne zur Augmentation eingesetzt. Nun wird die Sehne mittels Sehnenstripper entnommen, anschließend folgt die Präparation der entnommenen

Sehne. Danach wird die Sehne mit der sogenannten „Baseball-Naht“ an ihren freien Enden armiert und zweimal übereinandergelegt, sodass ein viersträngiges Transplantat entsteht. Es folgt die Vorspannung des Transplantates (zyklisch, 60 - 80 N für 3 bis 4 Minuten) und das Anbringen des Fixierungsmaterials im Falle einer extrakortikalen Fixierung. Der Bohrkanal wurde bei allen Patienten in anatomischer Einkanaltechnik angelegt. Anschließend erfolgt der Einzug des Transplantates. Die verwendeten Fixierungsmöglichkeiten werden nachfolgend beschrieben. Es folgt der schichtweise Hautverschluss sowie die Einlage einer Redondrainage. Nach elastischer Wickelung des Beins wird zum Abschluss die Blutsperre gelöst und eine Orthese angelegt.

### **3.2 Nachbehandlungsschema vorderes Kreuzband**

Die Nachbehandlung wurde nach dem Nachbehandlungsschema vordere Kreuzbandruptur der Charité (siehe Anhang) durchgeführt. Wurde bei den Patienten eine der oben genannten Begleitpathologien während der Operation mitversorgt, wurde das Nachbehandlungsschema entsprechend modifiziert.

### **3.3 Algorithmus der klinischen Nachuntersuchung**

Die klinische Nachuntersuchung fand in den Räumen der Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum, statt. Die Nachuntersuchung wurde von einer Doktorandin, einem Assistenzarzt und einem Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie durchgeführt. Bei der klinischen Untersuchung wurde eine Standardknieuntersuchung anhand des standardisierten Formblattes zur Untersuchung des Knies aus dem IKDC 2000 mit Erfassen von Erguss, Druckschmerz, einer Messung der funktionellen Beinlänge, der Beurteilung der Beinachse, der Erfassung des Bewegungsausmaßes mittels Neutral-Null-Methode sowie der unten aufgeführten funktionellen Knietests durchgeführt. Außerdem wurde eine standardisierte Messung des Muskelumfanges von Ober- und Unterschenkel vorgenommen. Hinzukommend wurden die Patienten zum präoperativen Zustand des Knies (Druckschmerz, Erguss), zur Dauer und Häufigkeit der postoperativen Physiotherapie sowie zu subjektiven Schmerzen und Komplikationen befragt. Prä- und postoperative sportliche Aktivität, subjektive Instabilität und Einklemmungserscheinungen wurden zusätzlich zu den Evaluationsbögen erfragt. Die sportliche Aktivität wurde anhand des IKDC 2000 in folgende Levels eingeteilt:

- 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
- Keine der oben genannten Aktivitäten (34, 35).

### 3.3.1 **Bewegungsausmaß**

Das aktive und passive Bewegungsausmaß wurde auf der operierten und auf der gesunden Seite mittels Goniometer nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Das physiologische Bewegungsausmaß beträgt in Extension 5 bis 10° sowie in Flexion 120° bis 150° und kann vor allem in der Flexion von einer Weichteilhemmung begrenzt sein (10). Bei Patienten mit hyperlaxen Bändern ist eine Hyperextension von bis zu 30° möglich (72). Um ein postoperatives Streckdefizit nachweisen zu können, wurde das präoperative Bewegungsausmaß aus dem OP-Bericht mit dem aktuellen Bewegungsausmaß aus der klinischen Nachuntersuchung verglichen.

### 3.3.2 **Beinlängenmessung**

Zur Bestimmung von Beinlängendifferenzen wurde die funktionelle Beinlänge auf beiden Seiten von der Spina iliaca anterior superior bis zum Malleolus medialis mit einem Maßband (Abstände 1 mm) klinisch gemessen. Ein Unterschied von > 1 cm zur Gegenseite wurde als Beinlängendifferenz gewertet. Zusätzlich wurde die aktuelle Größe der Patienten erfasst, um herauszufinden, um wie viel diese seit der Operation gewachsen sind.

### 3.3.3 **Messung von Oberschenkel- und Wadenumfang**

Um muskuläre Defizite auf der operierten Seite zu erfassen, wurde der Oberschenkelumfang 20 und 15 cm proximal und der Wadenumfang 10 cm distal des Gelenkspalts auf beiden Seiten gemessen und verglichen.

### 3.3.4 **Vorderer Schublagentest**

Das Knie des Patienten wurde in 90° Flexion durch das Sitzen des Untersuchers auf dem Fuß des Patienten fixiert. Nun wurde eine anteriore Translation von Tibia gegen Femur hervorgerufen, indem die Tibia mit beiden Händen des Untersuchers nach vorn

gezogen wird (73). Wie beim Lachman-Test wird auch hierbei die Qualität des Anschlages beurteilt (20).

### 3.3.5 Lachman-Test

Dieser Test gehört zu den Schubladentests zur Überprüfung der vorderen Instabilität des Kniegelenks und wurde erstmals von Noulis beschrieben (74). Er wird in 15° bis 30° Flexion des Kniegelenks durchgeführt und kann frei oder mit Stabilisierung durch den Oberschenkel des Untersuchers durchgeführt werden. Hierbei wird das Femur mit der Hand des Untersuchers fixiert und die Tibia nach ventral gezogen. Vom Ausmaß der vorderen Translation und der Qualität des Endpunktes kann auf eine mögliche VKB-Ruptur geschlossen werden:

- 3 mm mit festem Anschlag: intaktes VKB
- $\geq 5$  mm mit festem Anschlag: Teilruptur des VKB oder chronische Instabilität
- $\geq 10$  mm ohne Anschlag: Ruptur des VKB (20).

Laut Torg et al.(73) ist der Lachman-Test der einzige spezifische Test für den Nachweis einer Instabilität aufgrund einer VKB-Ruptur.

### 3.3.6 Varus- und Valgusstress

Durch das Ausüben eines Druckes auf die Innen- oder Außenseite des Kniegelenks wird das Bein einem sogenannten Varus- und Valgusstress ausgesetzt. Dies dient der Überprüfung von Verletzungen der Seitenbänder. Dabei spricht ein vermehrtes Aufklappen des Gelenkspaltes für eine Instabilität im Bereich der Seitenbänder und somit für eine mögliche Verletzung dieser.

### 3.3.7 Transplantatentnahmemorbidity

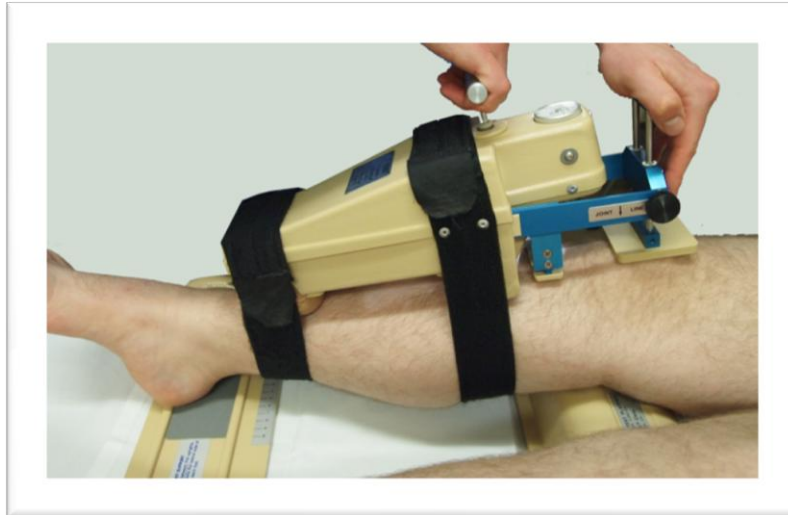
Die Entnahmemorbidity nach VKB-Rekonstruktion wird nach Kartus et al. (75) in drei Gruppen eingeteilt:

- 1) allgemeiner Schmerz und Beschwerden im anterioren Bereich des Knies hervorgerufen durch muskuläre Defizite und Einschränkung der Funktion und somit des Bewegungsausmaßes
- 2) Taubheit und Druckschmerz im die Entnahmestelle umgebenden Gewebe; in knienden Positionen kommt es zu Beschwerden
- 3) Spätreaktionen in und um das Entnahmegebiet (75).

Im IKDC 2000 wird die Transplantatentnahmemorbidität mit den Symptomen Druckschmerz, Irritationen und Taubheit zusammengefasst (35).

### **3.4 Instrumentelle Stabilitätsmessung mit dem KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer**

Da das Ausmaß der Translation und somit die Instabilität bei den oben genannten klinischen Stabilitätstests semiobjektiv vom Untersucher bewertet werden, wurden diese zur Objektivierung instrumentell gemessen. Hierfür wurde das KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer (MEDmetric Corp., San Diego, USA) verwendet. Dieses Arthrometer wurde erstmals von Daniel et al. beschrieben (76) und bewies in einer Vergleichsstudie von Kniearthrometern die höchste diagnostische Genauigkeit (77). Der Patient befindet sich in Rückenlage, die gesamte Beinmuskulatur sollte optimalerweise entspannt sein. Durch die Positionierung einer speziellen Unterlage wird das Knie in 20° Flexion gebracht. Die Füße des Patienten werden auf einer speziellen Platte fixiert, um einer Außenrotation vorzubeugen. Das Gerät wird nun mit einem „Sensorpad“ auf die Patella und die Tibia gelegt und hat zwei Gurte zur Befestigung am Unterschenkel (78). Ist der KT-1000<sup>®</sup> richtig positioniert, zieht man an dem Griff und misst die AP-Translation mit dem Messgerät mittels einer Messskala in einer Einheit von 1 mm. Je nach angewandter Kraft kommt es zu einem Signalton, wobei der erste Ton bei 67 N, der zweite Ton bei 89 N und der dritte Ton bei 134 N Kraftanwendung ertönt (78). Als vierte Messung kann mit maximaler manueller Kraft an der Tibia gezogen werden (20). Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, sollte das verletzte bzw. operierte Knie mit dem gesunden Knie des Patienten verglichen werden. Nach dem IKDC 2000 wird eine Bandinstabilität im Seitenvergleich von 3 bis 5 mm als Instabilitätsgrad „+“, von 6 bis 10 mm als Instabilitätsgrad „++“ und von mehr als 10 mm als „+++“ gewertet (35). Als normwertig gilt laut Daniel et al. eine Seitendifferenz unter 3 mm (78, 79).



**Abbildung 5:** Klinische Messung der vorderen Translation mit dem KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer

### **3.5 Evaluationsmethoden**

Unter Verwendung objektiver und subjektiver kniespezifischer Scores wurde die Evaluation der Kniefunktion im Rahmen der postoperativen Untersuchung durchgeführt.

#### **3.5.1 IKDC 2000**

Der IKDC 2000-Fragebogen wurde von Mitgliedern der AOSSM (American Orthopaedic Society for Sports Medicine) und der ESSKA (European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy) entwickelt. Hierbei handelt es sich um einen validierten und anerkannten Knie-Score, der aus sechs einzelnen Formblättern besteht und der Objektivierung von Nachuntersuchungen des operierten Knies dient. Die Befunde des operierten Knies werden mit der gesunden Gegenseite verglichen und in „normal“, „fast normal“, „abnormal“ oder „deutlich abnormal“ eingeteilt. Die erste Hälfte der Formblätter (Seiten 1-3) wird vom Patienten ausgefüllt, die zweite (Seite 4-6) vom Untersucher. Das schlechteste Ergebnis der Untergruppe bestimmt das Gesamtergebnis des Fragebogens. Der IKDC 2000-Fragebogen besteht aus dem:

- demographischen Formblatt
- Formblatt zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes
- Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
- Formblatt zur Anamnese des Knies
- chirurgischen Dokumentationsblatt
- Formblatt zur Untersuchung des Knies.

### 3.5.2 KOOS-Fragebogen

Der KOOS-Fragebogen wurde in den 1990er-Jahren zur Evaluation der subjektiven Patientenmeinung bezüglich ihres Knies und den damit assoziierten Problemen entwickelt und 1998 publiziert (80, 81). Beurteilt werden Verletzungen wie die VKB-Ruptur oder Meniskusläsionen, die als Spätkomplikationen zu Arthrose führen können. Die möglichen Punkte reichen von 0 bis 100, wobei 100 das bestmögliche Ergebnis beschreibt. Der KOOS-Fragebogen ist in fünf einzeln gewertete Gruppen unterteilt:

- Schmerz mit dem Unterpunkt Steifigkeit
- Symptome
- Funktion bei Aktivitäten des täglichen Lebens
- Funktion in Sport und Freizeit
- Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie

### 3.5.3 Lysholm-Score

Der Lysholm-Score wurde 1982 von Lysholm und Gillquist (33) zur postoperativen Bewertung von Knieoperationen mit besonderem Augenmerk auf das Symptom der Instabilität („giving way“) entwickelt und korreliert laut der Autoren stark mit der eigenen, subjektiven Einschätzung der Funktion des Knies der Patienten. Der Punktebereich liegt zwischen 0 und 100 Punkten, wobei eine Punktzahl über 84 als gutes bis exzellentes Ergebnis, Ergebnisse zwischen 65 und 83 als ausreichend und Ergebnisse unter 65 als schlecht gewertet werden (82). Die Unterpunkte des Lysholm-Scores sind:

- Hinken
- Belastung
- Blockierung
- Instabilität
- Schmerzen
- Schwellung
- Hocken
- Treppensteigen.



### **3.6 Statistische Analyse**

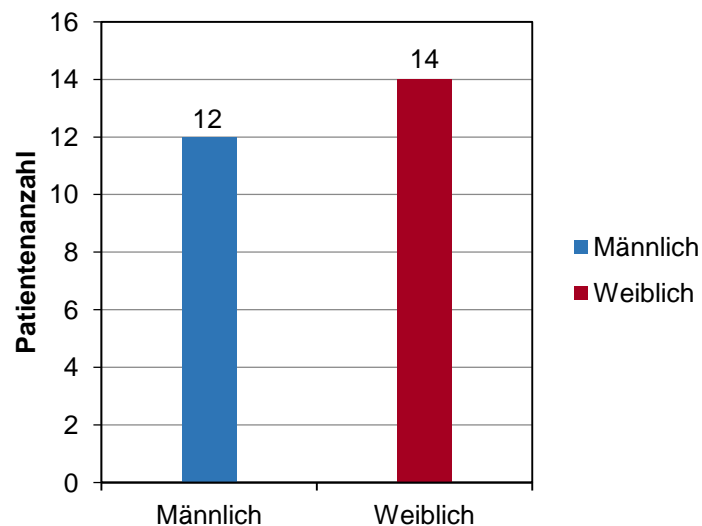
Zur statistischen Analyse wurden die erfassten Daten in das Kalkulationsprogramm Microsoft Office Excel 2007™ (Microsoft, Seattle, USA) eingetragen sowie mittels Prism Version 6 (GraphPad Software Inc., San Diego, USA) ausgewertet. Es wurde eine deskriptive, statistische Analyse durchgeführt. Für kontinuierliche Variablen wurden Mittelwert  $\pm$  SD und/oder der Median [interquartile range] berechnet. Parametrische Daten wurden mittels t-Test berechnet, für nichtparametrische Daten erfolgte eine Berechnung mit dem Mann-Whitney-Test. Ein D'Agostino- und Chi-Quadrat-Test nach Pearson erfolgte als Test zur Normalverteilung. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl erfolgte beim Chi-Quadrat-Test eine Kontinuitätskorrektur nach Yates. Ein p-Wert unter 0,05 wurde als statistisch signifikant gewertet.

## 4 Ergebnisse

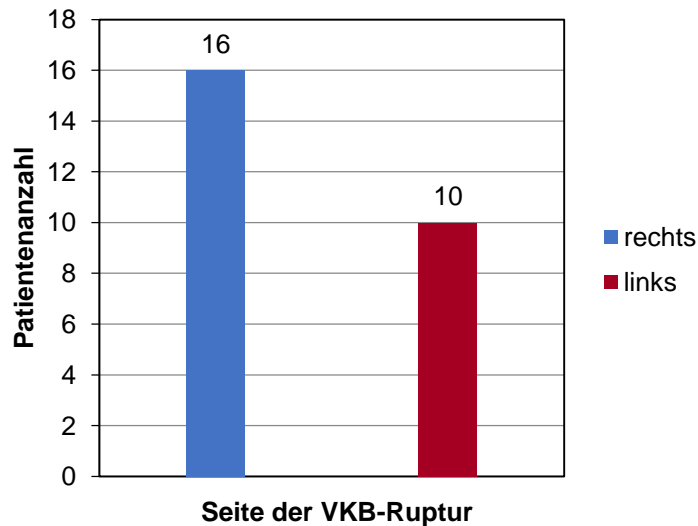
Von 37 Patienten mit offenen Wachstumsfugen, die sich zwischen 2001 und 2012 an der Charité, Campus Virchow-Klinikum, einer transphysealen VKB-Rekonstruktion unterzogen haben, konnten 26 Patienten (14 weiblich, 12 männlich) mit einem durchschnittlichen Follow-up von 47 Monaten  $\pm$  26 (range, 13-84) nachuntersucht werden. Einer der nachuntersuchten Patienten wurde im Jahr 2013 operiert.

### 4.1 Patientencharakteristika

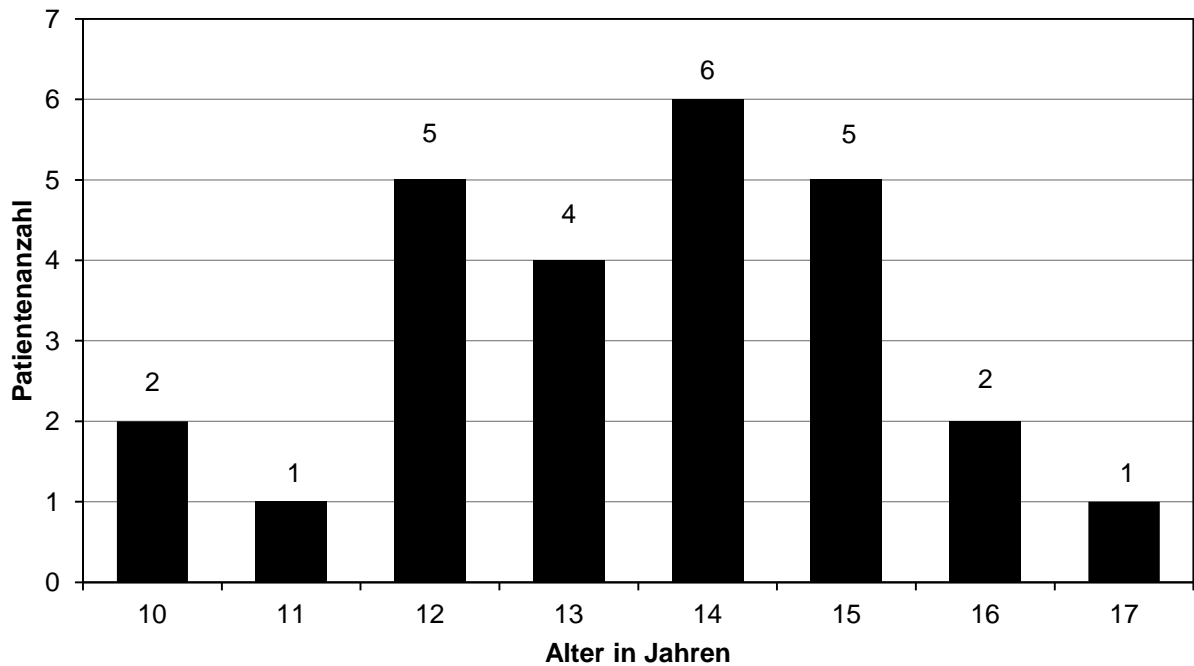
Die Geschlechterverteilung zeigt sich mit 46,15 % männlichen und 53,85 % weiblichen Patienten nahezu ausgeglichen. Im Durchschnitt waren die Patienten zum Zeitpunkt der Operation  $13,5 \pm 1,8$  Jahre alt (range, 10-17).



**Abbildung 6:** Geschlechterverteilung der Patienten, männlich (n = 12), weiblich (n = 14)



**Abbildung 7:** Verteilung der betroffenen Knieseite, rechts (n = 16), links (n = 10)

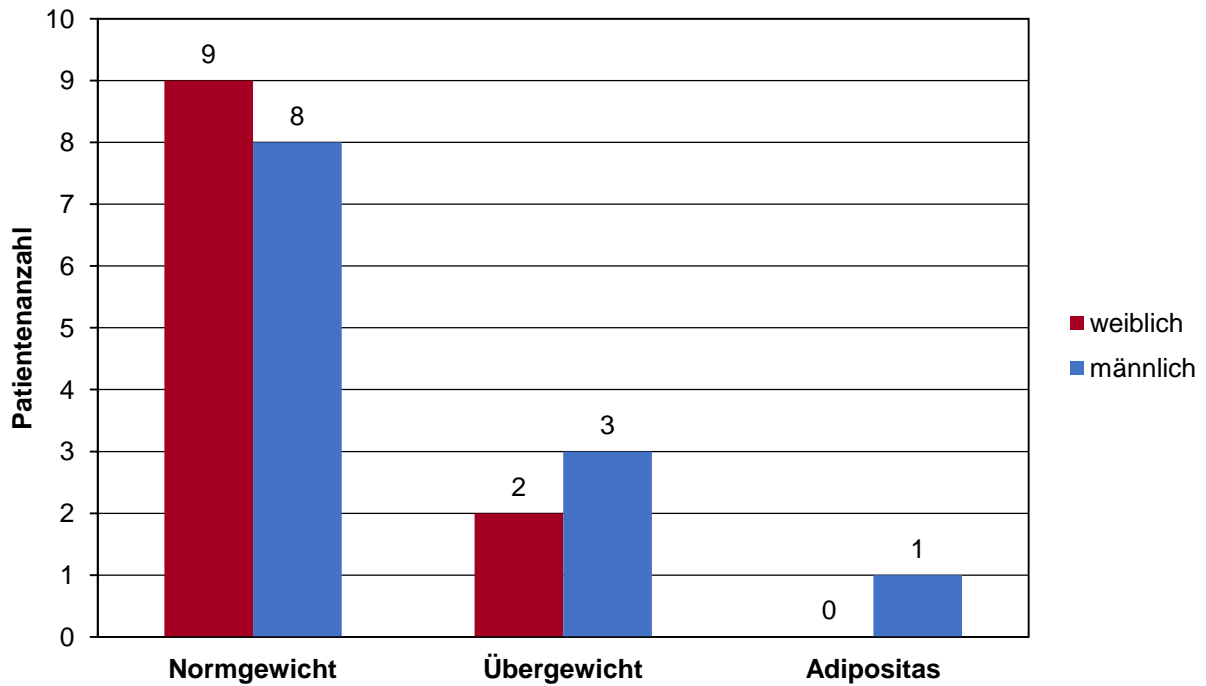


**Abbildung 8:** Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation, n = 26

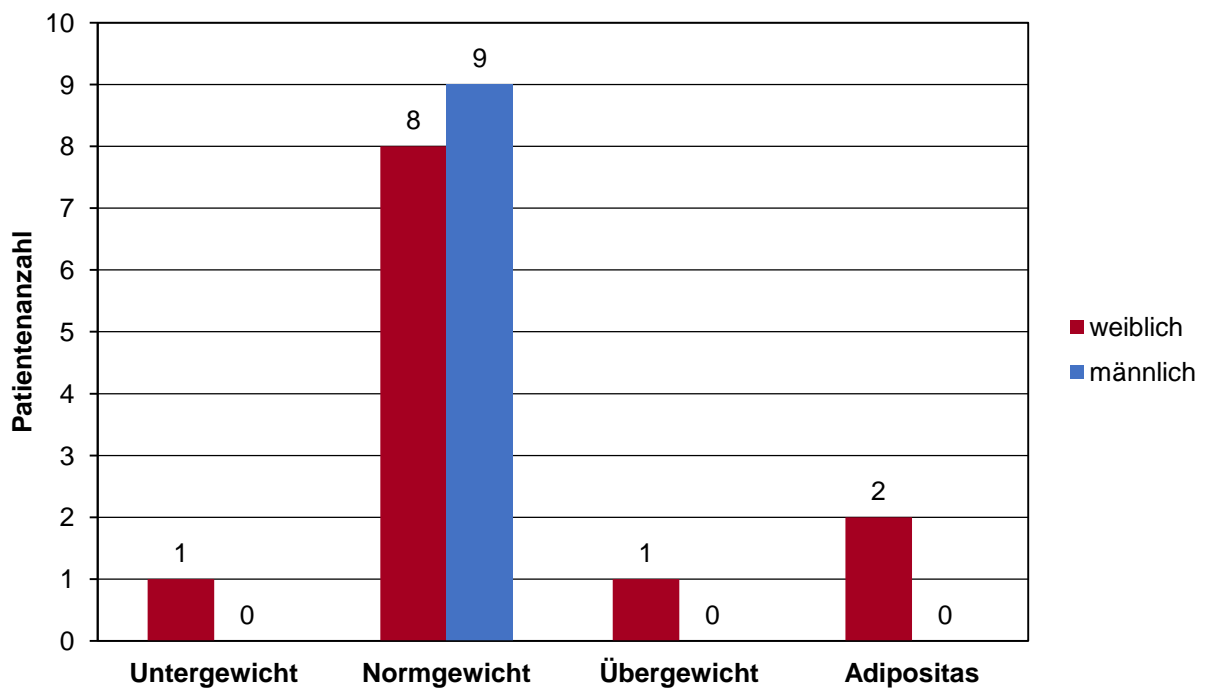
#### 4.1.1 Body-Mass-Index (BMI) prä- und postoperativ

Der präoperative BMI der Gesamtheit der Patienten betrug durchschnittlich  $21,7 \text{ kg/m}^2 \pm 3,1$  (range, 16,9 - 28,9). Der postoperative durchschnittliche BMI aller Patienten betrug  $22,5 \text{ kg/m}^2 \pm 4$  (range, 16 - 27,6). Eine Beurteilung des BMI ist jedoch bei Kindern und Jugendlichen nur anhand von BMI-Perzentilen möglich, die alters- und geschlechtsspezifische Besonderheiten einbeziehen und nach Referenzwerten von

Kindern- und Jugendlichen aus ganz Deutschland berechnet werden (83). Bei 3 Patienten konnte aufgrund fehlender Angaben im Rahmen der Nachuntersuchung keine Aussage zum BMI getroffen werden.



**Abbildung 9a:** Präoperative Gewichtsverteilung nach BMI-Perzentilen



**Abbildung 9b:** Postoperative Gewichtsverteilung nach BMI-Perzentilen

Untergewicht = BMI-Perzentile < 10. Als normgewichtig werden Patienten von der 10. bis zur 90. Perzentile betrachtet. Übergewicht bedeutet 90. bis 97. Perzentile. Von Adipositas spricht man bei einer BMI-Perzentile > 97. BMI = kg/m<sup>2</sup>

#### 4.1.2 Unfallhergang

Alle VKB-Rupturen der in dieser Studie untersuchten Patienten ereigneten sich beim Sport oder einer sportlichen Aktivität in der Freizeit. Die Mehrheit dieser Sportverletzungen (61 %) wurde in Nicht-Kontakt-Situationen verursacht. Als seltene Unfallursachen zeigten sich Skiunfälle sowie Unfälle im Pferdesport. Verkehrsunfälle als Ursache einer VKB-Ruptur wurden bei dieser Nachuntersuchung nicht notiert.

**Tabelle 1:** Zum Zeitpunkt der Verletzung ausgeübte Sportart nach Einteilung in Kontakt- und Nicht-Kontakt-Situation, n = Patientenzahl

Aktivität	Nicht-Kontakt-Situation	Kontakt-Situation
<b>Ballsport (n = 7)</b>		
Fußball	3	1
Basketball		1
Handball	1	1
<b>Schulsport (n = 10)</b>		
Sprungsituation	3	
Nicht näher bezeichnet	4	
Laufen	3	
<b>Sportliche Aktivität in der Freizeit (n = 5)</b>		
Sprungsituation	5	
<b>Skifahren (n = 1)</b>	1	
<b>Nicht näher bezeichnetes Trauma (n = 3)</b>	1	2

## 4.2 Operation

### 4.2.1 Zeitraum zwischen Unfall und operativer Versorgung

Die durchschnittliche Zeit zwischen Unfall und operativer Versorgung im untersuchten Patientengut betrug 6 Monate  $\pm$  32,5 Wochen (range, 1 Tag bis 36 Monate). Bei einem Patienten wurde die VKB-Ruptur aufgrund einer versorgungspflichtigen Meniskusverletzung direkt am Tag nach dem Unfall versorgt.

#### 4.2.2 Operationsdauer

Die Operationsdauer konnte aus den Akten lediglich in 11 Fällen erfasst werden. Diese betrug im Durchschnitt 79 Minuten (range, 61 - 121 min).

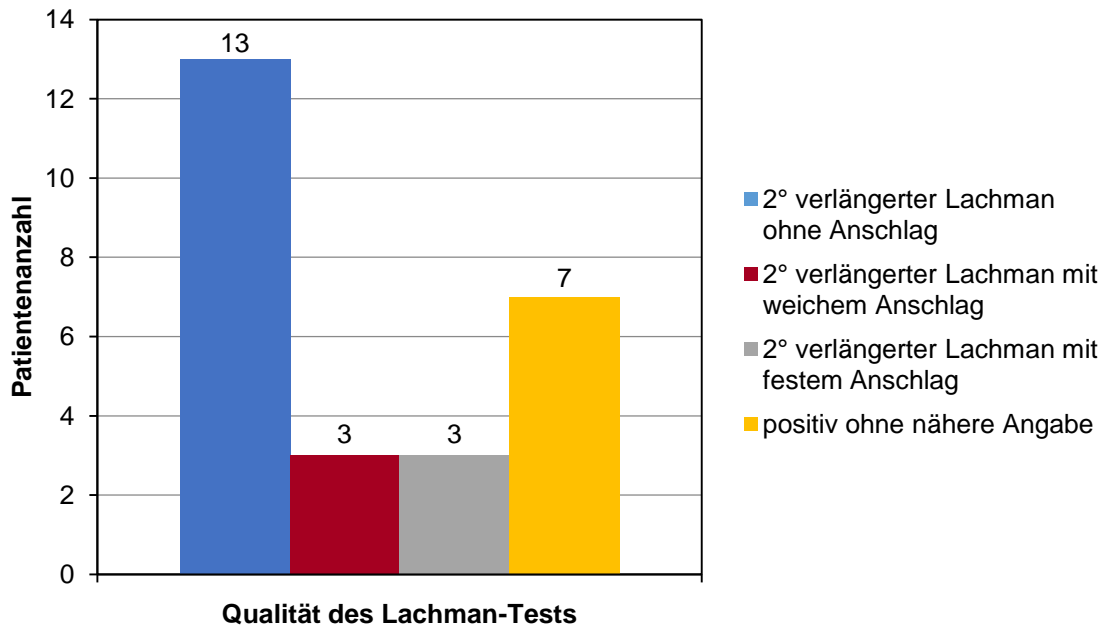
#### 4.2.3 VKB-Zustand präoperativ

Die genaue Lokalisation der VKB- Ruptur war bei 14 Patienten (52 %) femoralseitig, bei 10 Patienten (37 %) wurde im OP-Bericht zusätzlich ein „empty wall sign“ beschrieben. 7 der femoralseitig rupturierten VKB haben sich arthroskopisch als auf das HKB narbig aufgeschlagen bzw. fehlerverheilt dargestellt. Bei drei Patienten wurde neben dem Bestehen einer intraligamentären Ruptur keine genauere Bezeichnung der Rupturlokalisation dokumentiert. Die drei eben genannten Patienten müssen gesondert erwähnt werden. Ein Patient erhielt vor der VKB-Rekonstruktion auswärtig eine Kniearthroskopie, bei der das VKB reseziert wurde und somit nicht existent war. Bei einem anderen Patienten zeigte sich das VKB zwar als femoralseitig rupturiert, zusätzlich aber als kleiner Cyclops nach ventral eingeschlagen.

Das präoperative Bewegungsausmaß nach der Neutral-Null-Methode betrug im Durchschnitt 140° in Flexion  $\pm 3,2$  (130° - 150°) und 3° in Extension  $\pm 2,9$  (0° - 10°), wobei alle Patienten die 0°-Stellung durchlaufen konnten.

19 Patienten (73 %) klagten bei der Aufnahme zur operativen Versorgung über Druckschmerz, wobei dieser in den Akten nicht näher kategorisiert wurde. Bei 18 Patienten (70 %) wurde ein Erguss im OP-Bericht verzeichnet, wobei dieser in „geringen“ bzw. „deutlichen“ Erguss eingeteilt wurde. Von den 19 Patienten hatten 13 einen geringen und nur ein Patient hatte einen deutlichen Erguss bei der operativen Voruntersuchung. Bei den restlichen Patienten wurden keine genaueren Informationen zum Erguss notiert.

Der Pivot-Shift-Test zeigte sich präoperativ in Narkose bei allen Patienten positiv. Der präoperative Lachman-Test war ebenso bei allen Patienten positiv.

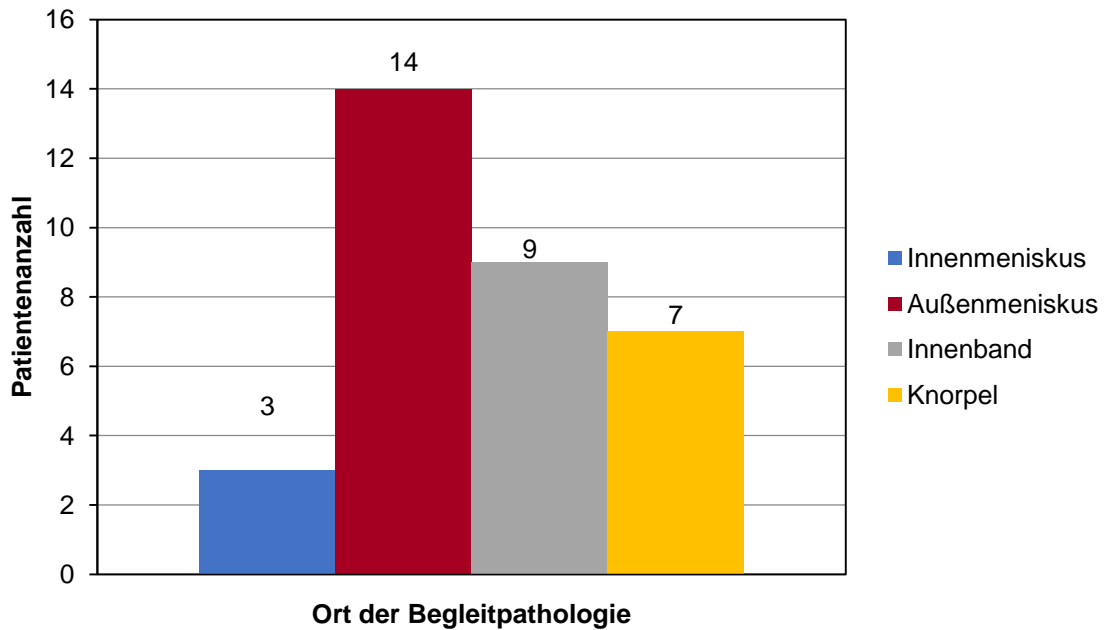


**Abbildung 10:** Präoperativer Lachman-Test in Narkose. Hierbei wurde zwischen Lachman-Test mit festem Anschlag, 2° verlängerter Lachman-Test ohne Anschlag bzw. 2° verlängerter Lachman-Test mit leichtem Anschlag unterschieden.

#### 4.2.4 Begleitpathologien

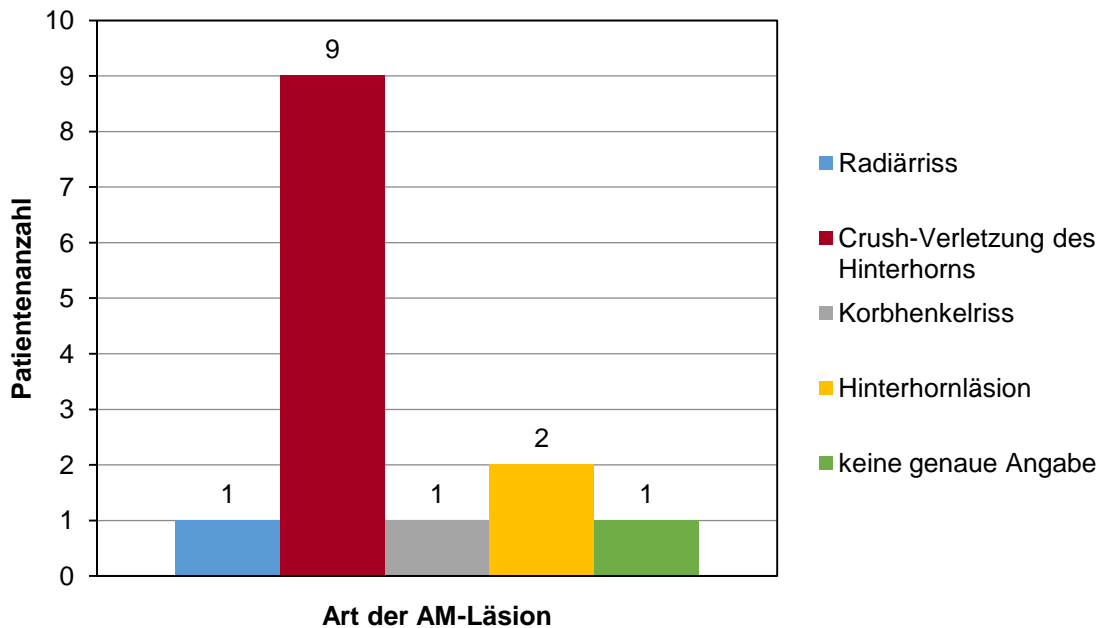
Der Ausschluss einer HKB-Ruptur und somit die Erfüllung des Einschlusskriteriums einer alleinigen VKB-Ruptur wurde bei allen Patienten mittels OP-Bericht bestätigt. Bei der präoperativen klinischen Untersuchung wurde außerdem bei allen Patienten eine negative hintere Schublade aufgezeichnet. Die Außenbänder waren bei allen Patienten in Beugung und Streckung stabil. Bei 14 Patienten (54 %) zeigte sich eine Läsion des Außenmeniskus, davon zeigten sich zum Zeitpunkt der VKB-Rekonstruktion 8 als versorgungspflichtig. 3 Patienten (12 %) erlitten eine versorgungspflichtige Läsion des Innenmeniskus als Begleitverletzung der VKB-Ruptur.





**Abbildung 11:** Begleitpathologien bei VKB-Ruptur nach Ort der Läsion

Alle Innenmeniskusläsionen wurden mittels Naht versorgt. Bei einem Patienten erfolgte eine Meniskusnaht des Innenmeniskus mit 3x Outside-in und 2x All-inside (Fastfix<sup>®</sup>, Smith & Nephew, Andover, USA). Bei dem anderen Patienten wurde eine Naht des Innenmeniskushinterhorns mit 2x All-inside (Fastfix<sup>®</sup>, Smith & Nephew, Andover, USA) mit sparsamer Meniskusteilresektion durchgeführt. Diese Läsion wurde präoperativ als Horizontalläsion mit degenerativen Veränderungen als nicht alterstypisch beschrieben. Bei dem dritten Patienten zeigte sich ein Korbhenkelriss, der mittels 2x Outside-in und 2x All-inside (Fastfix<sup>®</sup>, Smith & Nephew, Andover, USA) versorgt wurde.



**Abbildung 12:** Lokalisation und Art der Außenmeniskusläsion, n = 14

Bei dem Patienten mit dem Radiärriss reichte der Riss bis an die Basis der Pars intermedia des Außenmeniskus und es zeigte sich ein Teilabriss der Hinterhornwurzel. Auch der Außenmeniskuskorbhenkelriss wurde als bis in die Pars intermedia reichend dokumentiert und als älter imponierend sowie passend zum Primärtrauma 8 Monate vor VKB-Rekonstruktion beschrieben.

Bei 14 Patienten (54 %) zeigte sich eine Läsion des Außenmeniskus, davon wurden 7 Patienten mittels Außenmeniskusnaht und 1 Patient mittels Teilresektion operativ versorgt.

Bei 9 Patienten wurde aufgrund einer Läsion des Innenbandes eine Mikroperforation nach Rosenberg durchgeführt. All diese Patienten zeigten präoperativ in Beugung und Streckung eine vermehrte Aufklappbarkeit. Bei den restlichen untersuchten Patienten zeigte sich das Innenband in Beugung und Streckung stabil.

Bei 3 Patienten zeigte sich arthroskopisch eine Chondromalazie am Femurkondylus im Stadium II nach Outerbridge (84) mit instabilitätsbedingten Querriefen. Bei 2 Patienten wurde eine partielle Synovektomie aufgrund einer bestehenden Synovialitis durchgeführt. Ein Patient erhielt eine Pridie-Bohrung. Darunter versteht man eine

anterograde Anbohrung zur Therapie eines Knorpelschadens, wobei man das Einsprossen von Blutgefäßen und die Bildung von Faserknorpel zur Bedeckung der geschädigten Oberfläche hervorrufen will (36).

#### 4.2.5 Sehnenwahl

Bis auf einen erhielten alle Patienten ein ipsilaterales, autologes Sehnenransplantat des M. semitendinosus. Dieses wurde bei allen Patienten vierfach übereinandergelegt, um einen ausreichenden Transplantatdurchmesser sowie eine ausreichende Transplantatlänge zu gewährleisten. Ein Patient erhielt zusätzlich zum vierfachen Semitendinosustransplantat ein zweifaches Gracilistransplantat, um eine ausreichende Transplantatlänge zu gewährleisten.

#### 4.2.6 Fixierung

Bei den untersuchten Patienten wurden folgende Fixierungsmöglichkeiten gewählt:

Femoral:

- Endobutton® (46 %)
- bioresorbierbare Interferenzschraube mit EndoPearl® (19 %)
- bioresorbierbare Interferenzschraube mit Flipptack® in Hybridtechnik über Knochenbrücke (19 %)
- Flipptack® (8 %)
- Keine Angabe (8 %)

Tibial:

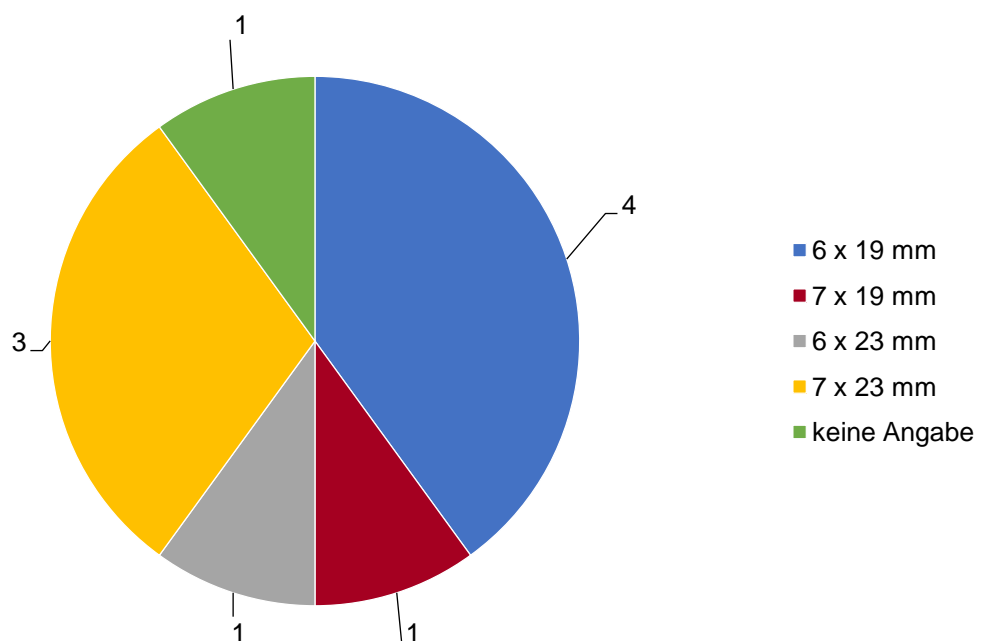
- bioresorbierbare Interferenzschraube in Hybridtechnik mit Fäden über Knochenbrücke (92 %)
- Keine Angabe (8 %)

##### 4.2.6.1 Femorale Fixierung

Bei der femoralen Fixierung des Transplantats wurden bei den untersuchten Patienten 4 verschiedene Fixierungsmöglichkeiten verwendet. 12 Transplantate wurden mittels Endobutton® (Smith & Nephew, Andover, USA) fixiert, davon wurden bei 3 Patienten genaue Angaben zur Loop-Größe gemacht (2 x 20 mm und 1 x 25 mm). Bei 10 Patienten wurde zur femoralen Fixierung eine bioresorbierbare Interferenzschraube

verwendet. Diese wurde bei 5 Patienten mit Flipptack<sup>®</sup> (Karl Storz, Tuttlingen, Deutschland) in Hybridtechnik und bei 5 Patienten mit einer EndoPearl<sup>®</sup> (Linvatec, Largo, USA) in Hybridtechnik mit einem Knochenkeil kombiniert. Bei 5 Patienten wurde eine einheitliche Größe der EndoPearl<sup>®</sup> (8 mm) gewählt, ein Patient erhielt eine kleinere EndoPearl<sup>®</sup> (7 mm). Zwei Transplantate wurden alleinig mit dem Flipptack<sup>®</sup> fixiert. Bei der Verwendung der kleineren EndoPearl<sup>®</sup> war der Transplantatdurchmesser entsprechend kleiner (6,5 mm) als bei der größeren (7,5 bis 8 mm).

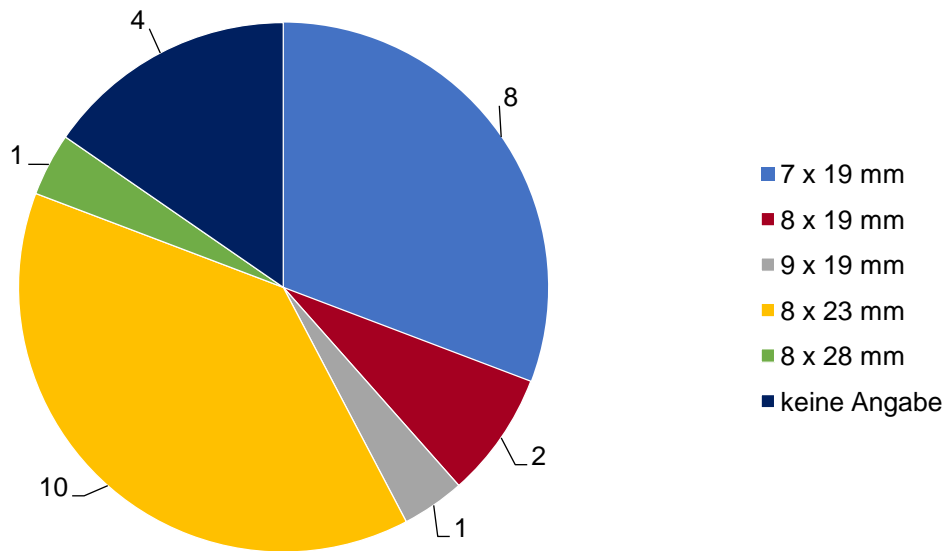
Wurde das Transplantat mittels bioresorbierbarer Interferenzschraube fixiert, wurde je nach Durchmesser die passende Schraubengröße gewählt.



**Abbildung 13:** Größenverteilung der femoralen Interferenzschraube in Millimeter, (n = 10)

#### 4.2.6.2 Tibiale Fixierung

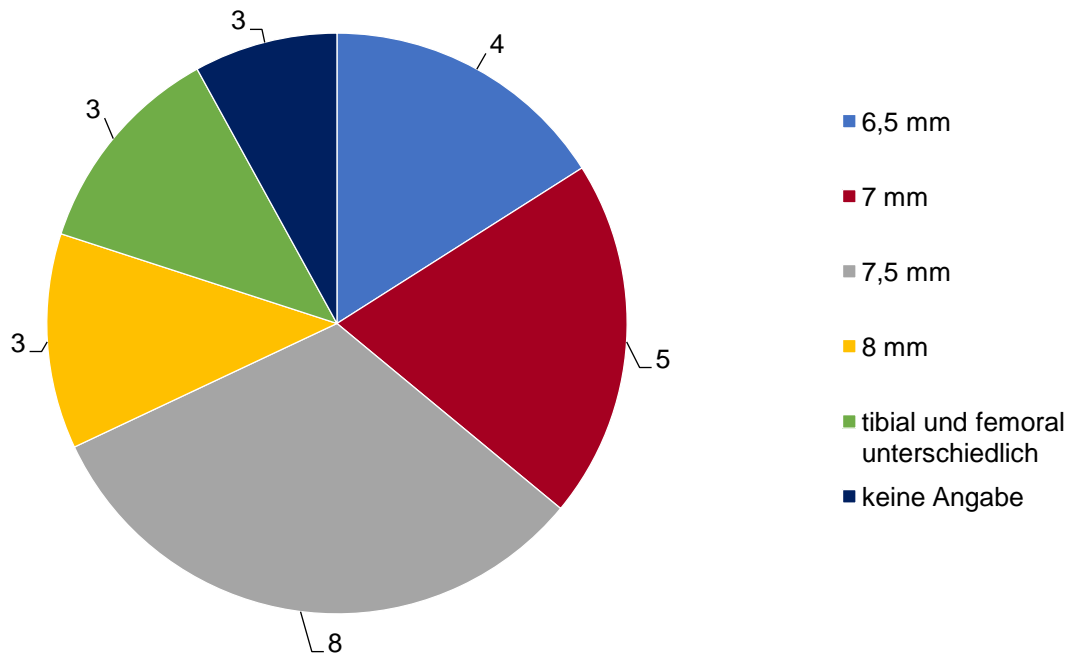
Tibial wurden sämtliche Transplantate mittels bioresorbierbarer Interferenzschraube in Hybridtechnik mit Fäden über eine Knochenbrücke fixiert. Die verwendeten Schraubengrößen werden in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 14:** Größenverteilung der tibialen Interferenzschraube in Millimeter, (n = 26)

#### 4.2.7 Transplantatdurchmesser

Bei 2 von 4 Patienten mit dem dünnsten Transplantatdurchmesser von 6,5 mm zeigte sich im Verlauf eine Reruptur. Bei den anderen 3 Patienten mit Reruptur hatte das Transplantat jeweils einen Durchmesser von 7 mm, 7,5 mm und 8 mm.



**Abbildung 15:** Verteilung der Transplantatdurchmesser in Millimeter, (n = 26)

**Tabelle 2:** Auswertung der Knie-Scores (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) in Abhängigkeit des Transplantatdurchmessers, n = Patientenanzahl

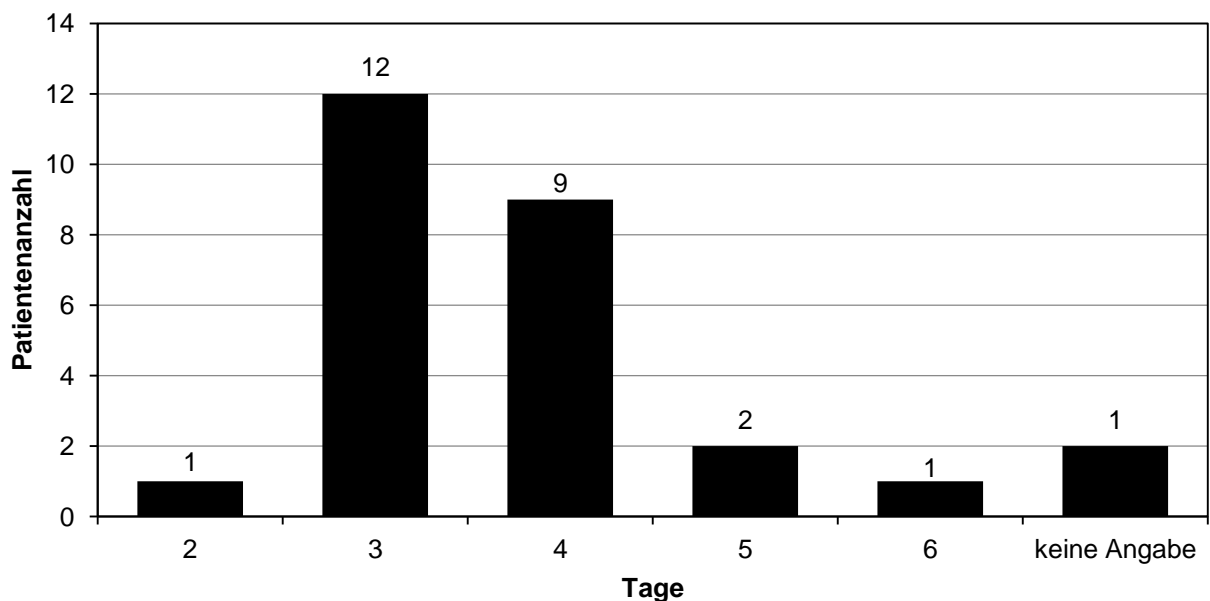
n	Transplantatdurchmesser	IKDC 2000	Lysholm	KOOS
4	6,5 mm	92,6 $\pm$ 6,2	93,5 $\pm$ 9,9	92,5 $\pm$ 6,3
5	7,0 mm	92 $\pm$ 6	98,4 $\pm$ 1,9	94,6 $\pm$ 4,4
8	7,5 mm	85,8 $\pm$ 9,2	94,3 $\pm$ 13,1	93,0 $\pm$ 5,4
3	8,0 mm	93,7 $\pm$ 12,8	96,7 $\pm$ 5,8	91,5 $\pm$ 10,3
3	Tibial/Femoral unterschiedlich	97,6 $\pm$ 4	100 $\pm$ 0	98 $\pm$ 3

#### 4.2.8 Transplantatlänge

Das kürzeste Transplantat beträgt 6,5 cm, das längste 8 cm. 3 Patienten erhielten ein Transplantat von 6,5 cm Länge, 10 Patienten ein Transplantat von 7 cm Länge, 9 Patienten ein Transplantat von 7,5 cm Länge und zwei Patienten eines von 8 cm Länge. Bei 3 Patienten konnte keine Angabe zur Transplantatlänge aufgrund fehlender Dokumentationen im OP-Bericht gemacht werden.

#### 4.2.9 Postoperativer stationärer Aufenthalt

Der postoperative stationäre Aufenthalt nach VKB-Rekonstruktion im kindlichen Knie betrug im Durchschnitt 3,9 Tage (range, 2 bis 6 Tage).



**Abbildung 16:** Dauer des postoperativen stationären Aufenthaltes in Tagen

Bei dem Patienten mit dem längsten stationären Aufenthalt (6 Tage) gab es keine Aufzeichnungen über etwaige Komplikationen. Es bestand neben der VKB-Ruptur ein bis in das Vorderhorn reichender Innenmeniskuskorbhenkelriss. Dieser wurde im Rahmen der VKB-Plastik genäht. Im Verlauf (nach 1 1/4 Jahren) zeigte sich bei diesem Patienten eine Re-Läsion des Innenmeniskus in Form eines Lappenrisses der Pars intermedia sowie eines Korbhenkelrisses der Pars posterior. Zudem wurde eine Einklemmung des VKB-Ersatzes in der Notch in Extension als VKB-Cyclopsyndrom beschrieben. Es erfolgte eine arthroskopische Versorgung der oben genannten Verletzungen mittels All-Inside-Naht des Innenmeniskushinterhorns und Resektion des Lappenrisses sowie Resektion des VKB-Cyclops. Zudem erfolgte eine partielle

Synovektomie. Dieser komplexe Revisionseingriff im Verlauf nach initial komplikationsloser VKB-Rekonstruktion könnte eine Erklärung für die verhältnismäßig schlechten Ergebnisse der Knie-Scores dieses Patienten im Rahmen der Nachuntersuchung sein.

Auch bei den beiden Patienten, die mit 5 Tagen einen längeren stationären Aufenthalt hatten als der Durchschnitt, wurden während des stationären Aufenthaltes keine Komplikationen beschrieben. Nach einem Jahr hatte einer der beiden einen Innenmeniskuskorbhenkelriss, der mittels Resektion und partieller Synovektomie arthroskopisch versorgt wurde. Über ein vorangegangenes Trauma nach der ersten Operation bestehen bei allen dreien keine Aufzeichnungen. Bei der Nachuntersuchung zeigten sich bei beiden Patienten mit 5 Tagen stationärem Aufenthalt sehr gute Werte bei den Knie-Scores. Keiner der Patienten mit überdurchschnittlich langem postoperativen stationären Aufenthalt hatte im Verlauf eine VKB-Reruptur.

**Tabelle 3:** Auswertung der Knie-Scores bei Patienten mit überdurchschnittlich langem stationären Aufenthalt

	<b>Dauer stationärer Aufenthalt in Tagen</b>	<b>IKDC 2000</b>	<b>Lysholm</b>	<b>KOOS</b>
Patient 1	5	93,1	99	91,7
Patient 2	5	93,1	100	95,8
Patient 3	6	70	62	86,9

### 4.3 Nachbehandlung und Physiotherapie

Für 5 Patienten wurde das Nachbehandlungsschema für die entsprechende Begleitpathologie modifiziert, darunter dreimal für eine Innenbandläsion und zweimal für Meniskusläsionen. Bei einem Patienten wurde aufgrund einer bestehenden Schwellung eine manuelle Lymphdrainage nach Redonzug durchgeführt. Das Nachbehandlungsschema wurde in Bezug auf die Gradeinstellung der Orthese in der ersten Woche postoperativ bei 17 Patienten auf eine Gradeinstellung von 20° Flexion modifiziert. Bei 4 Patienten konnte keine Angabe zur Gradeinstellung der Orthese



gemacht werden. Ein Patient erhielt eine *FULLFORCE*<sup>™</sup>-Schiene (Donjoy, Freiburg im Breisgau, Deutschland) ohne weitere Angaben zur Gradzahl.

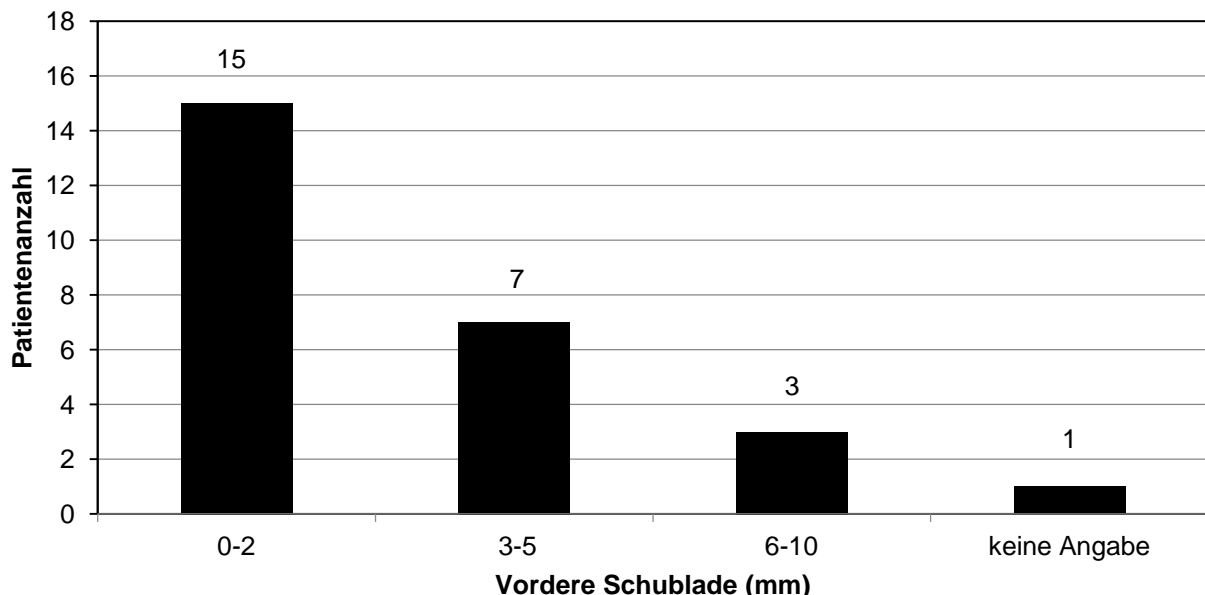
In der zweiten bis vierten Woche postoperativ wurde bei allen Patienten entweder eine *FULLFORCE*<sup>™</sup>-Schiene oder eine 4TITUTE<sup>®</sup>-Schiene (Donjoy, Freiburg im Breisgau, Deutschland) mit 15 kg Teilbelastung an Unterarmgehstützen verordnet. Folgende Gradeinstellungen als Abwandlung zum Nachbehandlungsschema wurden notiert:

- Extension/Flexion (0/10/90°), n = 14
- Extension/Flexion (0/20/60°), n = 3
- Extension/Flexion (0/0/90° mit federndem Anschlag bei voller Extension), n = 3.

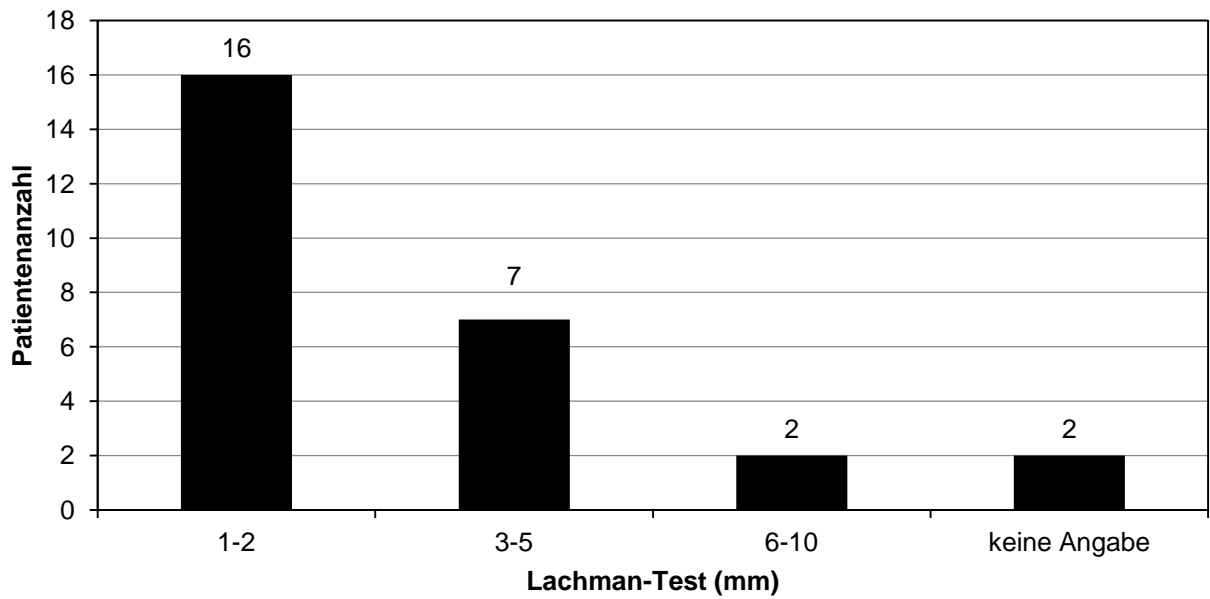
Im Durchschnitt hatten die Patienten zweimal pro Woche (range, 1 - 5) physiotherapeutische Behandlungen für eine durchschnittliche Dauer von 10 Monaten postoperativ (range, 2 - 48 Monate). Lediglich zwei Patienten konnten keine nähere Auskunft über Dauer und Häufigkeit der postoperativen Physiotherapie geben.

#### 4.4 Klinische Nachuntersuchung

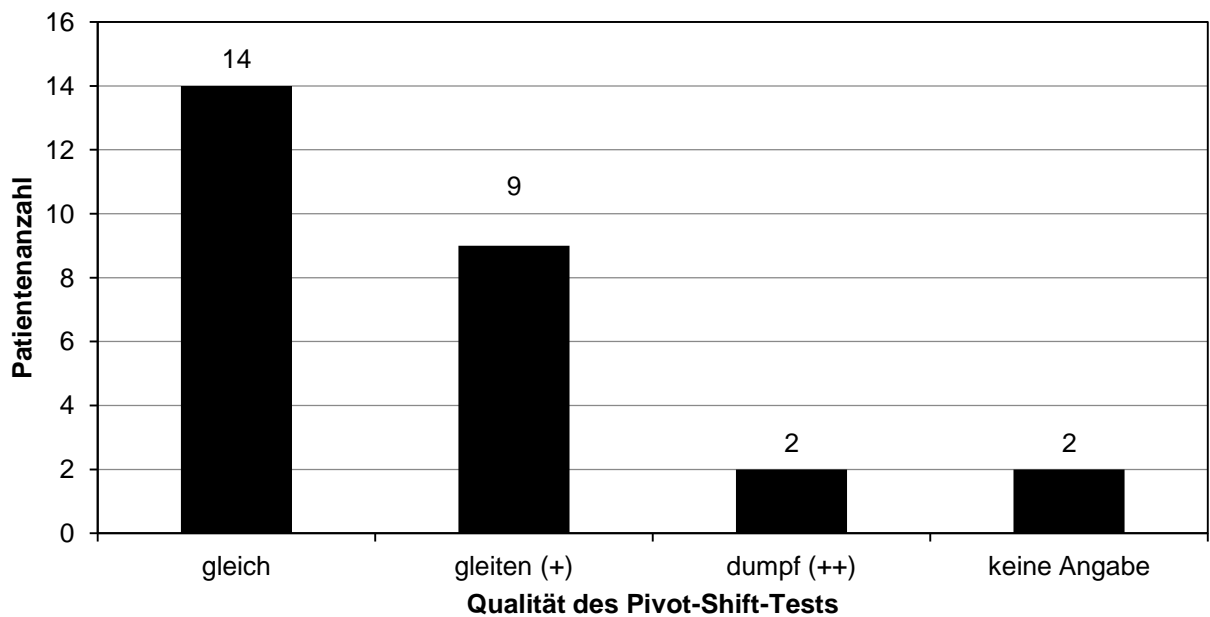
##### 4.4.1 Stabilitätstests VKB



**Abbildung 17:** Vordere Schublade am operierten Knie bei Follow-up. Untergruppen nach IKDC 2000: 0-2 mm = normal, 3-5 mm = fast normal, 6-10 mm = abnormal, > 10 mm = deutlich abnormal. Es zeigte sich bei keinem Patienten ein deutlich abnormales Ergebnis.

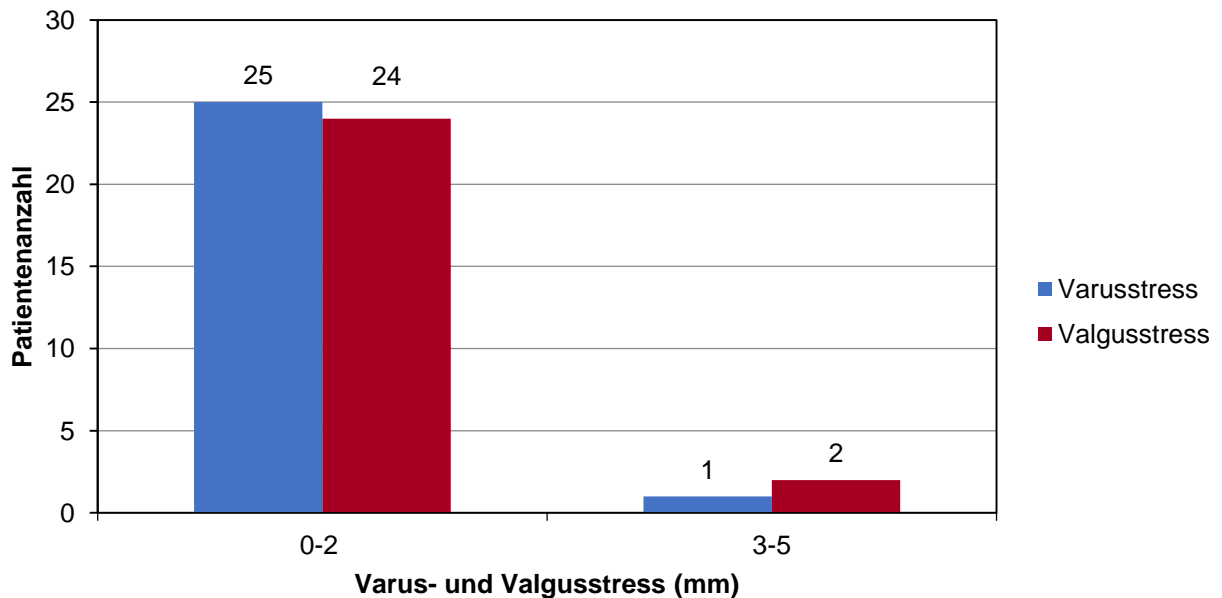


**Abbildung 18:** Lachman-Test am operierten Knie bei Follow-up. Untergruppen nach IKDC 2000: 1-2 mm = normal, 3-5 mm = fast normal, 6-10 mm = abnormal



**Abbildung 19:** Pivot-Shift-Test am operierten Knie bei Follow-up. Untergruppen nach IKDC 2000: gleich = normal, gleiten (+) = fast normal, dumpf (++) = abnormal, laut (+++) = deutlich abnormal. Es zeigte sich bei keinem Patienten ein deutlich abnormales Ergebnis.

#### 4.4.2 Stabilitätstests Seitenbänder



**Abbildung 20:** Varus- und Valgusstress am operierten Knie bei Follow-up in Millimeter. Untergruppen nach IKDC 2000: 0-2 mm = normal, 3-5 mm = fast normal, 6-10 mm = abnormal, > 10 mm = deutlich abnormal. Bei den untersuchten Patienten gab es keinen Patienten mit einem abnormalen oder deutlich abnormalen Ergebnis.

#### 4.4.3 Beinachse

Bei der Mehrheit der Patienten (88,5 %) zeigte sich postoperativ eine gerade Beinachse. Klinisch zeigte sich bei 2 Patienten eine Valgisierung, wobei ein Patient angab, diese schon präoperativ gehabt zu haben. Eine radiologische Messung der Beinachse ist nicht erfolgt.

#### 4.4.4 Beinlängendifferenz

Es zeigte sich bei keinem Patienten eine relevante Beinlängendifferenz (> 0,5 cm).

#### 4.4.5 Bewegungsausmaß

Die durchschnittliche Flexion zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrug 133° (range, 120°-145°), die durchschnittliche Flexion der Gegenseite 134° (range, 120°-145°). Die Extension in der Nachuntersuchung betrug im Durchschnitt 9° (range, 0°-15°) auf der operierten Seite und 8,5° (range, 0°-15°) auf der Gegenseite.

#### 4.4.6 Muskuläre Defizite

Objektiv wurde eine durchschnittliche Umfangsdifferenz des Oberschenkels von 1,4 cm (range, 0-3,5) bei 20 cm und 1,4 cm (range, 0-5) bei 15 cm proximal des

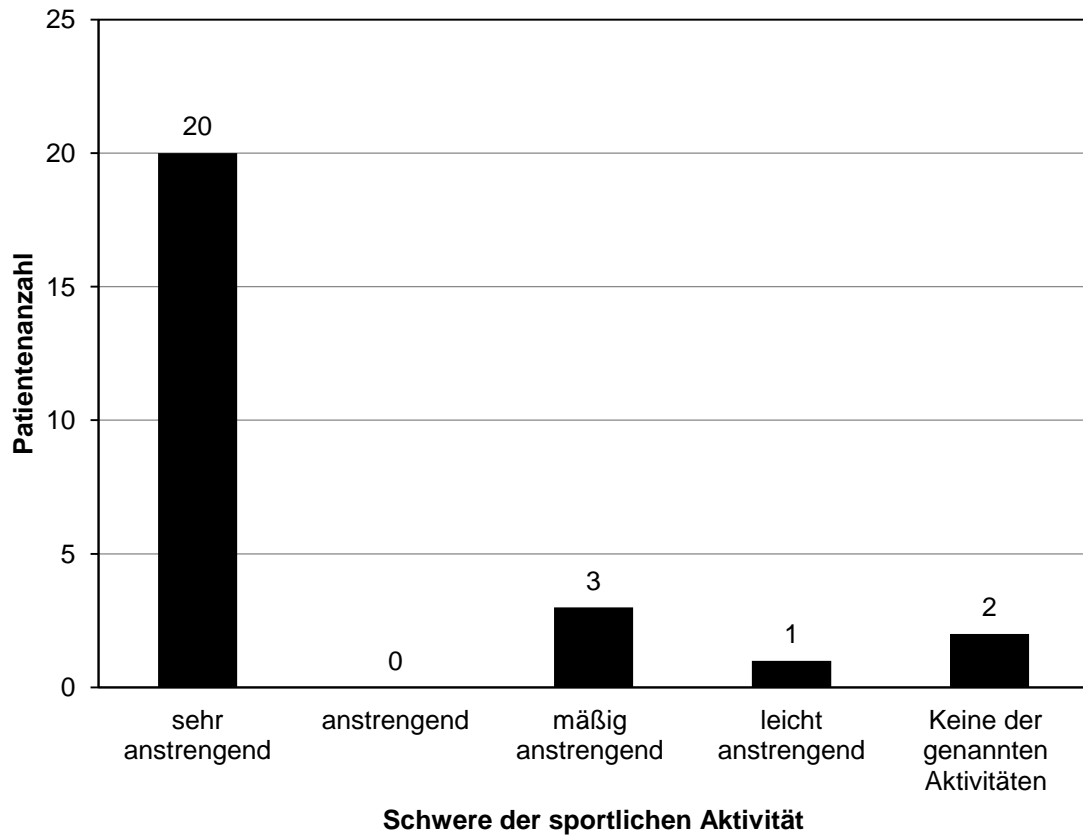
Kniegelenkspalts gemessen. 10 cm distal des Kniegelenkspalts wurde ein im Durchschnitt um 0,5 cm (range, 0-1 cm) verminderter Wadenumfang gemessen.

**Tabelle 4:** Subjektives muskuläres Defizit, n = Patientenzahl

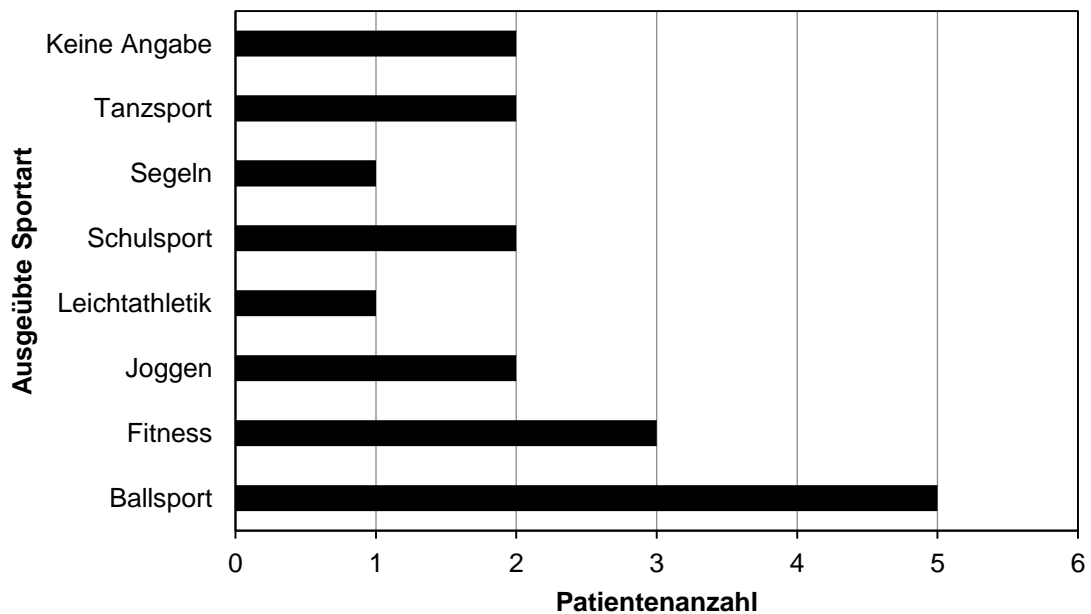
<b>Muskuläres Defizit</b>	<b>n</b>
Ja	6
Nein	18
Keine Angabe	2

#### 4.4.7 Rückkehr zum Sport

Im Durchschnitt konnten 85 % der Patienten nach  $9 \pm 5$  Monaten (range, 6 Wochen bis 18 Monate) ihre ursprüngliche sportliche Aktivität wiederaufnehmen. Die kürzeste Dauer der Sportkarenz betrug 6 Wochen bei leichter sportlicher Aktivität, die längste Sportpause 1,5 Jahre postoperativ. Einer der Patienten, der angab, nicht zu seinem ursprünglichen Aktivitätsniveau zurückgekehrt zu sein, gab zusätzlich an, lediglich keinen Lauf- oder Ballsport mehr auszuüben.



**Abbildung 21:** Postoperativ ausgeübte sportliche Aktivität. Sehr anstrengende Aktivitäten (Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung wie Basketball oder Fußball), anstrengende Aktivitäten (schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis), mäßig anstrengende Aktivitäten (mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen), leichte Aktivitäten (Gehen, Haus- oder Gartenarbeit)



**Abbildung 22:** Postoperativ ausgeübte Sportarten

6 Patienten haben angegeben, postoperativ keiner sportlichen Aktivität nachgegangen zu sein (siehe Abb. 24). Die Gründe dafür waren in vier Fällen unbekannt und in zwei Fällen explizit nicht mit der vorangegangenen VKB-Ruptur assoziiert.

#### **4.4.8 Postoperatives Längenwachstum**

Durchschnittlich zeigte sich in dem gesamten Patientengut ein Längenwachstum von 9 cm (range, 2-32) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Dies ist als zusätzlicher Beweis für den zum Zeitpunkt der Operation offenen Zustand der Wachstumsfugen gewertet worden.

Bezüglich des postoperativen Längenwachstums ist das Alter zum Zeitpunkt der Operation erwähnenswert. In der untersuchten Patientengruppe waren 8 Patienten zum Zeitpunkt der Operation 12 Jahre alt und jünger (31 %). Hierbei zeigte sich im Durchschnitt ein Wachstum von 15 cm ( $\pm 7,9$ ). Bei den über 12 Jahre alten Patienten zeigte sich ein durchschnittliches Wachstum von 4 cm ( $\pm 2,8$ ).

Um den Einfluss des postoperativen Längenwachstums auf die Rerupturrate evaluieren zu können, wurden die Patienten in zwei Gruppen eingeteilt (Gruppe A: n = 13 und Gruppe B: n = 13). Es zeigte sich, dass Patienten, die mehr gewachsen sind (12 vs. 5 cm), ein signifikant höheres Risiko für eine Reruptur hatten (Mann-Whitney-Test, P = 0,03).

#### **4.5 Instrumentelle Messung der vorderen Translation mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer**

Die Messung mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer erfolgte mit einer Zugkraft von 67 N, 89 N und 134 N sowie unter manueller Maximalkraft im Seitenvergleich. Im Durchschnitt wurde auf der betroffenen Seite eine tibiale Translation von 9 mm  $\pm$  3 (range, 4-13) gemessen. Die durchschnittliche Seitendifferenz der instrumentellen Messung der vorderen Translation mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer betrug 1,9 mm  $\pm$  0,95 (range 0-3,5). Drei Patienten hatten eine Seitendifferenz von 3-5 mm, wobei diese im Durchschnitt bei 3,4 mm lag. Bei einer Patientin war die Messung mit dem KT-1000<sup>®</sup> aufgrund einer aktuell bestehenden Reruptur des VKB nicht verwertbar. Bei zwei Patienten zeigten sich im operierten Bein bessere KT-1000<sup>®</sup>-Werte als auf der gesunden Seite. Hinsichtlich der unterschiedlichen Zugkraft gab es auf der betroffenen Seite bei 67 N eine tibiale Translation von 7 mm, bei 89 N eine von 8 mm und bei 134 N eine von 10 mm. Es zeigt sich keine signifikante Korrelation zwischen der Seitendifferenz im KT-

1000<sup>®</sup> und den klinischen Outcome-Parametern von IKDC 2000, KOOS und Lysholm-Score.



**Abbildung 23:** Seitendifferenz zwischen gesundem und operiertem Knie in Millimeter gemessen mittels KT-1000-Arthrometer<sup>®</sup>. Eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm wird laut Angaben des Herstellers als möglich pathologisch gewertet (79).

#### 4.6 Ergebnisse der Scores

Nachfolgend werden die Ergebnisse der verwendeten Scores (IKDC 2000, Lysholm-Score und KOOS) beschrieben.

##### 4.6.1 IKDC 2000

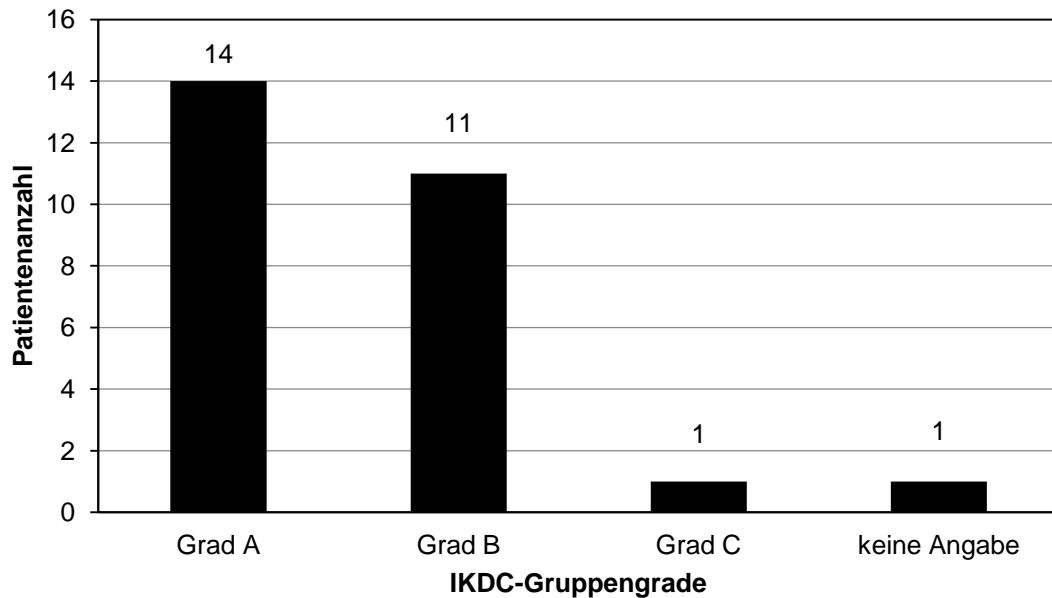
Es erfolgte zunächst die Auswertung des 2000 Formblattes zur subjektiven Beurteilung des Knies. Das Rohergebnis des IKDC wird wie im Fragebogen angegeben in das IKDC-Ergebnis umgerechnet und kann dann zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit des verletzten Kniegelenks verwendet werden.

##### 4.6.1.1 Subjektiver IKDC 2000

Das durchschnittliche Ergebnis des subjektiven IKDC 2000 (34, 35) betrug  $91,1 \pm 7,5$  (range, 70,1-100) Punkte. 3 Patienten hatten im subjektiven IKDC 2000 mit 100 erreichten Punkten das bestmögliche Ergebnis, was bedeutet, dass weder Einschränkungen im Alltag oder bei sportlichen Aktivitäten noch Symptome bestehen.

#### 4.6.1.2 IKDC-Gruppengrade

Das Ergebnis des IKDC-Gruppengrades wurde im Rahmen der klinischen Untersuchung mittels des „Formblattes zur Untersuchung des Knies“ erhoben.



**Abbildung 24:** Ergebnis IKDC-Gruppengrade zur Beurteilung der Kniefunktion. Grad A = normal, Grad B = fast normal, Grad C = abnormal

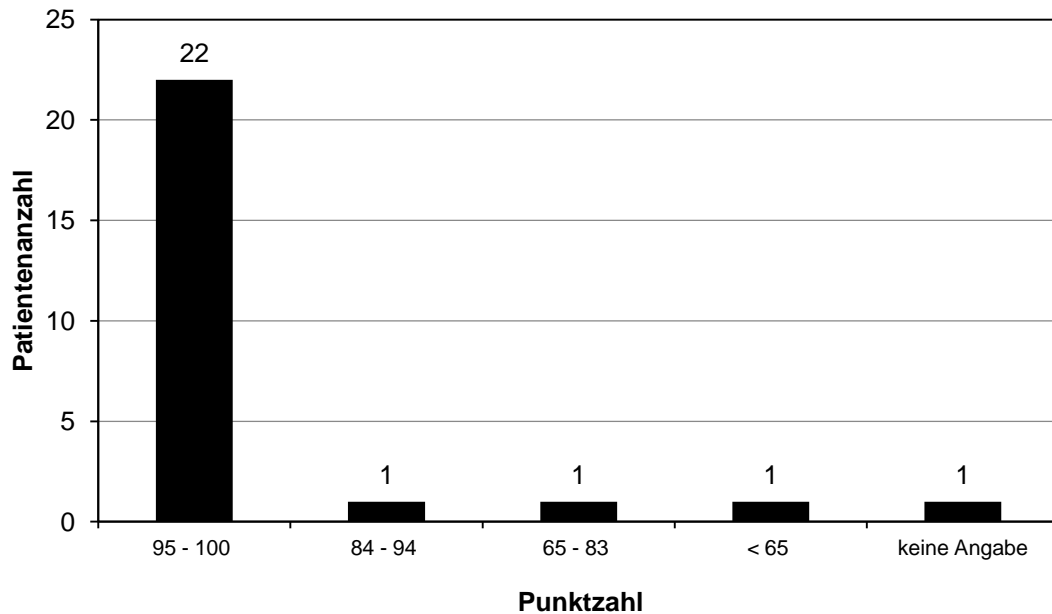
#### 4.6.2 KOOS

Das durchschnittliche Ergebnis des KOOS betrug  $94 \pm 5,6$  (range, 77,4-100).

#### 4.6.3 Lysholm-Score

Das durchschnittliche Ergebnis des Lysholm-Scores betrug  $96,4 \pm 8,5$  (range, 62-100).





**Abbildung 25:** Ergebnis Lysholm-Score. 95-100 = sehr gut, 84-94 = sehr gut, 65-83 = mäßig, < 65 = schlecht

Im Rahmen der Nachuntersuchung zeigte sich bezüglich der klinischen Outcome-Parameter IKDC 2000, KOOS und Lysholm-Score kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Reruptur.

#### 4.7 Komplikationen

Unterschieden werden grundsätzlich nichtrevisionspflichtige von revisionspflichtigen Komplikationen nach VKB-Rekonstruktion.

##### 4.7.1 Revisionspflichtige Komplikationen

Insgesamt kam es zu 5 Rerupturen des VKB-Ersatzes, wobei genaue Angaben zur Ursache, zum Beispiel ein vorangegangenes Trauma, fehlen. Die Zeit bis zum Auftreten der Reruptur zeigte sich als sehr unterschiedlich. Sie betrug 6 Monate bis 6 Jahre nach der initialen VKB-Rekonstruktion.

Als Transplantatersatz nach Ruptur der VKB-Plastik wurde bei zwei Patienten die Quadricepssehne, bei einem Patienten die ipsilaterale Gracilissehne und bei einem Patienten die kontralaterale Semitendinosussehne gewählt.

2 dieser Patienten erlitten eine zweimalige Reruptur des VKB-Ersatzes. Bei einem Patienten trat die erste Reruptur 2 Jahre, die zweite 5 Jahre postoperativ auf. Bei einem der Patienten mit zweifacher Reruptur wurde als Revisionstransplantat die

Quadricepssehne verwendet. Bei einem der Patienten mit Reruptur war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung kein Revisionseingriff durchgeführt worden.

Insgesamt kam es bei 4 Patienten zu Innenmeniskusläsionen im Verlauf, wobei es sich bei 2 Patienten um Re-Läsionen einer initial versorgten Innenmeniskusläsion handelte. 3 Patienten wurden operativ versorgt, bei einem gab es keine Angabe zu einer Operation. Bei einem Patienten wurde im OP-Bericht eine komplexe Re-Läsion des Innenmeniskus in Form eines Lappenrisses der Pars intermedia sowie eines Korbhenkelrisses der Pars posterior und eine Einklemmung des VKB-Ersatzes in Extension in der Notch beschrieben. Es erfolgte eine Kniearthroskopie mit All-Inside-Naht des Innenmeniskushinterhorns und eine Resektion des Lappenrisses sowie eine Resektion des VKB-Cyclops. Bei der ursprünglichen VKB-Rekonstruktion erfolgte bei diesem Patienten eine Innenmeniskusnaht 3x Outside-in (2-0 PDS<sup>®</sup>) und 2x All-inside (Fastfix<sup>®</sup>). Im initialen OP-Bericht der VKB-Rekonstruktion wurde ein eingeklemmter, ausgewalzter Korbhenkelriss beschrieben, der bis in das Vorderhorn reichte. Es bestand zum Zeitpunkt der Erstversorgung auch ein vernarbter Luxationsriss des Außenmeniskus-Hinterhorns. Hierbei bestand also ein sehr komplexes Verletzungsmuster. Ein Patient mit Innenmeniskus-Korbhenkelriss wurde im Verlauf mittels arthroskopischer Teilresektion versorgt. Bei ihm zeigte sich zum Zeitpunkt der VKB-Rekonstruktion eine Außenmeniskus-Crush-Läsion, die genäht wurde. Bei einem der Patienten, der initial mittels Innenmeniskusnaht und sparsamer Teilresektion versorgt wurde, erfolgte bei der Re-Läsion eine Arthroskopie. Eine genauere Angabe zur Operation erfolgte nicht. Postoperativ kam es bei keinem der untersuchten Patienten zur Infektion des VKB-Ersatzes oder des Knies. Es zeigte sich eine VKB-Revisionsrate von 19 %.

#### **4.7.2 Nichtrevisionspflichtige Komplikationen**

Als nichtrevisionspflichtige Komplikationen wurden im Rahmen der Nachuntersuchung folgende Komplikationen seitens der Patienten erwähnt. Bei einem Patienten wurde ein VKB-Cyclopsphänomen beschrieben, das jedoch ohne Bewegungseinschränkung war. Aufgrund fehlender klinischer Relevanz war keine Intervention notwendig. Ein Patient gab im Rahmen der Nachuntersuchung unspezifische Schmerzen beim Fußballspielen an.

#### **4.8 Ergebnisse in Abhängigkeit des Patientenalters**

In der Gruppe der Patienten mit einem Alter von 12 Jahren und jünger zum Zeitpunkt der Operation ( $n = 8$ ) kam es bei 3 Patienten zu einer Reruptur. Somit zeigt sich in dieser Gruppe eine Revisionsrate von 37,5 %. Im Vergleich dazu beträgt die Revisionsrate in der Gruppe der 13 Jahre alten und älteren Patienten 11 % ( $p = 0,03$ ).

Bei einem Patienten aus der Gruppe der unter 12-Jährigen wurde ein erneutes Distorsionstrauma des operierten Knies 14 Monate postoperativ beschrieben. Hierbei zeigte sich in der MRT ein aufgefasertes, signalgesteigertes Transplantat. In der danach durchgeführten diagnostischen Arthroskopie zeigte sich der VKB-Ersatz jedoch intakt. Somit zählt dieser Patient nicht in die Gruppe der Rerupturen.

In der Gruppe der Patienten, die zum Zeitpunkt der Operation 12 Jahre und jünger waren, zeigte sich im Durchschnitt ein IKDC 2000 von  $93,3 \pm 5$  (range, 85,1-100). In der Gruppe der 13 Jahre alten und älteren Patienten war der IKDC 2000 durchschnittlich mit  $90,1 \pm 8,4$  (range, 81,6 - 100) etwas schlechter.

Im Lysholm-Score zeigte sich bei den jüngeren Patienten durchschnittlich ein sehr gutes Ergebnis von 99 Punkten. Bei den älteren Patienten war dies - wie auch schon im IKDC 2000 - mit 95,2 Punkten ein wenig schlechter.

Auch beim KOOS zeigte sich in der jüngeren Patientengruppe mit 96,6 % ein besseres Ergebnis als in der älteren Patientengruppe (93 %).

Statistisch gesehen zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten  $\leq 12$  Jahren und  $> 12$  Jahren ( $p = 0,135$ ). Aufgrund der kleinen Stichprobengröße erfolgte eine Yates-Korrektur des Chi-Quadrat-Tests.

## 5 Diskussion

Die bestmögliche operative Versorgung der vorderen Kreuzbandplastik bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen wird trotz zahlreicher Studien mit guten Ergebnissen weiterhin kontrovers diskutiert.

Ziel dieser Arbeit war die Evaluation des objektiven und subjektiven klinischen Ergebnisses nach transphysealer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mittels Hamstringsehnen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die transphyseale vordere Kreuzbandplastik mit vierfacher Semitendinosussehne bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen sowohl ein gutes objektives als auch subjektives Ergebnis zeigt. In der Nachuntersuchung kam es zu keiner postoperativen Wachstumsstörung, sodass die operative transphyseale VKB-Rekonstruktion unter Beachtung der anatomischen Besonderheiten bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen eine gute Therapiemöglichkeit der intraligamentären VKB-Ruptur darstellt.

Durch die klinische Nachuntersuchung mittels semiobjektiver Tests wie dem Lachman-Test, der vorderen Schublade und dem Pivot-Shift-Test konnte das gute Ergebnis bestätigt werden. Über die Hälfte der untersuchten Patienten hatte sowohl beim Lachman-Test (59 %) und beim Pivot-Shift-Test (51 %) als auch bei der vorderen Schublade (56 %) das bestmögliche Ergebnis. 56 % der untersuchten Patienten hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wenig bis keine Beschwerden. In den klinischen Scores zeigten sich bei den nachuntersuchten Patienten mit  $91,1 \pm 7,5$  (range, 70,1 - 100) Punkten im IKDC 2000 und mit  $96,4 \pm 8,5$  (range, 62 - 100) Punkten im Lysholm-Score sehr gute Ergebnisse. Der KOOS ist wie der oben genannte IKDC 2000 und der Lysholm-Score in der Literatur einer der am häufigsten verwendeten Scores zur Untersuchung der Kniefunktion. Auch dieser Score zeigt im Durchschnitt mit  $94 \pm 5,6$  (range, 84,8-100) Punkten ein gutes Ergebnis. Dies unterstreicht das Ergebnis des IKDC 2000 und des Lysholm-Scores. Im Vergleich mit der Literatur zur transphysealen VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zeigten sich ähnlich gute und vergleichbare Werte der Knie-Scores. In dem 10-Jahres-Follow-up von Calvo et al. (85) zeigten sich bei einer fast gleichen Patientenanzahl (27 Patienten) mit durchschnittlich gleichem Alter (13 Jahre) mit 92 Punkten im Lysholm-Score und

94 Punkten im IKDC 2000 ähnliche Ergebnisse. In der Literaturanalyse von Fabricant et al. (11) zeigt die transphyseale VKB-Rekonstruktion ein ebenso gutes Ergebnis mit einem mittleren IKDC von 91,5 Punkten und einem durchschnittlichen Lysholm-Score von 93,5 Punkten. Bei der prospektiv aufgebauten Studie von Kumar et al. (70) zeigte sich ein durchschnittlicher Lysholm-Score von 95,86 Punkten.

Die instrumentelle Messung der tibialen Translation mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer wurde zur Objektivierung und Kontrolle der klinischen Tests der vorderen Schublade und des Lachman-Tests verwendet. Hierbei zeigte sich bei 20 Patienten (74 %) mit einer Seitendifferenz unter 3 mm im Vergleich zur Gegenseite das bestmögliche Ergebnis. Weitere 3 Patienten (11 %) hatten das zweitbeste Ergebnis in Form einer Seitendifferenz von 3 - 5 mm, wobei diese im Durchschnitt mit 3,4 mm nahe am bestmöglichen Ergebnis lag. Die objektiven Messungen mit dem KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer konnten das gute subjektive Ergebnis der klinischen Tests und der Knie-Scores bestätigen. Bei Hui et al. hatten 63 % eine Seitendifferenz unter 3 mm, 31 % hatten eine von 3 - 5 mm und ein Patient hatte eine über 5 mm im Vergleich zur Gegenseite (86). Die durchschnittliche Seitendifferenz der vorderen Translation gemessen mittels KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometer beträgt in Nachuntersuchung  $1,9 \text{ mm} \pm 0,95$  (range, 0-3,5). Dieses Ergebnis ist mit der durchschnittlichen Seitendifferenz in der KT-1000<sup>®</sup>-Arthrometermessung von Hui et al. identisch, sodass sich die Ergebnisse auch hinsichtlich der instrumentellen objektiven Translationsmessung mit der Literatur vergleichen lassen (86).

Früher wurde aufgrund unzureichender Forschungsergebnisse über die operative Versorgung der VKB-Ruptur die konservative Versorgung der VKB-Ruptur bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen empfohlen. In der Studie von Kocher et al. aus dem Jahr 2002 (65), in der erfahrene Orthopäden im Rahmen der „The ACL Study Group“ und der „The Herodicus Society“ mittels Fragebögen zur fiktiven Behandlung einer VKB-Ruptur bei Kindern befragt wurden, haben sich 51 bis 58 % der befragten Ärzte für eine konservative Versorgung entschieden. Als Limitation der Studie von Kocher et al. ist der Studienaufbau als reiner Fragebogen zu nennen. Dies wird auch von den Autoren kritisch diskutiert, da die Reproduzierbarkeit der Daten im Rahmen einer reinen Expertenbefragung fehlt (65). Calvo et al. empfehlen in ihrer 10-Jahres-Follow-up-Studie aus dem Jahr 2015 bei Patienten in den Tanner-Stadien 0 und I mit einer isolierten VKB-Ruptur ein konservatives Prozedere bis zum Schluss der

Wachstumsfugen (85). Es gibt jedoch zahlreiche Studien, die den konservativen Therapieansatz aufgrund schlechter Ergebnisse in Bezug auf Funktion, Stabilität und Folgepathologien wie Knorpelschäden oder Meniskusläsionen (23, 38, 40, 41, 87, 88) in den Hintergrund stellen. Somit ist die konservative Versorgung einer intraligamentären VKB-Ruptur im kindlichen Knie nach heutigen Wissensstandards nicht zu empfehlen.

Bezüglich der operativen Versorgung der VKB-Ruptur bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen unterschieden sich die Studien hinsichtlich der Operationstechnik, wie in der Einleitung beschrieben, in fugendurchbohrend („transphyseal“) und fugenschonend („physeal sparing“). In einer Studie von Kocher et al. konnte mit einer fugenschonenden Methode („physeal sparing-extraphyseal“ mittels Iliotibialistransplantat) postoperativ ein sehr gutes Ergebnis erzielt werden. Hierbei zeigten sich in einem relativ großen Patientengut von 44 präpubertären Patienten keine Wachstums komplikationen wie Beinlängendifferenzen oder Achsabweichungen. Die von Kocher et al. (89) verwendeten Knie-Scores unterstreichen das gute klinische Ergebnis mit einem Lysholm-Score von  $95,7 \pm 6,7$  und einem IKDC-Score von  $96,7 \pm 6,0$ . Es zeigte sich außerdem eine sehr niedrige Rerupturrate von 4,5 %. Bei Wall et al. (90) zeigte sich auch mit einer anderen fugenschonenden („all-epiphyseal“) Operationstechnik ein gutes funktionelles Ergebnis, es kam jedoch bei 3 Patienten zu Wachstumsstörungen in Form einer Beinlängenzunahme der operierten Seite. Es zeigte sich zudem eine hohe allgemeine Komplikationsrate von 48 %.

Hui et al. haben in ihrer Studie von 2012 (86) 16 Patienten im Tanner-Stadium I und II mit einem Follow-up von 2 Jahren nachuntersucht, die mittels transphysealer VKB-Plastik versorgt wurden. Die Anzahl der untersuchten Patienten ist relativ gering, zeigt jedoch ein gutes klinisches Ergebnis mit einem mehrheitlich negativen Lachman-Test (69 %). Das gute Ergebnis wird durch einen durchschnittlichen IKDC-Score von 96 bestätigt. Es zeigten sich auch hier keine postoperativ aufgetretenen Wachstumsstörungen. Erwähnenswert ist, dass der jüngste Patient zum Zeitpunkt der Operation 8 Jahre alt war. Zudem kam es bei den nachuntersuchten Patienten zu keiner Reruptur. Ein Grund hierfür könnte das kurze Follow-up-Intervall von 2 Jahren sein. Bei Courvoisier et al. (91) wurden 38 Patienten mit transphysealer VKB-Plastik mit vierfacher Semitendinosussehne mit ähnlich guten Ergebnissen nachuntersucht. Auch hierbei kam es zu keinen Wachstumsstörungen. Es gibt mittlerweile zahlreiche Studien zur transphyseale VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen, die

durchwegs ein sehr gutes Ergebnis zeigen, sodass die Operationstechnik in Anbetracht der anatomischen Besonderheiten bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zu empfehlen ist. In der vorliegenden Arbeit konnten diese Ergebnisse bestätigt werden.

Einer der wichtigsten Faktoren für eine erfolgreiche VKB-Rekonstruktion ist das Transplantat. In der biomechanischen Kadaverstudie von Hamner et al. (51) wurde gezeigt, dass die Stärke des Hamstring-Transplantates mit der Anzahl der Stränge zunimmt. Bei den nachuntersuchten Patienten wurden bis auf einen alle mittels vierfacher Hamstringsehne versorgt. In Hinblick auf den Transplantatdurchmesser und eine im Verlauf aufgetretene Reruptur sind hierbei einige interessante Punkte zu diskutieren. Insgesamt wurden 4 Patienten mit dem dünnsten Transplantat mit einem Durchmesser von 6,5 mm versorgt. Bei diesen kam es bei zweien zu einer Reruptur, somit zeigt sich bei diesen Patienten mit 50 % eine sehr hohe Rerupturrate. Bei der Gesamtzahl der Rerupturen waren 2 von 5 Patienten mit dem dünnsten Transplantat (6,5 mm Durchmesser) versorgt worden. Die anderen 3 Patienten mit Reruptur hatten jeweils einen Transplantatdurchmesser von 7 mm, 7,5 mm und 8 mm. Der Zusammenhang zwischen Transplantatdurchmesser und Reruptur ist jedoch in der Nachuntersuchung statistisch nicht signifikant. Bei Calvo et al. wurde bei 8 Patienten ein Tunneldurchmesser von 7 mm, bei 14 Patienten ein Tunneldurchmesser von 8 mm und bei 4 Patienten einer von 9 mm gewählt. Bei lediglich einem Patienten wurde ein Tunneldurchmesser von 10 mm beschrieben. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass alle Patienten mit einem Tunneldurchmesser über 8 mm Tanner-Stadium IV hatten. Hinsichtlich der Operationstechnik wird in der Studie beschrieben, dass der BohrkanaI sowohl tibial als auch femoral 1 mm kleiner als der Transplantatdurchmesser gewählt wurde. Ein Zusammenhang zwischen Tunneldurchmesser und Reruptur wurde in dieser Studie nicht untersucht. Laut Mariscalco et al. ist die Revisionsrate bei geringerem Transplantatdurchmesser ( $\leq 8$  mm) höher als bei dickeren Transplantaten ( $\geq 8$  mm). Dieses Ergebnis wurde auch bei Patienten unter 18 Jahren beobachtet. Hierbei kam es bei Patienten mit Transplantatdurchmessern  $\geq 8$  mm zu keinen Revisionen. Bei Transplantatdurchmessern  $\leq 8$  mm zeigte sich mit 18,3 % eine deutlich höhere Revisionsrate (92).

Die Rückkehr zum präoperativen Aktivitätslevel ist einer der ausschlaggebenden Punkte bei der Beurteilung des Ergebnisses der VKB-Rekonstruktion. Für die Planung der Therapie sollte das sportliche Aktivitätsniveau des Patienten vor der Operation bzw.

vor der Verletzung erfasst werden (33-35). In der Studie von Hui et al. (86) waren zum Follow-up nach 2 Jahren alle Patienten zum ursprünglichen Aktivitätsniveau zurückgekehrt. In dem untersuchten Patientengut konnten 85 % der Patienten nach 9 Monaten ihr präoperatives sportliches Niveau erreichen, was als positiv zu bewerten ist. Bei Kumar et al. (70) war aufgrund des prospektiven Studienaufbaus ein genauer Vergleich zwischen prä- und postoperativem Aktivitätsniveau möglich. Das postoperative Aktivitätslevel war nahezu gleich wie das präoperative (Tegner Aktivitätsscore von präoperativ 8 und postoperativ 7,6), was als sehr erfreuliches Ergebnis zu werten ist. In der Studie von Calvo et al. (85) konnten 2 von 27 Patienten (7 %) aufgrund einer Instabilität nicht zu ihrem ursprünglichen Aktivitätsniveau zurückkehren. Studien von McCarroll et al. (23, 87), in denen Patienten mit konservativer und operativer Versorgung miteinander verglichen wurden, zeigten in Bezug auf die Rückkehr zum Sport bei den operativ versorgten Patienten ein besseres Ergebnis. Alle 24 Patienten aus der operativ versorgten Gruppe konnten zum ursprünglichen Aktivitätsniveau zurückkehren. Zu erwähnen ist, dass 22 Patienten sogar wieder in den Leistungssport zurückgekehrt sind (23). Bezüglich des geschichtlichen Hintergrundes ist zu erwähnen, dass bereits 1895 beim von A. W. Mayo Robson beschriebenen Patienten mit Naht einer Kreuzbandruptur die mögliche Rückkehr zur Arbeit als Operationserfolg gewertet wurde (93).

Eine Limitation der Untersuchung ist, dass das ursprüngliche Aktivitätsniveau aufgrund des retrospektiven Studienaufbaus keinen exakten Vergleich zwischen prä- und postoperativem Aktivitätslevel zulässt. Die Patienten wurden beim Follow-up dazu befragt, wie häufig sie vor und nach der Verletzung bzw. auf welchem Niveau (Hobby oder Leistung) Sport ausgeübt haben bzw. ausüben. Die Antworten auf diese Frage sind jedoch stark subjektiv beeinflusst, da einige der Patienten postoperativ aus anderen Gründen, zum Beispiel mangels Zeit, aufgrund der Ausbildung oder aufgrund von Angst vor einer erneuten Verletzung, auf Sport verzichtet haben. Dekker et al. (94) haben mit ihrer Studie über die Rückkehr zum Sport nach VKB-Rekonstruktion im Kindesalter herausgefunden, dass eine längere Sportkarenz zu signifikant weniger Rerupturen führt. In dieser Studie zeigte sich eine relativ hohe Rerupturrate von 32 %, die mit der Rerupturrate von 25 bis 35 % bei Shelbourne et al. und Wiggins et al. (95, 96) vergleichbar ist. Bei den untersuchten Patienten sind 5 Patienten bereits nach 6 Monaten wieder zum Sport zurückgekehrt. Davon hat kein Patient eine Reruptur



erlitten, sodass sich die Aussage von Dekker et al. nicht auf diese Studie übertragen lässt. Hinsichtlich der Studie von Dekker et al. ist zu erwähnen, dass sowohl kein einheitliches Transplantat in dem untersuchten Patientengut vorliegt als auch unterschiedliche Operationstechniken (transphyseal und physeal-sparing) angewandt wurden. Vergleichbar mit dieser Nachuntersuchung ist die Tatsache, dass von den 9 % der Patienten, die nicht zum Sport zurückgekehrt sind, eine körperliche Einschränkung als Grund explizit verneint wurde. Eine Rückkehr zum Sport nach durchschnittlich 9 Monaten ist mit dem Ergebnis dieser Studie vergleichbar. Die gesamte Studie ist jedoch nur eingeschränkt zu vergleichen, da 19 der untersuchten Patienten bereits geschlossene Wachstumsfugen hatten. Laut Dekker et al. kehren mehr Kinder als Erwachsene nach VKB-Rekonstruktion zu ihrem ursprünglichen Aktivitätsniveau zurück (94).

Wie in der Einleitung ausführlich erläutert, gehören Wachstumsstörungen zu einem der am häufigsten diskutierten Themen in der Kreuzbandchirurgie bei Kindern. Ein besonderes Augenmerk der Studien zur VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen gilt der Vermeidung von Wachstumsstörungen. Bei den in der Literatur beschriebenen Wachstumsstörungen wird zwischen Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen wie Genu varum, Genu valgum und Genu recurvatum unterschieden (29, 45, 65). Das Ergebnis unserer Studie ist in Bezug auf eine postoperative Achsabweichung ein sehr positives, da die Mehrheit der nachuntersuchten Patienten (81,5 %) eine klinisch gerade Beinachse zeigt. Kritisch sind in diesem Fall die negativen Ergebnisse zu deuten, da ein Patient eine anamnestisch bereits präoperativ bestehende Valgisierung des operierten Beines angab. Dazu sind präoperativ allerdings keine entsprechenden Daten in den Akten aufgezeichnet worden bzw. keine präoperativen Ganzbeinröntgenaufnahmen zur Evaluation der Beinachse vorhanden, was diese Aussage limitiert. Zur Vermeidung einer zusätzlichen Strahlenexposition des jungen Patientenkollektivs wurden keine Röntgenaufnahmen (z. B. postoperative Ganzbeinröntgenaufnahmen) gemacht.

Sehnen, die mittels Knochenblock entnommen werden, können - wie in der Literatur beschrieben - zu Wachstumsstörungen führen und sollten deshalb nicht als Transplantat bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen verwendet werden (11, 65, 70). Die Wahl der Sehne ist unter anderem von der Präferenz des Operateurs abhängig (11). Um die postoperativen Ergebnisse der VKB-Rekonstruktionen der von uns

untersuchten Patienten vergleichen zu können, wurde als Einschlusskriterium die Verwendung der Hamstringsehnen M. Semitendinosus und M. gracilis gewählt. Die Sehne des M. semitendinosus war die am häufigsten verwendete Sehne bei der VKB-Plastik bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen in dieser Studie.

In der Studie von Kocher et al. aus dem Jahr 2002 (65), in der Ärzte im Rahmen der „The Herodicus Society“ und der „The ACL Study Group“ mittels Fragebogen zum Management sowie zu den Komplikationen der vorderen Kreuzbandruptur bei Kindern befragt wurden, zeigten sich bei 15 der eingeschlossenen 140 Patienten (11 %) Wachstumsstörungen (65). Hierbei muss erwähnt werden, dass im Unterschied zu dieser Studie keine einheitliche Sehnenwahl bei den befragten Ärzten bestand und die Wachstumsstörungen bei Patienten, die mittels Patellarsehne mit Knochenblock versorgt wurden, aufgetreten sind. Auch die anderen Wachstumsstörungen waren mit einem Knochenblock, z. B. im Rahmen der Fixierung, auf Höhe der femoralen Wachstumsfuge assoziiert. Kocher et al. (65) beschreiben die aufgetretenen Wachstumsstörungen und versuchen, eine Ursachenanalyse durchzuführen. In 8 von 15 Fällen kam es postoperativ durch einen Wachstumsstopp im Bereich der lateralen distalen femoralen Wachstumsfuge zu einer Valgusfehlstellung. Hierbei wurde in 3 Fällen die Lage des Fixierungsmaterials im Bereich der lateralen distalen femoralen Wachstumsfuge und somit die Ausbildung einer Knochenbrücke als Ursache aufgeführt. In weiteren 3 Fällen war die Verwendung von Knochenblöcken in diesem Bereich im Rahmen eines Patellarsehnentransplantates für die Ausbildung einer Knochenbrücke ursächlich. Aufgrund eines Wachstumsstopps an der Apophyse des Tuberculum tibiae kam es bei 3 Patienten zu einem tibial bedingten Genu recurvatum. Außerdem wurden 2 Patienten mit Genu valgum ohne Zeichen einer Knochenbrücke über der Wachstumsfuge sowie 2 Patienten mit Beinlängendifferenzen beschrieben (65).

In dieser Nachuntersuchung zeigten sich bei keinem Patienten klinisch relevante Beinlängendifferenzen (größer als 0,5 cm). Dieses Ergebnis stützt die bei den untersuchten Patienten angewandte transphyseale Operationstechnik unter Verwendung autologer Hamstringsehnen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen. Als Limitation dieses Ergebnisses ist jedoch zu erwähnen, dass es sich um die funktionelle, klinisch gemessene Beinlänge handelt. Im Review von Fabricant et al. kam es in keiner Studie zu transphysealen VKB-Rekonstruktionen zu einer funktionell relevanten Beinlängendifferenz von über 1 cm (11, 97). Bei Kocher et al. (65) wurde bei

zwei Patienten eine erhebliche Beinlängendifferenz von 2,5 bis 3 cm festgestellt. Diese Beinlängendifferenzen waren wie schon bei den oben genannten aufgetretenen Achsabweichungen auch mit einem Patellarsehnentransplantat mit Knochenblock assoziiert oder mit einem über 12 mm, wahrscheinlich zu großen femoralen Bohrkanal in Verbindung gebracht.

Wichtig ist, dass das Hauptaugenmerk auf die Wahl der Operationstechnik und des Transplantates sowie dessen Fixierung zu legen ist. In Hinblick auf die Vermeidung von Wachstumsstörungen empfiehlt sich eine Vermeidung von zu großen Bohrkanälen und Sehnenstransplantaten mit Knochenblöcken auf Höhe der Wachstumsfuge (65). In unserem Patientengut beträgt der Bohrkanaldurchmesser 6,5-8 mm. Bei Calvo et al. beträgt der Bohrkanaldurchmesser 7-10 mm (85). Dies könnte eine mögliche Erklärung für das Fehlen von Wachstumsstörungen bei den untersuchten Patienten sein.

Auf dem Gebiet der tierexperimentellen Studien gibt es einige erwähnenswerte Erkenntnisse hinsichtlich des Verhaltens der Wachstumsfugen nach ihrer operativen Verletzung im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion. In Studien am Tiermodell wurden genaue Untersuchungen zum Ausmaß der möglichen Verletzung der Wachstumsfuge angestellt. Die Erkenntnis von Mäkela et al. (66) aus einer Untersuchung an 44 Wachstumsfugen am distalen Femur von Kaninchen besagt, dass es ab einer Verletzung von 7 % der Wachstumsfuge zu Wachstumsstörungen kommt. Laut Seil et al. (46) entsprechen diese 7 % circa 20 % der Wachstumsfugenbreite in einem a. p. Röntgenbild, sodass dies theoretisch in die präoperative Planung einbezogen werden könnte. Trotz dieser Präzisierung und des Vergleiches mit einem Röntgenbild erscheint es schwierig, dies im operativen Alltag umzusetzen. Hierzu bedarf es weiterer Forschung, um dies praktisch umsetzen zu können.

In der Literatur wird der Begriff eines „age-related risk of growth arrest“ diskutiert (98). Dieser Begriff beschreibt ein vom Alter abhängiges Risiko für ein Auftreten von Wachstumsstörungen und die damit verbundene Wahl der Operationstechnik. Chotel et al. (99) haben in ihrer Studie aus dem Jahr 2007 beschrieben, dass es vor allem bei Patienten, die kurz vor Wachstumsende standen, also kurz vor Schluss der femoralen und tibialen Wachstumsfugen, zu Wachstumsstörungen kam. Die Autoren beschreiben zwar ein geringeres Risiko von Fehlwachstum bei älteren Kindern, jedoch sei das Risiko für einen Wachstumsstillstand bei älteren Kindern erhöht. Hierzu berufen sich Seil und

Chotel auf die Studie von Yoo et al. (100), in der die Fähigkeit zur Durchbrechung von Knochenbrücken zwischen Epi- und Metaphyse mit zunehmenden Alter abnimmt. Bei den in dieser Studie untersuchten Patienten zeigten sich weder bei den zum Zeitpunkt der Operation jüngeren noch bei den Patienten, die kurz vor Schluss der Wachstumsfugen standen, etwaige Wachstumsstörungen.

Bezüglich des postoperativen Längenwachstums ist das Alter zum Zeitpunkt der Operation erwähnenswert. 31 % der untersuchten Patienten waren bei der Operation 12 Jahre und jünger und sind im Durchschnitt postoperativ noch 15 cm gewachsen. Auch in dieser jungen Patientenuntergruppe zeigte sich keine postoperativ auftretende Beinlängendifferenz oder Achsabweichung.

Hui et al. haben in ihrer Studie Patienten in den Tanner-Stadien I und II untersucht. Es zeigte sich, dass es nach einem Follow-up von mindestens 2 Jahren nach transphysealer anatomischer VKB-Rekonstruktion mit einem sogenannten „soft-tissue-graft“ in Einzelbündeltechnik zu keinen Wachstumsstörungen kam (86). 14 der 17 untersuchten Patienten erhielten eine sogenannte Lebendspende eines Hamstring-Transplantates („Living donor-related Allograft“), ein Patient erhielt ein fresh-frozen Allograft und bei einem Patienten wurde eine autologe Hamstringsehne transplantiert. Auch in der Studie von Liddle et al. zeigten sich bei Patienten in den Tanner-Stadien I und II sehr gute Ergebnisse (101). 94 % der Patienten hatten einen durchschnittlichen Lysholm-Score von 97,5 und es zeigten sich keine Instabilitäten. Lediglich ein Patient erlitt eine traumatische Reruptur und bei einem Patienten zeigte sich im Verlauf eine geringe Valgusdeformität (5°) ohne klinische Relevanz. Als Limitation dieser beiden Studien ist die eher geringe Patientenzahl zu werten. Eine geringe Patientenzahl ist jedoch bei einem Großteil der Studien zur VKB-Rekonstruktion bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zu verzeichnen (42, 86, 101, 102). Als Stärke dieser Nachuntersuchung ist die im Vergleich zu den hier genannten Studien größere Patientenzahl zu werten.

Calvo et al. haben die Ergebnisse des Lysholm-Scores nach Tanner-Stadien ausgewertet (85). Hierbei zeigte sich bei Patienten in den Tanner-Stadien II und III ein durchschnittlicher Lysholm-Score von 96 (range, 84-100) und bei Patienten im Tanner-Stadium IV ein minimal schlechteres, aber immer noch gutes Ergebnis von 93 Punkten (range, 55-100) (85). Zu erwähnen ist, dass sich der Großteil der von Calvo et al.

untersuchten Patienten (18 von 27) im Tanner-Stadium IV befand. Hinsichtlich der Scores zeigte sich bei den von uns untersuchten Patienten, dass die zum Zeitpunkt der Operation jüngeren Patienten diskret bessere Ergebnisse als die Älteren haben. Dies ist jedoch, wie im Ergebnisteil bereits erwähnt, statistisch nicht signifikant ( $p = 0,135$ ).

Fabricant et al. empfehlen bei Kindern ein präoperatives Ganzbeinröntgen für die Evaluierung postoperativer Wachstumsstörungen (11) sowie die radiologische Bestimmung des Skeletalters nach Greulich-Pyle (103) und die Einteilung der Kinder in Tanner-Stadien (104, 105), um eine genaue OP-Planung zu gewährleisten. Präoperativ wurden bei den in dieser Studie untersuchten Patienten keine Ganzbeinaufnahmen angefertigt, was die Beurteilung einer postoperativen, fraglich neu aufgetretenen Achsabweichung erschwerte und als Limitation der Studie anzusehen ist. Als Gegenargument ist hierbei anzuführen, dass Kinder nur der absolut notwendigen Strahlenbelastung ausgesetzt werden sollten. Da die Einteilung in Tanner-Stadien bei den in dieser Studie nachuntersuchten Patienten präoperativ nicht erfolgte, ist ein genauer Vergleich nach Entwicklungsstadium der Patienten zum Zeitpunkt der Operation nicht möglich. Das ist als erhebliche Limitation unserer Studie zu betrachten.

Auch ohne die erfolgte Einteilung in Tanner-Stadien stellt sich jedoch die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen Alter zum Operationszeitpunkt und Reruptur im Verlauf gibt. Statistisch gesehen zeigte sich bei den in dieser Studie untersuchten Patienten kein signifikanter Unterschied im Alter bei Patienten mit Reruptur im Verlauf und ohne Reruptur. Jedoch zeigte sich, dass Patienten, die mehr gewachsen waren, ein signifikant höheres Risiko hatten, eine Reruptur zu erleiden (12 vs. 5 cm; Mann Whitney Test  $p = 0,03$ ). Zahlreiche Studien beschreiben eine höhere Rerupturrate für junge Patienten (86, 106-108). Shelbourne et al. beschreiben in ihrer groß angelegten Kohortenstudie zur Inzidenz der VKB-Reruptur ein erhöhtes Rerupturrisiko für Patienten unter 18 Jahren (106) und laut Hui et al. haben präpubertäre Patienten ein hohes Rerupturrisiko (86). Diese Ergebnisse werden auch im dänischen Kreuzbandregister („Danish Knee Ligament Reconstruction Registry-DKRR“) bestätigt. Hierbei zeigt sich in der Gruppe der 13- bis 20-Jährigen ein deutlich höheres Rerupturrisiko im Vergleich zu den Erwachsenen (107). Magnussen et al. haben in ihrer Studie Transplantatdurchmesser und Patientenalter als Prädiktoren für eine VKB-Revision untersucht. Auch hierbei zeigte sich eine hohe Revisionsrate bei den unter 20-jährigen Patienten mit einem Transplantatdurchmesser  $\leq 8$  mm (108). Andere

Erklärungsversuche für eine hohe Rerupturrate sind eine fehlende Compliance der jungen Patienten während der Rehabilitationsphase, eine zu frühe Rückkehr zum Sport, ein allgemein erhöhtes Aktivitätsniveau und ein langer Follow-up-Zeitraum der Studien (85, 106, 108). Als Ursachen für eine Reruptur beim Erwachsenen werden in der Literatur ein erneutes Trauma, technische Fehler im Rahmen der Operation, Infektionen (> 1 %) oder biologische Gründe angeführt (109). Laut des dänischen Registers ist die Ursache einer VKB-Reruptur bei einem Viertel der Patienten unklar. Eine zu frühe Rückkehr zum Sport wird jedoch immer wieder diskutiert, hierzu gibt es jedoch kontroverse Ergebnisse (94, 106). Eine Wiederaufnahme des Sports ist in dem bei den in dieser Studie nachuntersuchten Patienten angewandten Nachbehandlungsschema nur nach ärztlicher Wiedervorstellung, frühestens aber nach 6 Monaten postoperativ, empfohlen.

In Bezug auf Begleitverletzungen muss zwischen akuten und chronischen Begleitverletzungen unterschieden werden. Meniskusläsionen können sowohl direkt im Rahmen einer VKB-Ruptur als auch degenerativ als Folge einer chronischen Instabilität und Überlastung des Meniskus auftreten (20, 110). Bei der Analyse der in dieser Studie aufgetretenen Komplikationen zeigte sich mit 5 revisionspflichtigen Rerupturen des VKB-Ersatzes (19 %) eine hohe Rerupturrate. Dies ist mit der Studie von Courvoisier et al. (91) vergleichbar, in der eine Rerupturrate von 13 % beschrieben wurde. Bei Calvo et al. (85) zeigte sich bei 4 von 27 Patienten (15 %) eine Reruptur des VKB-Transplantates, wobei auch eine Präzisierung zur Reruptur-Ursache erfolgte. 3 Patienten hatten eine traumatische Reruptur im Rahmen einer Kontaktsituation beim Sport und bei einem Patienten wurde eine chronische Instabilität ohne Trauma beschrieben. Eine Limitation dieser Studie ist, dass genaue Daten zur Ursache der Reruptur fehlen. Bei Kumar et al. (70) gab es bei 32 nachuntersuchten Patienten nur eine Reruptur (3 % Rerupturrate).

Bezüglich der klinischen Outcome-Parameter des IKDC 2000, des KOOS und des Lysholm-Scores zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Reruptur. Dies erklärt sich am ehesten durch die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bereits durchgeführten Revisionsoperationen im Sinne einer erneuten VKB-Rekonstruktion.

Bei einem Patienten zeigte sich eine postoperative Meniskusläsion, und zwar des Innenmeniskus-Hinterhorns, die mittels MRT diagnostiziert wurde und der Grund für einen Revisionseingriff am ipsilateralen Knie war. Eine Läsion des Innenmeniskus gilt als typische Begleitverletzung der VKB-Ruptur, die sich durch den häufig beschriebenen Unfallmechanismus (Valgus- und Innenrotationstrauma) herleiten lässt (110). Bei dem erwähnten Patienten ist die Meniskusläsion jedoch erst postoperativ aufgetreten, was möglicherweise durch eine vermehrte Belastung des Innenmeniskus-Hinterhorns aufgrund einer eventuell verminderten Stabilität des VKB-Ersatzes aufgetreten sein könnte (110).

In der Studie von Dumont et al. (111) wird der Zusammenhang zwischen der Zeit bis zur Versorgung einer kindlichen VKB-Ruptur und dem Auftreten von Meniskusläsionen und Knorpelschäden untersucht. Dumont et al. zeigten, dass bei einer später versorgten VKB-Ruptur (mehr als 150 Tage nach Unfallereignis) deutlich mehr mediale Meniskus- und Knorpelschäden aufgetreten sind. Das laterale Kompartiment war unabhängig vom Zeitpunkt der Versorgung gleich häufig betroffen. Die Schlussfolgerung aus dieser Studie ist, dass eine spätere Versorgung der VKB-Ruptur mehr nachfolgende Meniskus- und damit verbundene Knorpelläsionen im medialen Kompartiment mit sich bringen kann (111). Bei Calvo et al. ist eine derartige Problematik ebenso zu erkennen. Es zeigte sich bei 5 von 7 Patienten, bei denen die operative Versorgung erst nach mehr als 6 Monaten durchgeführt wurde, eine initial nicht vorhandene Meniskusläsion (85).

Nach Abhandlung der operativen Möglichkeiten und den Ergebnissen nach Versorgung einer VKB-Ruptur im kindlichen Knie ist zu erwähnen, dass auch die Prävention einer VKB-Ruptur im Mittelpunkt zahlreicher interessanter Studien steht. Spezielle Trainingsprogramme, welche die muskuläre Kraft, die Propriozeption und die Verbesserung von Bewegungsmustern verbessern sollen, können Verletzungen vorbeugen (112). Abernethy et al. haben in ihrem Review über Strategien zur Vermeidung von Sportverletzungen herausgefunden, dass 38 Jugendliche an ihrem Präventionsprogramm teilnehmen müssten, um eine VKB-Ruptur zu verhindern (113).

In Zusammenschau der Ergebnisse dieser Nachuntersuchung und der aktuellen Studienlage sind Wachstumsstörungen eine nicht zu erwartende Komplikation nach anatomischer, transphysealer VKB-Rekonstruktion mittels vierfacher

Semitendinosussehne bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen. Aufgrund der Patientenzahl und des retrospektiven Studienaufbaus sowie der beschriebenen Limitationen sollte diese Nachuntersuchung als Anregung und Motivation für größere prospektive multizentrische Langzeitstudien auf dem Gebiet der Kreuzbandchirurgie bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen gesehen werden.

Festzuhalten ist, dass Kinder keine kleinen Erwachsenen sind und sie hinsichtlich der Therapieentscheidung, der Operation sowie der Nachbehandlung ein für sie optimiertes Behandlungskonzept brauchen.



## 6 Literaturverzeichnis

1. Dodwell ER, Lamont LE, Green DW, Pan TJ, Marx RG, Lyman S. 20 years of pediatric anterior cruciate ligament reconstruction in New York State. *Am J Sports Med.* 2014;42(3):675-80.
2. Segesser B, Goesele A. Fibulare Bandplastik mit Plantarissehne nach Weber modifiziert nach Segesser. *Sportverletz Sportschaden.* 1996;10(4):88-93.
3. Schiebler TH. Extremitäten. In: Schiebler TH, editor. *Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie.* 9.Auflage. Berlin Heidelberg: Springer 2006. p. 330-40.
4. Seil R, Pape D. Das kindliche Kniegelenk. *Arthroskopie.* 2009;22(1):6-7.
5. Pappas E, Zampeli F, Xergia SA, Georgoulis AD. Lessons learned from the last 20 years of ACL-related in vivo-biomechanics research of the knee joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc [Internet].* 2013 Apr [cited 2016 Aug 17]; 21(4):[755-66 pp.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22437657>
6. Arazi M, Ogun TC, Memik R. Normal development of the tibiofemoral angle in children: a clinical study of 590 normal subjects from 3 to 17 years of age. *J Pediatr Orthop.* 2001;21(2):264-7.
7. Cahuzac JP, Vardon D, Sales de Gauzy J. Development of the clinical tibiofemoral angle in normal adolescents. A study of 427 normal subjects from 10 to 16 years of age. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77(5):729-32.
8. Domzalski M, Grzelak P, Gabos P. Risk factors for Anterior Cruciate Ligament injury in skeletally immature patients: analysis of intercondylar notch width using Magnetic Resonance Imaging. *Int Orthop [Internet].* 2010 Jun [cited 2016 May 15]; 34(5):[703-7 pp.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20333378>
9. Swami VG, Cheng-Baron J, Hui C, Thompson R, Jaremko JL. Reliability of estimates of ACL attachment locations in 3-dimensional knee reconstruction based on routine clinical MRI in pediatric patients. *Am J Sports Med [Internet].* 2013 Jun [cited 2016 May 15]; 41(6):[1319-29 pp.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23576685>
10. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Untere Extremität. Prometheus- Lernetlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 2.Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007. p. 434-47.
11. Fabricant PD, Jones KJ, Delos D, Cordasco FA, Marx RG, Pearle AD, Warren RF, Green DW. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: a review of current concepts: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am [Internet].* 2013 Mar 06 [cited 2017 June 10]; 95(5):[e28 p.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23467876>
12. Niethard FU. Anatomie und Physiologie-Einheit von Form und Funktion. In: Niethard FU, editor. *Kinderorthopädie.* 2.Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 36-8.

13. Seil R, Robert H. VKB-Plastik bei offenen Wachstumsfugen. *Arthroskopie*. 2005;18:48-52.
14. Zantop T, Brucker PU, Vidal A, Zelle BA, Fu FH. Intraarticular rupture pattern of the ACL. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:48-53.
15. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 1975 106:216-31.
16. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:35-47.
17. Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med*. 2007;35(2):223-7.
18. Petersen W, Hansen U. Blood and lymph supply of the anterior cruciate ligament: Cadaver study by immunohistochemical and histochemical methods. *Journal of Orthopaedic Science*. 1997;2:313-8.
19. Bales CP, Guettler JH, Moorman CT, 3rd. Anterior cruciate ligament injuries in children with open physes: evolving strategies of treatment. *Am J Sports Med*. 2004;32(8):1978-85.
20. Petersen W, Zantop T. *Das vordere Kreuzband- Grundlagen und Praxis der operativen Chirurgie*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 2009. p. 49-163.
21. Fernandez FF, Wirth T, Eberhardt O. *Läsionen des vorderen Kreuzbands im Kindes- und Jugendalter*. OUP. 2014;1:17–21.
22. Collins JE, Katz JN, Donnell-Fink LA, Martin SD, Losina E. Cumulative incidence of ACL reconstruction after ACL injury in adults: role of age, sex, and race. *Am J Sports Med* [Internet]. 2013 Mar [cited 2014 December 15]; 41(3):[544-9 pp.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23302260>
23. McCarroll JR, Rettig AC, Shelbourne KD. Anterior cruciate ligament injuries in the young athlete with open physes. *Am J Sports Med*. 1988;16(1):44-7.
24. Strand T, Tvedte R, Engebretsen L, Tegnander A. [Anterior cruciate ligament injuries in handball playing. Mechanisms and incidence of injuries]. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 1990;110(17):2222-5. Norwegian.
25. Myklebust G, Maehlum S, Holm I, Bahr R. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports*. 1998;8(3):149-53.
26. Kellenberger R, von Laer L. Nonosseous lesions of the anterior cruciate ligaments in childhood and adolescence. *Prog Pediatr Surg*. 1990;25:123-31.
27. Luhmann SJ. Acute traumatic knee effusions in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2003;23(2):199-202.

28. Eiskjaer S, Larsen ST, Schmidt MB. The significance of hemarthrosis of the knee in children. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1988;107(2):96-8.
29. Stanitski CL, Harvell JC, Fu F. Observations on acute knee hemarthrosis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 1993;13(4):506-10.
30. Zantop T., Bauer G., Buchner M., Ellermann A., Seil R., KP. B. Diagnostik von VKB-Läsionen. GOTS-Expertenmeeting:Vorderes Kreuzband. 2010:33-52.
31. Unfallchirurgie. DGf. AMWF S1-Leitlinie: Vordere Kreuzbandruptur. 2014 [cited 2015 July 15]. Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-005l\\_S1\\_Vordere\\_Kreuzbandruptur\\_2014-06\\_01.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-005l_S1_Vordere_Kreuzbandruptur_2014-06_01.pdf)
32. Teske W, Anastasiadis A, Lichtinger T, von Schulze Pellengahr C, von Engelhardt LV, Theodoridis T. Ruptur des vorderen Kreuzbands. Diagnostik und Therapie. *Orthopaede* [Internet]. 2010 Sep [cited 2015 July 15]; 39(9):[883-98 pp.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20734024>
33. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med.* 1982;10(3):150-4.
34. Hefti F, Muller W. Heutiger Stand der Evaluation von Kniebandlaesionen. Das neue IKDC-Knie-Evaluationsblatt. *Orthopaede.* 1993;22(6):351-62.
35. Hefti F, Muller W, Jakob RP, Staubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1(3-4):226-34.
36. Breusch S, Mau H, Sabo D, Schneidmüller D, Clarius M. Untere Extremität. In: Breusch S, Clarius M, Mau H, Sabo D, editors. *Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie.* München: Elsevier; 2009. p. 485-96.
37. Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg Am.* 1970;52(8):1677-84.
38. Vavken P, Murray MM. Treating anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients. *Arthroscopy.* 2011;27(5):704-16.
39. Aichroth PM, Patel DV, Zorrilla P. The natural history and treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. A prospective review. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(1):38-41.
40. Mizuta H, Kubota K, Shiraishi M, Otsuka Y, Nagamoto N, Takagi K. The conservative treatment of complete tears of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77(6):890-4.
41. Graf BK, Lange RH, Fujisaki CK, Landry GL, Saluja RK. Anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: meniscal pathology at presentation and after attempted conservative treatment. *Arthroscopy.* 1992;8(2):229-33.
42. Guzzanti V, Falciglia F, Stanitski CL. Physeal-sparing intraarticular anterior cruciate ligament reconstruction in preadolescents. *Am J Sports Med.* 2003;31(6):949-53.

43. Lawrence JT, Bowers AL, Belding J, Cody SR, Ganley TJ. All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(7):1971-7.
44. Micheli LJ, Metzl JD, Di Canzio J, Zurakowski D. Anterior cruciate ligament reconstructive surgery in adolescent soccer and basketball players. *Clin J Sport Med.* 1999;9(3):138-41.
45. Frosch KH, Stengel D, Brodhun T, Stietencron I, Holsten D, Jung C, Reister D, Voigt C, Niemeyer P, Maier M, Hertel P, Jagodzinski M, Lill H. Outcomes and risks of operative treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. *Arthroscopy.* 2010;26(11):1539-50.
46. Seil R, Freiwald J, Jöllenbeck T, Bauer G, Schmitt H, Gokeler A, Engelhardt M, Dann K, Benedetto K. Rupturen des vorderen Kreuzbandes beim Kind. GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband [Internet]. 2010 [cited 2017 Februar 11]. Available from: <http://www.dann.at/pdf/kindliche-rupturen.pdf>
47. Samuelsson K, Andersson D, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to graft type and surgical technique: an assessment of randomized controlled trials. *Arthroscopy.* 2009;25(10):1139-74.
48. Stecker S, Parker R.D. Graft selection in knee cruciate ligament surgery: autograft, allograft and synthetic. *Operat Tech Orthop.* 1999;9(4):248-55.
49. Engelman GH, Carry PM, Hitt KG, Polousky JD, Vidal AF. Comparison of allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction graft survival in an active adolescent cohort. *Am J Sports Med.* 2014;42(10):2311-8.
50. Goddard M, Bowman N, Salmon LJ, Waller A, Roe JP, Pinczewski LA. Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction in children using living donor hamstring tendon allografts. *Am J Sports Med.* 2013;41(3):567-74.
51. Hamner DL, Brown CH, Jr., Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81(4):549-57.
52. Tuman JM, Diduch DR, Rubino LJ, Baumfeld JA, Nguyen HS, Hart JM. Predictors for hamstring graft diameter in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2007;35(11):1945-9.
53. Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K. Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med.* 1995;23(6):706-14.
54. Burks RT, Crim J, Fink BP, Boylan DN, Greis PE. The effects of semitendinosus and gracilis harvest in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005;21(10):1177-85.
55. Armour T, Forwell L, Litchfield R, Kirkley A, Amendola N, Fowler PJ. Isokinetic evaluation of internal/external tibial rotation strength after the use of hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004;32(7):1639-43.

56. Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M. Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. *Arthroscopy*. 2002;18(2):177-82.
57. Gobbi A, Domzalski M, Pascual J, Zanazzo M. Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: is it necessary to sacrifice the gracilis? *Arthroscopy*. 2005;21(3):275-80.
58. Kurosaka M, Yoshiya S, Andrish JT. A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1987;15(3):225-9.
59. Weiler A, Windhagen HJ, Raschke MJ, Laumeyer A, Hoffmann RF. Biodegradable interference screw fixation exhibits pull-out force and stiffness similar to titanium screws. *Am J Sports Med*. 1998;26(1):119-26.
60. Weiler A, Richter M, Schmidmaier G, Kandziora F, Sudkamp NP. The EndoPearl device increases fixation strength and eliminates construct slippage of hamstring tendon grafts with interference screw fixation. *Arthroscopy*. 2001;17(4):353-9.
61. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am*. 1984;66(3):344-52.
62. Zantop T, Weimann A, Wolle K, Musahl V, Langer M, Petersen W. Initial and 6 weeks postoperative structural properties of soft tissue anterior cruciate ligament reconstructions with cross-pin or interference screw fixation: an in vivo study in sheep. *Arthroscopy*. 2007;23(1):14-20.
63. Singhatat W, Lawhorn KW, Howell SM, Hull ML. How four weeks of implantation affect the strength and stiffness of a tendon graft in a bone tunnel: a study of two fixation devices in an extraarticular model in ovine. *Am J Sports Med*. 2002;30(4):506-13.
64. Milano G, Petersen W, Hoehner J, Paessler HH, Akoto R, Campana V, Saccomano MF, Siebold R. Fixation. In: Siebold, R., Dejour, D., Zaffagnini, S., eds. *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction- A Practical Surgical Guide*. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer. 2014:215-48.
65. Kocher MS, Saxon HS, Hovis WD, Hawkins RJ. Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and The ACL Study Group. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(4):452-7.
66. Makela EA, Vainionpaa S, Vihtonen K, Mero M, Rokkanen P. The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits. *J Bone Joint Surg Br*. 1988;70(2):187-91.
67. Seil R, Pape D, Kohn D. The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. *Arthroscopy*. 2008;24(7):824-33.
68. Barash ES, Siffert RS. The potential for growth of experimentally produced hemiephyses. *J Bone Joint Surg Am*. 1966;48(8):1548-53.

69. Frosch K.H. , Preiss A., Giannakos A. Probleme und Komplikationen nach vorderer Kreuzbandplastik im Wachstumsalter. *Arthroskopie*. Nov 2012;25(4):260-5.
70. Kumar S, Ahearne D, Hunt DM. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: follow-up to a minimum of sixteen years of age. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2013 Jan 2 [cited 2015 September 08]; 95(1):[e1 p.]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23283378>
71. Rosenberg T, Chen, LC, Cooley, VJ. Medial Collateral Ligament Healing Response Technique: Microperforation. *Techniques in Knee Surgery*. 2002;1:36-42.
72. Imhoff AB, Linke RD. Klinische Untersuchung des Knies. In: Imhoff AB, Linke RD, Baumgartner R, editors. *Checkliste Orthopädie*. 3. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2014. p. 46-9.
73. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*. 1976;4(2):84-93.
74. Noulis GC. Sprains of the knee. 1875. *Clin Orthop Relat Res*. 1997 341:5-6.
75. Kartus J, Movin T, Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy*. 2001;17(9):971-80.
76. Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med*. 1985;13(6):401-7.
77. Anderson AF, Snyder RB, Federspiel CF, Lipscomb AB. Instrumented evaluation of knee laxity: a comparison of five arthrometers. *Am J Sports Med*. 1992;20(2):135-40.
78. Daniel DM, Malcom LL, Losse G, Stone ML, Sachs R, Burks R. Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67(5):720-6.
79. [http://www.drstorm.dk/Instruks\\_for\\_laeger/knae/KTMANUAL.DOC](http://www.drstorm.dk/Instruks_for_laeger/knae/KTMANUAL.DOC) (letzter Zugriff 28.02.2017, 9:55).
80. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynnon BD. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;28(2):88-96.
81. Roos EM, Toksvig-Larsen S. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) - validation and comparison to the WOMAC in total knee replacement. *Health Qual Life Outcomes*. 2003;1:17.
82. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*. 1985 198:43-9.
83. Wabitsch M, Kunze, D. (federführend für die AGA). Konsensbasierte (S2) Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Prävention von Übergewicht und Adipositas im Kindes- und Jugendalter. Version 15.10.2015; [www.a-g-a.de](http://www.a-g-a.de).

84. Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B:752-7.
85. Calvo R, Figueroa D, Gili F, Vaisman A, Mococain P, Espinosa M, Leon A, Arellano S. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 2015;43(2):289-94.
86. Hui C, Roe J, Ferguson D, Waller A, Salmon L, Pinczewski L. Outcome of anatomic transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in Tanner stage 1 and 2 patients with open physes. *Am J Sports Med.* 2012;40(5):1093-8.
87. McCarroll JR, Shelbourne KD, Porter DA, Rettig AC, Murray S. Patellar tendon graft reconstruction for midsubstance anterior cruciate ligament rupture in junior high school athletes. An algorithm for management. *Am J Sports Med.* 1994;22(4):478-84.
88. Shelbourne KD, Patel DV, McCarroll JR. Management of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature adolescents. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4(2):68-74.
89. Kocher MS, Garg S, Micheli LJ. Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(11):2371-9.
90. Wall EJ, Ghattas PJ, Eismann EA, Myer GD, Carr P. Outcomes and Complications After All-Epiphyseal Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Skeletally Immature Patients. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(3):2325967117693604.
91. Courvoisier A, Grimaldi M, Plaweski S. Good surgical outcome of transphyseal ACL reconstruction in skeletally immature patients using four-strand hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(4):588-91.
92. Mariscalco MW, Flanigan DC, Mitchell J, Pedroza AD, Jones MH, Andrish JT, Parker RD, Kaeding CC, Magnussen RA. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Cohort Study. *Arthroscopy.* 2013;29(12):1948-53.
93. Robson AW. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg.* 1903;37(5):716-8.
94. Dekker TJ, Godin JA, Dale KM, Garrett WE, Taylor DC, Riboh JC. Return to Sport After Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Its Effect on Subsequent Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(11):897-904.
95. Shelbourne KD, Sullivan AN, Bohard K, Gray T, Urch SE. Return to basketball and soccer after anterior cruciate ligament reconstruction in competitive school-aged athletes. *Sports Health.* 2009;1(3):236-41.
96. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament

Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016;44(7):1861-76.

97. Fabricant PD, Kocher MS. Management of ACL Injuries in Children and Adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(7):600-12.

98. Frosch K.H., Seil R., Siebold R., Chotel F, Oka S., Preiss A. ACL Rupture with open physis. In: Siebold, R., Dejour, D. , Zaffagnini, S.,eds. *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction- A Practical Surgical Guide.* Berlin, Heidelberg,Deutschland: Springer. 2014:327-46.

99. Bonnard C, Chotel F. Les lésions ligamentaires et méniscales du genou de l'enfant et de l'adolescent. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2007;93(6 Suppl):95-139.

100. Yoo WJ, Kocher MS, Micheli LJ. Growth plate disturbance after transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature adolescent patients: an MR imaging study. *J Pediatr Orthop.* 2011;31(6):691-6.

101. Liddle AD, Imbuldeniya AM, Hunt DM. Transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in prepubescent children. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(10):1317-22.

102. Bollen S, Pease F, Ehrenraich A, Church S, Skinner J, Williams A. Changes in the four-strand hamstring graft in anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally-immature knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(4):455-9.

103. Acheson RM, Fowler G, Fry EI, Janes M, Koski K, Urbano P, Werfftenboschjj VA. Studies in the Reliability of Assessing Skeletal Maturity from X-Rays. I. Greulich-Pyle Atlas. *Hum Biol.* 1963;35(317-49).

104. Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child.* 1969;44(235):291-303.

105. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child.* 1970;45(239):13-23.

106. Shelbourne KD, Gray T, Haro M. Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med.* 2009;37(2):246-51.

107. Fauno P, Rahr-Wagner L, Lind M. Risk for Revision After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Higher Among Adolescents: Results From the Danish Registry of Knee Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2014;2(10):2325967114552405.

108. Magnussen RA, Lawrence JT, West RL, Toth AP, Taylor DC, Garrett WE. Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Arthroscopy.* 2012;28(4):526-31.



109. Spindler KP. The Multicenter ACL Revision Study (MARS): a prospective longitudinal cohort to define outcomes and independent predictors of outcomes for revision anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg.* 2007;20(4):303-7.
110. Zantop T, Miltner O, Engelhardt M, Seil R, Bauer G. Assoziierte Verletzungen. GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband [Internet]. 2015 [cited 2015 April]:[95-112 pp.]. Available from: <http://www.dann.at/pdf/assoziierte-verletzungen.pdf>
111. Dumont GD, Hogue GD, Padalecki JR, Okoro N, Wilson PL. Meniscal and chondral injuries associated with pediatric anterior cruciate ligament tears: relationship of treatment time and patient-specific factors. *Am J Sports Med.* 2012;40(9):2128-33.
112. Vavken P, Micheli LJ, MM M. ACL injuries in skeletally immature patients how can we improve the high rate of poor outcomes? In: Monllau JC, Sanchis-Alfonso V, editors. *The ACL-Deficient Knee: A Problem Solving Approach*. London: Springer 2012. p. 139-45.
113. Abernethy L, Bleakley C. Strategies to prevent injury in adolescent sport: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(10):627-38.

## 7 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Theresa Anna Lackner, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema „Klinisches Ergebnis nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zur Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und zu Resultaten (insbesondere Abbildungen, Tabellen) entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen jenen, die in der unten stehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

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

Datum

Unterschrift

## **8 Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen**

Theresa Anna Lackner hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Gwinner C, Lackner T, Ahrens D, Kopf S, Haas N, Jung T. Klinisches und radiologisches Outcome nach arthroskopischer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2013). Berlin, 22.-25.10.2013. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2013. doi: 10.3205/13dkou427.

Gwinner C, Kopf S, Lackner T, Degenhardt P, Haas N, Jung T. Klinisches und radiologisches Outcome nach arthroskopischem Ersatz des vorderen Kreuzbandes bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen. Deutsche Gesellschaft für Chirurgie. 131. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie. Berlin, 25.-28.03.2014. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2014. doi: 10.3205/14dgch307.

Beitrag im Einzelnen: Patientenrekrutierung, Datenerhebung, klinische Nachuntersuchung, Erstellen des Primärdatensatzes

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift der Doktorandin

## 9 Anhang

### Nachbehandlungsschema vorderes Kreuzband II

Beginn postop.	Bewegungsumfang Schienenbehandlung	Belastung	Übungsprogramm
1. Tag	Ruhigstellung in <b>0° - Schiene</b> ( Medicom Classic ) <b>für 7 Tage und Nächte</b>  Redon-Entfernung	15 kg Teilbelastung an 2 Gehstützen, (1 x zur Toilette mit KG)	- Thromboseprophylaxe - Extensionsübungen für Quadriceps (Kniestrecker)
2. Tag	Passive Beweglichkeit 0°-0° -90° 1x tgl. (erstmal durch Stationsarzt / Physiotherapeuten)	15 kg Teilbelastung an 2 Gehstützen, (selbständig) für 4 Wochen	- Extensionsübungen 5x tgl. 10 Minuten - Kryotherapie wenn Erguss - Bewegungsübungen Gegenseite (PNF) Kokontraktion (Brunkow) - passive Beugung 0°-0°-90° in Rückenlage
ab 7. Tag	passive Beweglichkeit <b>0/0/90</b> mit Don Joy 4-Titude-Schiene <b>für 3 Wochen</b>		- Extensionsübungen 0°/ 0° / 90° - Kryotherapie wenn Erguss - Patellamobilisation - Muskelaufbau (geschlossene Kette !!!!!) - aktive Flexion bis 90°, passive Extension - Gangschule
ab 5. Woche	Schiene mit <b>0/0/frei</b> <b>für weitere 4 Wochen</b> Flexion > 110°  Problemloses Treppensteigen	Volles Körpergewicht ( ohne Gehstützen ) wenn kein Erguss und bei voller Streckung	- Extensionsübungen 0° / 0° frei - aktive Flexion frei, passive Extension - Elektrotherapie - Patella-und Inzisionsmobilisation - Muskelaufbau ( geschlossene Kette ) - Gangschulung
ab 9. Woche	Quadricepskraft > 50% Flexionsdefizit < 10°		- Patellamobilisation in Beugung - Elektrotherapie - Muskelaufbau (geschlossene Kette !!!!!) - Gangschulung
ab 12.-14. Woche	normales Gangbild volle Beweglichkeit Quadricepskraft > 80%		- Intensivierung des Trainings - Laufübungen (Laufband) - propriozeptives Training (Kippbett) - Krafttraining (Beinpresse) - Reaktionstraining (Sidesteps, Sprünge)
ab 16. Woche	Halten oder Verbessern der Quadricepskraft >85%  Sportfähigkeit nach Rücksprache mit Operateur		- Schnellkrafttraining - sportspezifisches Training

#### **NUR NACH WIEDERVORSTELLUNG:**

Wiederaufnahme des spezifischen Sports, frühestens nach 6 Monaten wenn:

- stabiles Knie ( KT 1000 ≤ 3mm Seitendifferenz )
- gute Kraft ( > 85 % der Gegenseite )
- gute Koordination, kein Erguss, kein Schmerz

**Kontaktsportarten wie Fußball, Handball, Basketball etc. nach 6 - 9 Monaten**

**Wiedervorstellung Poliklinik nach 6 Wochen, 3, 6 , 12 und 24 Monaten**

## **10 Lebenslauf**

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

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

## 11 Danksagung

Ich bedanke mich bei Univ.-Prof. Dr.med. Perka für die Überlassung des Themas und die Korrektur dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Dr.med. Clemens Gwinner für die kompetente, geduldige und freundschaftliche Betreuung dieser Arbeit und die Hilfe bei der statistischen Auswertung. Lieber Clemens, ich bin dir unendlich dankbar!

In einem Gespräch über meine berufliche Zukunft hat mich mein ehemaliger Chef, PD Dr.med. Stephan Tohtz, auf die Wichtigkeit einer abgeschlossenen Doktorarbeit hingewiesen, sodass ich ihm für den nötigen Anstoß zur baldigen Fertigstellung danken möchte.

Meine Eltern haben mich während der gesamten Zeit des Studiums unterstützt und sind mitverantwortlich für das schlussendliche Gelingen dieser Arbeit.

Lene und Marie, ich freue mich, dass ich euch kenne.

Ich bedanke mich von ganzem Herzen bei allen meinen Freunden insbesondere bei Sophie, Roxanne, Christine, Laura und Felix. Sie haben mich mit ihrer Erfahrung sehr unterstützt und in ausweglos scheinenden Situationen aufgebaut. Außerdem möchte ich mich bei meinen Kollegen für die motivierenden und tröstenden Worte in der langen Endphase dieser Arbeit bedanken.

Und zu guter Letzt danke ich meinem Freund Alex für die Ablenkung und die Aufmunterung in den schwierigen Zeiten dieser Arbeit.

Wie schön, dass ich es mit eurer Hilfe geschafft habe!