

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Orthopädie und Physikalische Medizin  
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
(kommissarischer Direktor: PD Dr. med. David Wohlrab)

**Spendertransplantate in der wiederherstellenden Gelenkchirurgie  
unter besonderer Berücksichtigung der 5-Jahresergebnisse nach Revisionschirurgie  
des vorderen Kreuzbandes.**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.

vorgelegt  
der Medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Willkomm, Dörthe  
geboren am 04.11.1983 in Karl-Marx-Stadt

Betreuer: PD Dr. med. Hermann Mayr

Gutachter:

## Referat

Spendertransplantate sind in der heutigen Medizin ein unverzichtbarer Bestandteil in der Therapie von Läsionen im Knorpel- und Knochengewebe sowie in der Rekonstruktion von Bändern und Sehnen. Die Literaturrecherche über die vielfältigen Eigen- und Fremdtransplantate in der Rekonstruktion und Revision des vorderen Kreuzbandes diskutiert teilweise vergleichend Ergebnisse von Auto- und Allografts klinischer Studien und stellt Vor- und Nachteile dieser dar. Insbesondere haben Fremdtransplantate in der orthopädischen Revisionschirurgie eine nicht unbedeutende Rolle, so dass die aktuellen forensischen Vorgaben der Europäischen Union und des Deutschen Gewebegesetzes den Operateur, in seiner Wahl das geeignetste Transplantat für die individuelle Ausgangsform des Patienten zu bestimmen, einschränken. Dass der Einsatz von Allografts in der Revisionschirurgie der Wiederherstellung der Lebensqualität der Patienten dient, verdeutlicht die vorliegende Studie.

Von Mai 2000 bis Juli 2002 revidierten zwei Chirurgen einer Klinik arthroskopisch 24 Patienten mit mechanisch gereinigten fresh-frozen Allografts aus mittleren Patellarsehnedritteln bei vorderer Kreuzbandruptur. 20 Patienten entsprachen den Einschlusskriterien. Die Patienten, die in der Operationsfolge temporär als nächste mit einem autogenen mittleren Patellarsehnedrittel dem Revisionseingriff folgten, wurden in die Kontrollgruppe einbezogen.

Diese Fall-Kontroll-Studie evaluiert retrospektiv fünf bis sechs Jahresergebnisse der Eigen- und Fremdtransplantate und vergleicht diese mit vorangegangenen ein bis zwei Jahresresultaten. Zum zweiten Follow-up wurden 15 von 20 Patienten der Allograftgruppe und 14 von 20 Patienten der Autograftgruppe nachuntersucht. Ein Patient wurde durch seine traumatisch bedingte Reruptur des Allografts und erfolgter Re-Reoperation von der Studie ausgeschlossen.

Zur Feststellung der subjektiven und objektiven Befunde diente vorrangig der IKDC 2000 Score und die Messung mittels dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®. Flankierend wurden weitere Ratings verwendet. Anhand der Röntgenbilder wurde die Bohrkanallage bestimmt, die Gonarthrose graduiert, die Patellaposition beurteilt sowie eine eventuelle Bohrkanalerweiterung vermessen.

Ähnliche Ergebnisse erreichten beide Transplantatarten bei der Stabilität und den ermittelten Scores. Dadurch ist das mechanisch gereinigte fresh-frozen allogene mittlere Patellarsehnedritteltransplantat eine adäquate Alternative zum autogenen mittleren Patellarsehnedrittel.

Willkomm, Dörthe: Spendertransplantate in der wiederherstellenden Gelenkchirurgie unter besonderer Berücksichtigung der 5-Jahresergebnisse nach Revisionschirurgie des vorderen Kreuzbandes.

Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 80 Seiten, 2009

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Anatomie der Kreuzbänder	2
1.1.1	Makroskopische Aufbau	2
1.1.2	Mikroskopische Aufbau	2
1.1.3	Vaskuläre Versorgung	3
1.1.4	Innervation	3
1.2	Funktion und Biomechanik der Kreuzbänder	3
1.3	Unfallmechanismus der Ruptur des vorderen Kreuzbandes	4
1.4	Therapie der Ruptur der vorderen Kreuzbandes	4
1.4.1	Konservative Therapie	4
1.4.2	Operative Therapie	4
1.5	Allografts und Autografts in der Wiederherstellungschirurgie	4
1.6	Aufbereitung und Sterilisation der Allotransplantate	5
1.6.1	Sterilisation mit Peressigsäure	6
1.6.2	Sterilisation mit Ethylenoxid	7
1.6.3	Sterilisation mit Gammastrahlung	7
1.6.4	Thermische Sterilisation	8
1.7	Zielsetzung der Dissertation	8
<b>2</b>	<b>Literaturrecherche</b>	<b>9</b>
2.1	Selektion der Studien	9
2.2	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes durch Autografts	9
2.2.1	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Autografts	9
2.2.2	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen BPTB- und Gracilis- beziehungsweise Semitendinosussehnen-Transplantaten im Vergleich	11
2.2.3	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen BPTB-Transplantaten und autogenen Quadrizepssehnen im Vergleich	13
2.3	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes durch Allografts	14
2.3.1	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Allografts	14
2.3.2	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen und allogenen BPTB-Transplantaten im Vergleich	14

2.3.3	Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels verschiedenartiger Allografts im Vergleich	17
2.4	Revisionen des vorderen Kreuzbandes	18
2.4.1	Revisionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Allografts	18
2.4.2	Revisionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB- und A(B)T-Allografts im Vergleich	18
2.4.3	Revisionen des vorderen Kreuzbandes durch Auto- und Allografts im Vergleich	18
2.5	Primärrekonstruktionsresultate versus Revisionsergebnisse	19
2.6	Risiken der vorderen Kreuzbandwiederherstellung durch Autografts	19
2.6.1	Patella baja	19
2.6.2	Patellafrakturen	20
2.6.3	Transplantatentnahmemorbidität und vordere Knieschmerzen	20
2.7	Risiken der Kreuzbandwiederherstellung durch Auto- und Allografts	20
2.8	Risiken der Kreuzbandwiederherstellung durch Allografts	21
2.8.1	Übertragung von Erregern	21
2.8.2	Allergische Reaktion auf Spendertransplantate	21
<b>3</b>	<b>Material und Methoden der klinischen Studie</b>	<b>22</b>
3.1	Studiendesign	22
3.2	Ein- und Ausschlusskriterien	22
3.3	Patientengut	22
3.4	Transplantate	22
3.4.1	Fresh-frozen Patellarsehnedrittel-Allografts	22
3.4.2	Autogene Transplantate	23
3.5	Operationstechniken	23
3.5.1	Operative Versorgung unter Verwendung des Allografts	23
3.5.2	Operative Versorgung unter Verwendung des Autografts	23
3.6	Klinische Untersuchung	24
3.7	Scores	24
3.7.1	IKDC 2000 Score	24
3.7.2	Lysholm Score	25
3.7.3	Tegner Aktivitätsscore	26
3.8	KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®	26
3.9	Radiologische Erfassung und Auswertung	26

3.9.1	Anterioposteriore Aufnahme des Kniegelenkes	26
3.9.2	Seitliche Aufnahme des Kniegelenkes	26
3.9.3	Tangentiale Aufnahme der Patella	27
3.10	Visuelle Analogskala zur Schmerzevaluierung	27
3.11	Statistische Erhebung	27
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>28</b>
4.1	Deskriptive Daten des Patientenkollektivs	28
4.1.1	Patientenkollektiv und Nachuntersuchungszeiträume	28
4.1.2	Geschlechterverteilung	29
4.1.3	Altersverteilung	29
4.2	Manuelle Erfassung der Stabilität	29
4.2.1	Lachman Test	29
4.2.2	Mediale und laterale Aufklappbarkeit	29
4.2.3	Pivot Shift Test	30
4.3	Klinische Untersuchung der Beweglichkeit	31
4.3.1	Extensionsdefizite des revidierten Kniegelenkes im Verhältnis zur Gegenseite	31
4.3.2	Flexionsdefizite des revidierten Kniegelenkes im Verhältnis zur Gegenseite	31
4.4	Weitere Ergebnisse der klinischen Untersuchung	32
4.4.1	Krepitatio	32
4.4.2	Transplantatentnahmemorbidity	33
4.4.3	Erguss beziehungsweise Überwärmung der Kniegelenke	34
4.4.4	One-leg hop Test - Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite	34
4.4.5	Subjektive Einschätzung der Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite	34
4.4.6	Differenzen der Umfangmaße der Beine	34
4.5	Messungen der vorderen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®	35
4.5.1	Zum ersten mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt	35
4.5.2	Zum zweiten mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt	36
4.6	Ergebnisse der Scores	37
4.6.1	IKDC 2000 Score - Ergebnisse des Formblattes zur subjektiven Beurteilung des Knies und Ergebnisse des Formblattes zur Untersuchung des Knies	37

4.6.2	Tegner Aktivitätsscore	39
4.6.3	Lysholm Score	39
4.7	Radiologischen Befunde	40
4.7.1	Ausprägung der Gonarthrose zur ersten Nachuntersuchung	40
4.7.2	Ausprägung der Gonarthrose zur zweiten Nachuntersuchung	41
4.7.3	Bohrkanalerweiterung	43
4.7.4	Patellaindex und Patellaposition	43
4.7.5	Patellatiltwinkel	45
4.8	Ergebnisse der Schmerzsymptomatik	46
4.9	Komplikationen	47
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>48</b>
5.1	Studiendesign	48
5.1.1	Vergleichbarkeit der Patientengruppen	48
5.1.2	Methodik	48
5.2	Klinische Untersuchung des Bandhalteapparates	49
5.3	Klinische Untersuchung der Beweglichkeit	50
5.4	Diskussion weiterer Ergebnisse der klinischen Untersuchung	52
5.4.1	Krepitatio	52
5.4.2	Transplantatentnahmemorbidität	52
5.4.3	One-leg hop Test - Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite	53
5.4.4	Differenzen der Umfangsmaße der Beine	53
5.5	Messungen der vorderen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®	54
5.6	Resultate der klinischen Beurteilungsbögen	55
5.6.1	IKDC 2000 Score - Formblatt zur Untersuchung des Knies	55
5.6.2	IKDC 2000 Score - Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies	58
5.6.3	Tegner Aktivitätsscore	59
5.6.4	Lysholm Score	60
5.7	Radiologische Befunde	61
5.7.1	Gonarthrose	61
5.7.2	Bohrkanalerweiterung	61
5.7.3	Patellaindex und Patellaposition	63

5.7.4	Patellatiltwinkel	63
5.8	Ergebnisse der Schmerzsymptomatik	64
5.9	Limitierungen der Studie	64
5.10	Schlussfolgerungen	65
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Thesen</b>	<b>79</b>

**Tabellarischer Lebenslauf**

**Publikationen von Ergebnissen dieser Arbeit**

**Selbstständigkeitserklärung**

## Abkürzungsverzeichnis

AATB	American Association of Tissue Banks
ABT	Achilles-Bone-Tendon (Achillessehne mit Knochenblock)
ACL	anterior cruciate ligament (vordere Kreuzband)
AOSSM	American Orthopaedic Society for Sports Medicine
AT	Achilles Tendon (Achillessehne)
BPTB	bone-patellar-tendon-bone (Patellarsehne mit proximalen und distalen Knochenblock)
BPV	Boviner Parvovirus
BQT	Bone-Quadriceps-Tendon (Quadrizepssehne mit Knochenblock)
BVDV	Bovine Virusdiarrhoe Virus
dt.	deutsch
engl.	englisch
ESSKA	European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy
G	Gracillsehne
Gy	Gray
HAV	Hepatitis A Virus
HIV-2	Humane Immundefizienzvirus Typ 2
IAEA	International Atomic Energy Agency
IKDC	International Knee Documentation Committee
kGy	Kilogray
lb	pound
Man. Max.	manual maximal (manuell maximal)
Mrad	Milliradiant
N	Newton
n	Anzahl
$\sigma$	Standardabweichung
PES	Peressigsäure
PPV	Porcine Parvovirus
PRV	Pseudorabiesvirus
PT	Patellar Tendon (Patellarsehne)
PV-1	Poliovirus 1
SD	standard deviation (Standardabweichung)



ST	Semitendinosus Tendon (Semitendinosussehne)
ST/G	Semitendinosus- und Gracilissehne
vs.	versus

## 1 Einleitung

Kapsel-Band-Verletzungen des Kniegelenkes nehmen mit einer jährlichen Inzidenz von über 100.000 an Bedeutung zu, da besonders Aktivitäten im Bereich der Kontaktsportarten und des Alpinsports kontinuierlich ansteigen.<sup>51;102</sup> Diese Verletzungen bergen einen sozioökonomischen Faktor, der nicht unterschätzt werden darf. Denn das vordere Kreuzband ist mit zwischen 0,3 und 0,38 pro 1.000 Einwohnern das meist betroffene Ligament des Knies.<sup>33;35;85;86;120</sup> Die Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes führt zur Instabilität, die degenerativ Menisken und Knorpel schon frühzeitig schädigt. Dennoch ist unklar inwieweit die Entstehung von Arthrose verhindert werden kann. Die Indikation zur operativen Therapie der vorderen Kreuzbandruptur ist gegeben, um die vorhergehende Lebensqualität und Sportfähigkeit herzustellen. Erste Schritte der arthroskopischen Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes begannen 1981.<sup>24</sup> Mittlerweile ist in den Vereinigten Staaten die vordere Kreuzbandrekonstruktion bereits der sechs häufigste Eingriff.<sup>187</sup> Die allogene Kreuzbandersatzplastik ist in der Revisionschirurgie und bei komplexen Kniebandverletzungen das Mittel der Wahl. Limitierend ist jedoch die in der Bundesrepublik Deutschland herrschende Situation der Verfügbarkeit und Verwendung von Fremdsehnentransplantaten, da sie den Vorgaben der europäischen Richtlinien, dem deutschen Gewebegesetz und deren Umsetzungsverordnungen entsprechen müssen.<sup>93</sup>

Unterschiedlichste Faktoren bestimmen weiterhin die Transplantatwahl wie biomechanische Eigenschaften, Möglichkeiten der Fixierung, Hebedefekte, Alter des Patienten, Einheilung, Langzeitverhalten und die berufliche Tätigkeit des Patienten.<sup>181</sup>

Als folgenschwere operative Fehler sind Fehlplatzierungen der Bohrkanäle zu bewerten, die insbesondere bei Revisionen zum Beispiel durch ein weiteres Trauma den Erfolg eines korrekten Sitzes mindern. Die Notwendigkeit der anatomischen Kenntnisse und das Verständnis der Kinetik des Kniegelenkes sind bei diesen schwierigen Verhältnissen unabdingbar.

Das meistfrequentierte Fremdtransplantat ist die Patellarsehne; gefolgt von der Achillessehne und der Fascia lata. Die als Hamstringsehnen bezeichneten Semitendinosus- und Gracilisehnen findet man eher als Autografts wieder.

## 1.1 Anatomie der Kreuzbänder

### 1.1.1 Makroskopische Aufbau

Zwischen dem konvexen lateralen und medialen Femurkondylus verläuft die Fossa intercondylaris. Die Tibia besitzt wiederum zwei konkave Kondylen, wobei sich dazwischen die Eminentia intercondylaris schaltet. Die Fläche vor dieser Erhebung bezeichnet man als Area intercondylaris anterior; die dahinterliegende ist die Area intercondylaris posterior. Zwischen den Gelenkflächen sind Menisken. Diese beiden halbmondförmigen Faserknorpel vergrößern die Gelenkfläche auf dem Tibiplateau.

Der Kapselbandapparat des Kniegelenkes definiert sich aus dem Zentralpfeiler (das vordere und hintere Kreuzband) und dem Seitenbandsystem.<sup>113</sup> Die Kreuzbänder sind in einem fettreichen Bindegewebe gebettet.<sup>130</sup> Das Ligamentum cruciatum anteriore besitzt eine Länge von 31 bis 38 mm.<sup>113</sup> Es setzt an einer von circa 16 x 24 mm großen dorsokranialen Fläche der lateralen Wange des Femurkondylus an.<sup>113</sup> Der tibiale Ansatz ist 11 x 17 mm groß.<sup>113</sup> Beim vorderen Kreuzband wird ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel unterschieden.<sup>113</sup> Im oberen, hinteren Anteil des Kondylus entspringt das anteromediale, im vorderen Anteil hingegen das posterolaterale Bündel.<sup>186</sup> Im Verlauf der Fossa intercondylaris liegen die Bündel des vorderen Kreuzbandes hintereinander. Als Entenfuß (Duck's foot) wird das Auffächern der einzelnen Fasern an der tibialen Insertion bezeichnet.<sup>4</sup>

Mit 13 mm Breite zeigt das hintere Kreuzband einen 1,5-fachen Querschnitt des vorderen Kreuzbandes auf. Die Länge beträgt 32 bis 38 mm.<sup>113</sup> Mit dem Ursprung vom medialen Femurkondylus zieht das anterolaterale Bündel des hinteren Kreuzbandes bis zum Tibiakopf.<sup>113</sup> Von dem posterioren Anteil der femoralen Ursprungsfläche zum medialen Anteil der tibialen Insertion verläuft das kleinere posteromediale Bündel.<sup>113</sup>

### 1.1.2 Mikroskopische Aufbau

Kollagenfibrillen formen mit lockerem Bindegewebe die Struktur der Kreuzbänder. Typ-I-Kollagene bilden die extrazelluläre Matrix um die hohe Zugfestigkeit zu gewährleisten. Elastizität und Schutz der dortigen Blutgefäße geben die interstitiell befindlichen Typ-III-Kollagene.<sup>130</sup>

Das anteriore Ligamentum cruciatum weist im Bereich der Fossa intercondylaris Knorpelzellen auf, die laut Studien<sup>3;117</sup> durch Druck- und Schubbelastung ihre Genese begründen.<sup>130</sup>

### 1.1.3 Vaskuläre Versorgung

Die Arteria genus media versorgt proximal und die Arteriae genus inferiores medialis und lateralis distal das hintere Kreuzband. Die Kreuzbänder werden von einem periligamentären Blutgefäßnetzwerk umgeben, von dem das vordere Kreuzband profitiert.<sup>130</sup>

### 1.1.4 Innervation

Die Rami infrapatellares des Nervus saphenus innervieren die sensiblen Areale des Kniegelenkes, wobei sie an der Knieinnenseite nach distal verlaufen. Der superiore Zweig verläuft circa 2 cm medial der Patellarsehne und zieht 25 mm unterhalb der Patella horizontal nach lateral.<sup>169</sup> Der inferiore Zweig überkreuzt die Tuberositas tibiae in circa 70 mm Distanz zur Patella.<sup>169</sup> Die Verletzungen dieser Nerven ist selbst bei arthroskopischen Zugängen nicht auszuschließen und schließt immer die Gefahr eines Sensibilitätsausfalls und einer Neuromentwicklung ein. Horizontale Schnittführungen mindern diese Risiken.<sup>169</sup>

Das vordere und hintere Kreuzband besitzen Mechanorezeptoren wie Vater-Pacini-Körperchen, Ruffini-Körperchen und freie Nervenendigungen. Ohne Propriozeption ist die Stellung des Knies schwer evaluierbar.

## 1.2 Funktion und Biomechanik der Kreuzbänder

Die Funktion des Ligamentum cruciatum anteriore besteht einerseits in der Verschiebung der Tibia zum Femur nach anterior. Am Eindrücklichsten wirkt dieses Konstrukt in Flexion bei 20 bis 30°. <sup>117</sup> Andererseits beschränkt es in Zusammenarbeit mit dem hinteren Kreuzband die Innen- und Varusrotation. In Verbindung mit dem Ligamentum cruciatum posteriore stabilisieren sie durch ihren Verlauf diese Rotationen indem sie sich umeinander wickeln.

Die Bündel des vorderen Kreuzbandes weisen ein reziprokes Spannungsverhalten auf. Das anteromediale Bündel spannt sich in Flexion an.<sup>186</sup> Dessen Mitspieler hingegen spannt sich in Extension an.<sup>186</sup> Aus diesem Grund wird das anteromediale Bündel als Leitbündel bezeichnet, um das die übrigen Fasern des vorderen Kreuzbandes bei Flexion rotieren.<sup>113</sup>

Prinzipiell besteht ein physiologisches Impingement zwischen dem anteromedialen Bündel und der Fossa intercondylaris bei Extension, welches von einem idiopathischen Impingement unterschieden werden muss.<sup>186</sup>

Das vordere Kreuzband hat eine Reißfestigkeit von 1725 N beziehungsweise 2160 N<sup>125:183</sup>, der Transplantate entsprechen sollten.

### 1.3 Unfallmechanismus der Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Ursächlich für Rupturen des vorderen Kreuzbandes können die Außenrotation des Unterschenkels mit Varusstress beziehungsweise die Innenrotation mit Valgusstress sein. Kontaktsportarten und Alpinsport sind dafür prädestiniert. Dabei sind Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes nicht selten. Ochi et al.<sup>126</sup> diagnostizierten 17 Partialrupturen des anteromedialen und posterolateralen Bündels bei 169 vorderen Kreuzbandrupturen. In sieben Prozent der Fälle konnten isolierte Rupturen des anteromedialen und in drei Prozent des posterolateralen Bündels festgestellt werden.

### 1.4 Therapie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes

#### 1.4.1 Konservative Therapie

Die konservative Therapie sollte stets gegenüber der operativen Intervention abgewogen werden. Ziel physiotherapeutischer Maßnahmen ist die Stärkung des Streck- und Beugeapparates des Kniegelenkes. Zusätzliche Schäden wie Knorpelläsionen oder Meniskusschäden unterliegen dann nicht der Möglichkeit arthroskopisch revidiert zu werden. Das Risiko einer sich früh entwickelnden Arthrose und die damit verbundene Unzufriedenheit des Betroffenen sind erheblich.

#### 1.4.2 Operative Therapie

Laut Jäger und Wirth<sup>76</sup> ergibt sich die Indikation zur Operation bei „muskulär nicht kompensierbarer Kniegelenksinstabilität“. Die Gewährfrist der Adaption des rupturierten Bandes ist drei bis vier Wochen, danach dienen optional nur Ersatzplastiken.<sup>77</sup> Als operative Versorgungstechniken bieten sich primäre Nähte alternativ mit Reinsertion im transossären Bereich, Ersatztransplantate beziehungsweise synthetische Bandersatz an.

### 1.5 Allografts und Autografts in der Wiederherstellungschirurgie

Als Goldstandard der autogenen Transplantate gilt das Hamstringsehnentransplantat (ST/G) und das Bone-Patella-Tendon-Bone Transplantat (BPTB). Die Fixation des Hamstringsehnentransplantates, bestehend aus Semitendinosus- (ST) und Gracilissehne (G) oder ST allein, ist im Vergleich zum BPTB-Transplantat schwieriger, da keine Knochenenden der Tibia und der Patella vorhanden sind. Es wird zumeist gedoppelt um die initiale Zugkraft zu erhöhen. Die Reißfestigkeit der vierfachen Hamstringsehnentransplantate geben Wilson et al.<sup>182</sup> mit 2422 N an; die der BPTB-Transplantate mit 1784 N<sup>182</sup>. Die beklagte Morbidität des Donorknies bei der eigenen Spende ist ausgeprägter unter der Verwendung von autogenen mittleren Patellarsehnendritteln als unter der Rekonstruktion mit Hamstringsehnen. Bei der autogenen Transplantatgewinnung auftretende Komplikationen werden explizit einige unter dem Kapitel 2.6 anhand von Studien be-

legt. Dennoch seien sie hier aufgeführt: Patellafrakturen, Sensibilitätsverluste, vordere Knie-schmerzen, Patella baja, starke Extensionsdefizite, ausgeprägte intraartikuläre und periartikuläre Narbenbildungen.

Die Indikation zur Verwendung von Allografts wurde bereits in der Einleitung erwähnt, jedoch gilt es weitere Argumente zu erläutern, welche Vorteile Fremdtransplantate bergen. Die erwähn-ten Komplikationen der Autografts sind bei den Allografts seltener anzutreffen. Allografts er-möglichen eine schnellere Rehabilitation<sup>134</sup> und weisen zumeist eine geringere Anzahl von Arthrofibrosen auf. Die Möglichkeit des minimalinvasiven Eingriffes benötigt eine kürzere Operationsdauer und hinterlässt bessere kosmetische Resultate.

Auf die Gefahr der Krankheitstransmissionen und Abstoßungsreaktionen sowie der damit ver-bundenen Sterilisationsverfahren wird literaturgestützt im Kapitel 2.8.1 beziehungsweise im Kapitel 1.6 eingegangen. Teilweise werden immunologische Vorgänge für die inkomplette Ein-heilung und Vaskularisierung von Allografts vermutet, welches höhere Versagensraten durch Rupturen erklärt.<sup>73</sup>

Ein unüberwindbares Problem stellt bisher die komplizierte und geringe Verfügbarkeit von Fremdtransplantaten dar.

## **1.6 Aufbereitung und Sterilisation der Allotransplantate**

Die Art der Aufbereitung eines Transplantats ist grundlegend für dessen Qualität. Das Transplan-tat könnte ohne weitere Behandlung frisch übertragen werden. Dies beinhaltet jedoch das höchste Risiko der Abstoßung, Sensibilisierung und Infektübertragung. Die Methode des Tief-frierens der frisch entnommenen Sehne bei  $-80^{\circ}\text{C}$  (engl. deep fresh-freezing) wird derzeit am Häufigsten durchgeführt. Des Weiteren ist die Gefriertrocknung (engl. freeze-drying) und das Tieffrieren in flüssigem Stickstoff bei bis zu  $-196^{\circ}\text{C}$  (engl. cryopreservation; dt. Kryokonser-vierung) üblich. Freeze-drying und fresh-freezing zerstören Zellen mit MHC (major histocompa-tibility) Komplex. Dadurch wird das Risiko der Abstoßung des Transplantats reduziert. Im freeze-drying Verfahren gelingt es laut Crawford et al.<sup>23</sup> nicht Retroviren zu inaktivieren. Ein vorheriges Screening ist somit unausweichlich. Die Kryokonservierung ist schonend zu Fibro-blasten, so dass die Form und Struktur der Sehne erhalten bleibt. Zellschäden werden jedoch während des Einfrierens und Auftauens verursacht. Es ist ein kostspieliges Verfahren. Negative Auswirkungen auf die Stärke der Transplantate sind nicht zu befürchten.<sup>72,73</sup> Vor dem Tieffrieren kann das Gewebe im Flüssigkeitsstrom gereinigt werden. Der BioCleanse<sup>TM</sup> Tissue Sterilization Process ist ein Verfahren, welches an den Allografts in dieser Studie angewendet wurde, indem sequentielle Ultraschallbäder unter mehreren druck- und vakuum erzeugenden Zyklen für eine verbesserte Matrixpenetration sorgen.<sup>154</sup>

In früheren Studien wurde festgestellt, dass das Tieffrieren keinen Einfluss auf die Versagenslast eines Transplantates zum Zeitpunkt Null hat.<sup>72:73</sup> Eine aktuelle Studie belegt jedoch, dass zum Beispiel das Tieffrieren der Tibialis posterior Sehne die Versagenslast herabsetzt.<sup>46</sup> Bei gefriergetrockneten Transplantaten wird eine Reduzierung der maximalen Belastbarkeit beschrieben.<sup>136</sup> Die verschiedenen Behandlungsweisen ermöglichen eine unterschiedliche Lagerungsdauer. Deep fresh-frozen Präparate können sechs Monate, freeze-dried Präparate bis zu zwei Jahren aufbewahrt werden.<sup>136</sup> Die mögliche Lagerungsdauer von kryokonservierten Transplantaten ist unbekannt.<sup>136</sup>

Eine Sterilisation wäre erforderlich um Transmissionen von Viren und Bakterien sicher auszuschließen.

### 1.6.1 Sterilisation mit Peressigsäure

Peressigsäure (PES) ist ein Desinfektionsmittel mit starker mikrobizider Wirkung. Dabei durchdringen die PES-Moleküle Zellmembranen und zerstören die oxidativen Stoffwechsellzyme. Das Eindringen des Polymers wird durch Zugabe von Ethanol begünstigt, da der Alkohol die Oberflächenspannung reduziert.

Pruss et al.<sup>141</sup> prüften die Inaktivierung der Virenkapazität allogener virengespikter Knochen-spongiosa. Sterilisiert wurden sie durch PES, Ethanol und Aqua ad injectionem im Verhältnis von 2:1:1. Die Entfettung erfolgte mit Chloroform und Methanol im Gemisch von 2:1. Das Humane Immundefizienzvirus Typ 2 (HIV-2), Bovine Virusdiarrhoe Virus (BVDV), Pseudorabiesvirus (PRV) und das Poliovirus 1 (PV-1) zeigten den Effekt der Virusinaktivierung bereits nach fünf Minuten. Das Porcine Parvovirus (PPV) benötigte einen längeren Zeitraum. Außer den Hepatitis A Viren (HAV) erreichten in der vierstündigen Sterilisationsdauer alle die gewünschte Titerreduktion von mehr als 4 log<sub>10</sub>-Stufen (TCID<sub>50</sub>/ml)<sup>a</sup>. Die Detektion von Hepatitis A Viren blieb bei starker PES-Resistenz nach weiteren Entfettungsprozessen aus.

Die Prüfung von nichtviralen Mikroorganismen ließen Pruss et al.<sup>140</sup> nicht aus. Das Modell sowie das Gemisch der Peressigsäure und des Ethanols glichen der vorangegangenen Studie. In der Einwirkzeit von zwei Stunden konnten *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sporogenes*, *Mycobacterium terrae*, *Candida albicans* sowie Sporen von *Bacillus subtilis* mit einer Reduktion von über 5 log<sub>10</sub>-Stufen (cfu/ml)<sup>b</sup> erreichen. Trotz der geringeren Reduktion der Keimzahl von *Aspergillus niger* wurde auch dieser Testkeim inaktiviert.

<sup>a</sup> TCID<sub>50</sub>: tissue culture infection dose 50; als dekadischer Logarithmus oder Viruskonzentration, die 50 Prozent der beimpften Zellkulturen infiziert

<sup>b</sup> cfu: colony forming unit (dt. KbE); Kulturelle Bestimmung der Anzahl der Mikroorganismen

Scheffler et al.<sup>153</sup> urteilten anhand deren Tierstudie, dass Peressigsäure-sterilisiertes Gewebe keine Anwendung in der Kreuzbandchirurgie finden soll, da die mechanischen Eigenschaften und die Aktivität des Remodelings des Transplantats gemindert werden.

### 1.6.2 Sterilisation mit Ethylenoxid

Ethylenoxid ist wie PES ein Desinfektionsmittel; allerdings mit mutagenem Effekt. Intraartikuläre Reaktionen wie synoviale Ergüsse und zelluläre Entzündungserscheinungen zeigten die ethylenoxidpräparierten Allografts.<sup>74</sup> Femoralliegende Zysten bei BPTB-Allografts konnten radiographisch dokumentiert werden.<sup>146</sup> Durch Ethylenoxid bewirkte mechanische Verluste waren nicht nachweisbar.<sup>7</sup>

### 1.6.3 Sterilisation mit Gammastrahlung

Gammastrahlung entsteht beim Zerfall von Atomkernen. Ziel ist, die genetische Information der Erreger zur Replikation zu deformieren.

Von der International Atomic Energy Agency (IAEA) werden 25.000 Gray Gammastrahlung zur Sterilisation medizinischer Produkte empfohlen. Laut dem „Code of Practice for the Radiation Sterilization of Tissue Allografts: Requirements for Validation and Routine Control“<sup>67</sup> der IAEA würden bei einer normalen Keimverteilung mit vorangegangenen Gewebeprozessing eine Dosis von 24,8 kGy ausreichen um eine Keimbelastung von 1.000 cfu/allograft zu inaktivieren. Dieser Richtlinie liegt zu Grunde, dass die virale Kontamination serologisch ausgeschlossen werden konnte.

Eine Dosis über 30.000 Gray ist laut Fideler et al.<sup>38</sup> notwendig, um bei HIV infizierten fresh-frozen BPTB-Allografts keine DNA der Humanen Immundefizienzviren nachzuweisen. Veränderungen biomechanischer Eigenschaften sind dosisabhängig. So zeigen Bestrahlungen um 2 Mrad eine verringerte Festigkeit und Stärke von Sehnen.<sup>37</sup> Dennoch weisen klinische Outcomes bestrahlter Allografts mit dieser Dosis keine schlechteren Resultate auf.<sup>23</sup> Schädliche Effekte sind zwischen 2,5 und 4 Mrad zu erwarten<sup>115;143</sup>, die allerdings notwendig erscheinen um Retroviren abzutöten.

Pruss et al.<sup>139</sup> konnten unter Verwendung der bereits oben angeführten Viren mit Ersatz des Porcinen Parvovirus durch das Bovine Parvovirus (BPV) den Effekt der Gammastrahlung bei  $-30 \pm 5^\circ\text{C}$  an Femurdiaphysen reproduzieren. Die  $D_{10}$  Werte - jene Strahlendosis, die notwendig ist um 90 Prozent des Anfangsvirustiters beziehungsweise 1  $\log_{10}$ -Stufe zu reduzieren - betragen zwischen 5 und 7 kGy. Wider Erwarten wies das Hepatitis C Virus eine hohe Sensitivität mit  $\leq 3$  kGy auf. BPV erwies sich allerdings als resistenter Erreger, weshalb 34 kGy zur Inaktivierung empfohlen werden.



Die kleinere Größe nichtviraler Mikroorganismen ermöglichen den Gammastrahlen sie häufiger zu treffen. Allerdings bleibt bei den geringen Strahlendosen die viruzide Wirkung kläglich aus. Inwieweit es dann sinnvoll erscheint, die Bestrahlungssensibilität dieser Erreger zu evaluieren, liegt im eigenen Ermessen.

### **1.6.4 Thermische Sterilisation**

Bei dem Verfahren der Autoklavierung herrschen Temperaturen von über 100°C. Das angestrebte Ziel osteoinduktive Proteine zu erhalten, lässt sich bei diesen Temperaturen nicht verwirklichen.<sup>54</sup> Eine Reduktion der Stabilität auf 13 bis 15 Prozent der Ausgangswerte stellten Knaepler et al.<sup>99</sup> bei autoklavierter Spongiosa fest. Vergleichsweise wurde eine Stabilitätsreduzierung auf 60 Prozent der Ausgangswerte bei Temperaturbehandlungen von 100°C belegt. Untersuchungen von Metak et al.<sup>119</sup> warnen, dass die Hitzedurchdringung bei größeren Transplantaten nicht gewährleistet ist.

Mit dem bei der Desinfektion von Femurköpfen bekannte "Lobator-sd-2-System" garantieren Pruss et al.<sup>138</sup> einen hohen Schutz vor viralen Transmissionen (HIV-2, BVDV, PRV, PV-1, HAV, BPV). Diese Art der Behandlung sollte nur unter aseptischen Bedingungen erfolgen. Von Entnahmen in der Pathologie oder ähnlichen sollte Abstand genommen werden, da die nichtviralen Mikroorganismen wie *Bacillus subtilis* und *Clostridium perfringens* nur um 1 bis 2 log<sub>10</sub>-Stufen reduziert werden konnten.<sup>137</sup>

### **1.7 Zielsetzung der Dissertation**

Diese Dissertation umfasst eine Literaturrecherche der Auto- und Allografts in der Rekonstruktion und Revision des vorderen Kreuzbandes. Es werden die Vorzüge und Nachteile des gewählten Transplantats beleuchtet. In einer retrospektiven klinischen Studie werden fünf bis sechs Jahresergebnisse bei der Revision des vorderen Kreuzbandes mit autogenen und allogenen mittleren Patellarsehnendritteltransplantaten evaluiert, die mit vorhergehenden ein bis zwei Jahresresultaten verglichen werden. Die Stabilität und Funktion des Knies sowie die subjektive Zufriedenheit der Patienten werden erfasst und die Benefits der jeweiligen Behandlungsformen diskutiert. Inwieweit sich eine Arthrose trotz eines Eigen- oder Fremdtransplantats entwickelt, beantwortet die radiologische Auswertung.

## **2 Literaturrecherche**

### **2.1 Selektion der Studien**

Die Literaturrecherche wurde mittels der Suchmaschine "pubmed" mit den Suchbegriffen „allo-graft anterior cruciate ligament“ und „autograft anterior cruciate ligament“ realisiert. Es wurden prinzipiell englisch- und deutschsprachige klinische Studien mit BPTB-Allografts und/ oder BPTB-Autografts ab dem Erscheinungsjahr 1994 berücksichtigt. Referenzen der Artikel wurden ebenso mit einbezogen. Als Einschlusskriterien galten die Anwendung des IKDC Scores und/ oder eines Stabilitätsmessgerätes (Arthrometer). Der Rahmen einer Dissertation verlangt eine komprimierte Darstellung.

Abschließend der Literaturrecherche werden in Kapitel 2.6, 2.7 und 2.8 die Komplikationen beziehungsweise Risiken der Anwendung von Eigen- und Fremdtransplantaten an einzelnen dazu veröffentlichten Artikeln erläutert.

### **2.2 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes durch Autografts**

#### **2.2.1 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Autografts**

Prospektiv evaluierten Brandsson et al.<sup>11</sup> Ergebnisse von 99 arthroskopischen vorderen Kreuzbandrekonstruktionen mit BPTB-Autografts. Die Seitendifferenz betrug nach zwei Jahren 0,6 mm, die sich im Follow-up vom vierten bis zum siebten Jahr um 0,4 mm vergrößerte. Zwar zeigte sich stets eine signifikante Besserung des Lysholm Scores und 80,8 Prozent der Patienten hatten nach dem IKDC Score ein normales oder fast normales Knie, dennoch beklagten Brandsson et al.<sup>11</sup> ein Verschleiß der Grafts nach dem finalen Follow-up.

In Ververidis et al.<sup>174</sup> retrospektiven Fallserie fixierte man die ipsilaterale Patellarsehne nur mit dem tibialen Knochenblock. Nach 38 Monaten wurde die mit dem KT-Rolimeter verifizierte Stabilität in 51 von 54 Fällen als normal oder ziemlich normal gewertet. Die anhand des Insall-Salvati Indexes ermittelte Verkürzung der Patellarsehne betrug 6,07 Prozent. Drei Patienten beklagten moderate Schmerzen beim Knien, ein Patient konnte deshalb keine anstrengenden Arbeiten ausführen sowie ein Patient bestätigte eine Empfindlichkeit an der entnommenen Stelle. Drei Transplantate rupturierten in dem Beobachtungszeitraum.

Nach zwei Jahren ermittelten Peyrache et al.<sup>132</sup> mittels des IKDC Scores und des KT-1000 keine Abhängigkeit der tibialen Bohrkanaalverbreiterungen unter der Transplantation von BPTB-Autografts. Der proximale tibiale Durchmesser erweiterte sich postoperativ von  $12 \pm 1,9$  mm zu  $14 \pm 2,2$  mm nach drei Monaten und reduzierte sich nach drei Jahren auf  $13 \pm 2,4$  mm.

Jomha et al.<sup>87</sup> veröffentlichten Resultate von ipsilateralen BPTB-Autografts bei 59 Patienten. Nach fünf Jahren erreichten 18 Patienten den IKDC Grad A, 37 den Grad B und vier Patienten Grad C. Hingegen bewerteten sie nach sieben Jahren nur noch zwölf Patienten mit A, 33 mit B,

13 mit C und einen Patienten mit D. Dabei war die Seitendifferenz durchschnittlich  $1,7 \pm 1,8$  mm. Zum siebenjährigen Follow-up hatten 39 Patienten keine Anzeichen einer Oberschenkelatrophie. Im ersten Jahr zeigten hingegen 33 Patienten Verschmälerungen des Oberschenkels. Die Menishektomie war zum Rekonstruktionszeitpunkt in 67 Prozent der chronischen und in 31 Prozent der akuten oder subakuten Verletzungen notwendig, welches ein signifikantes Ergebnis darstellt ( $p < 0,025$ ). Gesteigerte osteoarthritische Veränderungen wurden bei verletzten Menisken beziehungsweise Menishektomien beobachtet ( $p < 0,02$ ). Mediale Menishektomien ( $p < 0,001$ ) verursachten größere degenerative Schäden als laterale ( $p < 0,05$ ). Als Komplikationen der anfänglich 68-zähligen Patienten geschahen drei traumatische und drei spontane Rupturen. Fünf Rupturen des kontralateralen vorderen Kreuzbandes ereigneten sich zusätzlich. Schrauben wurden bei sieben Patienten entfernt. Chirurgische Eingriffe waren in drei Fällen und arthroskopische Spaltungen der Adhäsionen bei zwei Patienten unerlässlich.

Das siebenjährige Follow-up in Järveläs et al.<sup>80</sup> Studie bestätigte wiederum das Auftreten vorderer Knieschmerzen bei autogenem BPTB-Ersatz: 47 Patienten beschrieben milde Schmerzen und vier Patienten von insgesamt 91 moderate. Die logistische Regression zeigte einen signifikanten Zusammenhang des Extensionsdefizits in Rotation mit dem vorderen Knieschmerz. Alter, Geschlecht und Gewicht der Patienten zeigten keinen Einfluss.

Inwieweit es Rekonstruktionen abzuwarten gilt, beantworteten Jäger et al.<sup>75</sup>, da 29 Prozent der akut arthroskopisch versorgten Kreuzbänder (< acht Wochen posttraumatisch) und nur zehn Prozent der verzögerten Eingriffe eine Arthrofibrose entwickelten. Sie empfehlen daher ein Intervall von sechs Wochen beziehungsweise bis eine normale Beweglichkeit des Gelenkes vorhanden ist. Dennoch hatten die später rekonstruierten Patienten ( $p < 0,01$ ) und jene mit Meniskläsionen ( $p < 0,01$ ) radiologisch stärkere degenerative Veränderungen. Die retrospektiven Langzeitergebnisse (113 Monate) der BPTB-Autografts ( $n = 74$ ) zeigten nach dem IKDC Gesamtscore zu 55,4 Prozent ein normales beziehungsweise fast normales Knie. Komplikativ stellten sich neben 13 Arthrofibrosen auf Grund einiger Streckdefizite noch spätere Notchplastiken ( $n = 5$ ) dar.

In einer langfristigen Fallserie (11,6 Jahre) von Lebel et al.<sup>109</sup> über 98 Patienten mit 101 BPTB-Autograftrekonstruktionen geschahen neun Rupturen. Der subjektive IKDC 2000 Score betrug  $90,5 \pm 8,8$  Punkte. 90,1 Prozent der Kniegelenke gehörten den Grad A oder B des IKDC 2000 Scores an. Arthrotische Veränderungen zeigten über 39 Prozent und 17,8 Prozent entwickelten jene. Lebel et al.<sup>109</sup> wiesen eine Korrelation des Body Mass Index mit der Entwicklung degenerativer Veränderungen nach, die zuvor in Langzeitstudien noch nicht erwähnt wurde ( $p = 0,01$ ). In einer selektierten Gruppe ohne Sekundärschäden diagnostizierte man nur eine Arthroserate von acht Prozent.

Eine signifikante Entwicklung der Osteoarthritis im Vergleich zum kontralateralen Knie wurden von van der Hart et al.<sup>172</sup> trotz guter Resultate (86 % Grad A oder B) bei der Rekonstruktion mit BPTB-Autografts nach 10,3 Jahren festgestellt.

Ebenfalls gute Langzeitresultate (10,7 Jahre) der ipsilateralen BPTB-Autografts ermittelten Hertel et al.<sup>61</sup> retrospektiv. 22,1 beziehungsweise 62,1 Prozent hatten nach dem IKDC Score normale beziehungsweise ziemlich normale Kniegelenke. Sensibilitätsausfälle der Haut bejahten 54 Prozent. Im Knee-walking Test<sup>c</sup> hatten 25 Prozent milde und zwei Prozent starke Schmerzen. Die Chirurgie der Menisken stellte einen determinierenden Faktor dar. Radiographisch diagnostizierte Gelenkspaltannäherungen traten patellofemorale in 19, im medialen Kompartiment in 15 und im lateralen zu 25 Prozent auf. Als Komplikationen entwickelten drei Patienten, die innerhalb einer Woche posttraumatisch transplantiert wurden, Arthrofibrosen und eine Patella frakturierte während der Rehabilitation.

## **2.2.2 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen BPTB- und Gracilis- beziehungsweise Semitendinosussehnentransplantaten im Vergleich**

Chouliaras et al.<sup>19</sup> untersuchten in einer Fall-Kontroll-Studie elf Patienten mit mittleren Patellarsehnendritteln (Follow-up 1 Jahr), elf mit einer vierfachen Hamstringsehne (Follow-up 9 Monate) und elf Kontrollen. Zwischen den KT-1000 Seit-zu-Seit Differenzen gab es keinen signifikanten Unterschied (ST/G- 1,3 mm vs. BPTB-Gruppe 1,7 mm). Chouliaras et al.<sup>19</sup> sind überzeugt, dass die zwei meistfrequentierten Autografts für die vordere Kreuzbandrekonstruktion das normale Level der tibialen Rotation nicht wiederherstellen können.

Aglietti et al.<sup>1</sup> beobachteten in ihrer prospektiven Studie nach 28 Monaten eine Teilnahme bei Sportaktivitäten von 80 Prozent in der BPTB-Gruppe (n = 30) und nur 43 Prozent der ST/G-Gruppe (n = 30; p < 0,01). Geringe Extensionsverluste (1-3°) wurden häufiger (47 %) in der BPTB-Gruppe erkannt (ST/G-Gruppe: 3 %; p < 0,001). Patellofemorale moderate Krepitation traten zu 17 Prozent in der BPTB- und zu drei Prozent in der ST/G-Gruppe auf. Ein Absinken der Patellahöhe über zehn Prozent präsentierte sich bei vier Kniescheiben in der BPTB-Gruppe und in einem Fall der anderen Gruppe. Diese Differenzen waren statistisch nicht signifikant. Aglietti et al.<sup>1</sup> sind der Ansicht, dass beide Transplantatarten sich nicht prinzipiell unterscheiden. BPTB-Transplantate weisen eine höhere Stabilität auf. Bei den ST/G-Transplantaten traten allerdings die patellare Problematik und die des Bewegungsausmaßes in den Hintergrund.

Die patellare Symptomatik bestätigten auch Svensson et al.<sup>167</sup>, indem der Knee-walking Test bei Patientinnen nach 26 Monaten in der BPTB- verglichen mit der ST/G-Gruppe schlechter ausfiel (p = 0,003). Wie Laxdal et al.<sup>107</sup> stellte man objektiv keine Unterschiede der Laxität fest. In

<sup>c</sup> Knee-walking Test: Test zur Evaluierung von Schmerzen, wobei auf den Knien gelaufen wird.

deren Studie galt der Vergleich der Transplantate den männlichen Patienten. Die BPTB-Gruppe erlangte nach 25 Monaten einen signifikant höher graduierten Tegner Activity Score ( $p = 0,02$ ).

In der prospektiv randomisierten Studie von Shaieb et al.<sup>158</sup> beklagten die BPTB-Patienten nach sechs Monaten öfters vordere Knieschmerzen (BPTB- 48 % vs. ST/G-Gruppe 20 %;  $p = 0,006$ ). Nach einem Follow-up von zwei Jahren änderte sich die Inzidenz des Symptoms nur geringfügig (BPTB- 42 % vs. ST/G-Gruppe 20 %;  $p = 0,05$ ).

Randomisierend wurden 125 Patienten in O'Neill's<sup>127</sup> prospektiver Studie in drei Gruppen aufgeteilt: Gruppe I und II beinhalteten jeweils 40 Patienten, die per arthroskopischer Zweit-Inzision mit autogenen ST/G- beziehungsweise BPTB-Transplantaten rekonstruiert wurden. Gruppe III inkludierte 45 Patienten, bei denen eine arthroskopische Single-Inzision Rekonstruktion mit autogenen PT-Transplantaten erfolgte. Nach dem Follow-up von 42 Monaten resümierte O'Neill<sup>127</sup>, dass 88 Prozent der Gruppe I, 95 Prozent der Gruppe II und 89 Prozent der Gruppe III zu ihren üblichen Sportlevel zurückkehrten. Signifikant unterschied sich Gruppe II, die ein intensiveres Level der Sportaktivität ausübte ( $p < 0,02$ ). Sie wies eine prozentual höhere Patientenanzahl bei Translationsdifferenzen  $\leq 3$  mm auf. Im gesamten Outcome konnte kein signifikanter Unterschied der Transplantate und der verschiedenen Techniken festgestellt werden.

Corry et al.<sup>22</sup> verglichen prospektiv zwei Jahre postoperativ 82 BPTB-transplantierte Patienten mit 85 ST/G-Transplantierten. Keine Unterschiede konnten in der Stabilität und im Bewegungsausmaß verifiziert werden. Die Oberschenkelatrophie bei den BPTB-Patienten war nur postoperativ nach einem Jahr signifikant ( $p = 0,002$ ). Schmerzen beim Knien hatten 55 Prozent der BPTB-Gruppe nach einem Jahr; nach zwei Jahren 31 Prozent. Hingegen waren in der ST/G-Gruppe sowohl nach dem ersten als auch nach dem zweiten Jahr nur sechs Prozent betroffen ( $p = 0,0002$ ).

Ejerhed et al.<sup>32</sup> wiesen in ihrer randomisierten prospektiven Studie nach, dass autogene ST eine gute Alternative zu BPTB-Autografts darstellen. Resultate im Knee-walking Test bewiesen den Vorteil der Anwendung von ST, da es nur acht von 34 Patienten (23 %) unmöglich oder schwierig erschien diesen Test durchzuführen; 53 Prozent (17 von 32) hingegen in der BPTB-Gruppe ( $p = 0,01$ ). Nach einem Follow-up von zwei Jahren konnten 53 Prozent der BPTB-Gruppe und 59 Prozent der ST-Gruppe laut dem IKDC Score als normal oder ziemlich normal beurteilt werden. Keine signifikanten Unterschiede zeigten sich im Lysholm und Tegner Activity Score, der Häufigkeit des vorderen Knieschmerzes sowie im KT-1000.

Die ebenfalls randomisiert und prospektiv angelegte Langzeitstudie (Follow-up 86 Monate) von Lidén et al.<sup>111</sup> konnte deren Hypothese, dass BPTB-Autografts häufiger Morbidität des Spenderknies erzeugen als ST-Autografts, nicht bestätigen. Des Weiteren zeigten auch sie keine

signifikanten Unterschiede bezüglich des Lysholm, Tegner Activity Scores, der KT-1000 Arthrometermessung, des manuellen Lachman Tests und des Bewegungsumfangs.

Eine kontrollierte prospektive Studie über zehn Jahre im Vergleich von autogenen ipsilateralen PT- und ST/G-Transplantaten veröffentlichten Pinczewski et al.<sup>133</sup> Die Rupturraten unterschieden sich nicht signifikant (7/90 BPTB vs. 12/90 ST/G;  $p = 0,24$ ). Allerdings beobachteten sie 20 kontralaterale Rupturen der BPTB-Gruppe; in der ST/G-Gruppe nur neun ( $p = 0,02$ ). Entnahmemorbidität ( $p = 0,001$ ), Schmerzen beim Knien ( $p = 0,01$ ) und Arthrose ( $p = 0,04$ ) wurden häufiger in der BPTB-Gruppe verifiziert.

Hingegen diagnostizierten Lidén et al.<sup>110</sup> in einer weiteren Studie keinen Unterschied der Arthroseausprägung zwischen diesen Transplantatarten nach 86 Monaten. Die assoziierten meniskalen Schäden lassen die Prävalenz der Arthrose ansteigen. Den Knee-walking Test absolvierte die ST/G-Gruppe erfolgreicher ( $p = 0,02$ ).

Hiemstra et al.<sup>62</sup> stellten acht mit autogenen BPTB- und 16 mit autogenen ST/G-Transplantaten vor über einem Jahr rekonstruierte Knie einer gematchten Kontrollgruppe ( $n = 30$ ) gegenüber. Keine signifikanten Unterschiede existierten im subjektiven Abschnitt des IKDC Scores, bei der Schmerzangabe der Visuellen Analogskala und im KT-1000. Allerdings zeigte auch hier die ST/G-Gruppe ein bedeutsam höheres selbstberichtetes Niveau der Funktion ( $p < 0,05$ ). Die kreuzbandrekonstruierten Patienten wiesen ein Kraftdefizit der Extensoren von 25,5 Prozent auf. Kraftdefizite der Flexoren waren in der ST/G-Gruppe auffällig. In der BPTB-Gruppe mangelte es an Extensorenkraft. Hiemstra et al.<sup>62</sup> empfehlen postoperativ eine abgestimmte Physiotherapie dieser Defizite.

Kim et al.<sup>96</sup> empfehlen Patienten mit ausgeprägter Kniegelenklaxität bezüglich der Stabilität (BPTB-  $3,4 \pm 1,5$  mm vs. ST/G-Gruppe  $4,5 \pm 2,0$  mm;  $p = 0,036$ ) eher BPTB- als ST/G- Autografts (vierfach gebündelt) zu transplantieren.

### **2.2.3 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen BPTB-Transplantaten und autogenen Quadrizepssehnen im Vergleich**

Gorschewsky et al.<sup>48</sup> verglichen nach zwei Jahren retrospektiv 93 autogene Quadrizepssehnen mit Patellablock (BQT) mit 101 BPTB-Autografts. Signifikant unterschieden sie sich in der Auswertung des IKDC 2000 Scores, indem 97 Prozent der BPTB-Gruppe und 83 Prozent der BQT-Gruppe als normal oder ziemlich normal bewertet wurden ( $p < 0,001$ ). Allerdings zeigte die BQT-Gruppe keine Morbidität der Entnahmestelle. Die Autoren empfehlen die BQT-Transplantate als gute Alternative für Patienten mit knienden Tätigkeiten oder prolongierten Beugen.

Ebenfalls verglichen Han et al.<sup>55</sup> die beiden Transplantatarten. Den von Gorschewsky et al.<sup>48</sup> festgestellten signifikanten Unterschied in der Beurteilung des IKDC 2000 Scores konnten sie nicht bestätigen. Nach 42,1 Monaten wiesen 82 Prozent der BPTB-Gruppe und nach 39,7 Monaten 84 Prozent der BQT-Gruppe ein normales oder ziemlich normales Kniegelenk auf. 28 von 72 Patienten der BPTB-Gruppe und sechs von 72 Patienten der BQT-Gruppe beklagten vordere Knieschmerzen ( $p < 0,05$ ).

## **2.3 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes durch Allografts**

### **2.3.1 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Allografts**

Nin et al.<sup>122</sup> verfolgten prospektiv 60 Patienten mit fresh-frozen, nichtbestrahlten BPTB-Allografts. Den IKDC Score Grad A oder B erreichten nach durchschnittlich 47 Monaten 85 Prozent. Second-look Arthroscopien wurden nach zehn Monaten bis zu drei Jahren postoperativ bei 45 Patienten durch Entfernung der distalen Schraube vollzogen. Gut vaskularisierte Synovia umgab die Transplantate, die sich an deren Enden hypervaskularisiert darstellten. Die arthroskopisch als abnorm bewerteten Transplantate wiesen auch im IKDC Score Grad C auf.

### **2.3.2 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels autogenen und allogenen BPTB-Transplantaten im Vergleich**

Barrett et al.<sup>6</sup> bestätigten, dass durch fresh-frozen, nichtbestrahlte BPTB-Allografts ( $n = 38$ ) rekonstruierte Patienten (alle  $> 40$  Jahre) eine schnellere Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten (Allograft 57 % (12/21) vs. Autograft 25 % (4/16) nach sechs Monaten;  $p = 0,005$ ) gelingt. Dennoch wiesen sie verglichen mit BPTB-Autografts ( $n = 25$ ) nach zwei Jahren eine höhere Laxität ( $p = 0,398$ ) sowie ein höheres Risiko zu Versagen (ein Patient) auf.

Chang et al.<sup>18</sup> untersuchten 46 BPTB-Allografts und 33 BPTB-Autografts retrospektiv über ein Follow-up von 2,75 beziehungsweise 3,36 Jahren. Gesichert ist, dass 40 Allografts fresh-frozen wurden; wobei zehn bestrahlt und die restlichen nichtbestrahlt wurden. Alle Patienten erhielten eine iliotibiale Bandtenodese. Nur 65 Prozent der Allograftpatienten kehrten zu ihren früheren Aktivitätslevel zurück; 73 Prozent hingegen bei den Autograftpatienten. Im Vergleich der Seit-zu-Seit Differenzen gab es keinen signifikanten Unterschied. Der retropatellare Schmerz (Allograft 16,3 % vs. Autograft 9,1 %) sowie die Inzidenz der Flexionsdefizite  $\geq 5^\circ$  (Allograft 53 % vs. Autograft 22,7 %) waren bei der allogenen Gruppe signifikant häufiger. Traumatische Rupturen ereigneten sich bei drei nichtbestrahlten Allografts. Arthrofibrosen entwickelten vier Allograftpatienten und nur ein Autograftpatient. Chang et al.<sup>18</sup> sind der Ansicht, dass BPTB-Autografts den Goldstandard darstellen sollten; wobei BPTB-Allografts alternativ anzuwenden sind.

Bedacht werden muss, dass die allogene Gruppe älter war, eine geringere Rehabilitationscompliance und eine stärker ausgeprägte präoperative Laxität sowie Chondromalazie aufwies.

Kustos et al.<sup>104</sup> veröffentlichten Ergebnisse 38 Monate nach der Rekonstruktion mit 53 autogenen und 26 allogenen fresh-frozen und nichtbestrahlten und BPTB-Transplantaten. Der postoperative Lysholm Score der Autograftgruppe betrug  $89,9 \pm 8,1$ ; der der Allograftgruppe  $84,1 \pm 18,6$  Punkte. Der Tegner Activity Score zeigte allerdings keine statistische Signifikanz zwischen den Gruppen. Flexionsdefizite wurden des Öfteren bei den autogenen Spendern (Autograft 13/53 vs. Allograft 7/26) diagnostiziert. Ein Extensionsdefizit von  $> 5^\circ$  wurde einmalig in der Allograftgruppe erkannt. Zwei Revisionen in der allogenen und eine in der autogenen Gruppe sowie drei second-look Arthroskopien waren notwendig. Ein allogenes Graft rupturierte während des Einbaus. Resümierend stellten Kustos et al.<sup>104</sup> in deren retrospektiven, nichtrandomisierten Studie keinen signifikanten Unterschied des funktionellen und subjektiven Parts fest.

Kleipool et al.<sup>97</sup> verglichen prospektiv 26 ipsilaterale BPTB-Autografts mit 36 fresh-frozen BPTB-Allografts nach 52 beziehungsweise 46 Monaten. Als normal oder ziemlich normal werteten sie nach dem IKDC Score 18 Knie der Autograftpatienten (69,2 %) und 30 der Allograftpatienten (83,3 %). Dieser Unterschied ist zwar nicht signifikant, dennoch stellen laut Kleipool et al.<sup>97</sup> BPTB-Allografts eine gute Alternative zu Autografts bei der Rekonstruktion dar. Des Weiteren konnte kein signifikanter Unterschied des anterioren Knieschmerzes, des Lysholm oder Tegner Activity Scores verifiziert werden. Interessant ist, dass für die Chirurgie beider, die gleiche durchschnittliche Operationsdauer benötigt wurde (2:13 Stunden), obwohl in der Literatur eine kürzere Operationszeit der Allografts betont wird.<sup>21</sup>

Gorschewsky et al.<sup>50</sup> werteten ihre zweijährigen klinischen Daten von 104 autogenen und 97 lösungsmittelkonservierten, gammastrahlensterilisierten BPTB-Allografts mit histologischen Präparaten auf. Bei 96,1 Prozent der Allograftgruppe war der Bewegungsumfang normal; in der Autograftgruppe 86,9 Prozent. Die Mittelwerte der anterioposterioren Translation sind im Vergleich signifikant unterschiedlich: 1,62 mm der Allografts versus 1,07 mm der Autografts. Rerupturen traten bei 20 Patienten (20,6 %) der Allograft- (nach 11,75 Monaten) und bei fünf Patienten (4,8 %) der Autograftgruppe (nach 17 Monaten) auf. Bei Ausschluss der rerupturierten Patienten ergab der IKDC Gesamtscore für die Allograftgruppe in 89,6 Prozent gute und sehr gute Ergebnisse; die Autografts erreichten diese Bewertung mit 97,0 Prozent. Histologisch zeigten sich beim allogenen Material ein verzögerter Umbauvorgang und damit eine verbundene verzögerte Inkorporation. Laut Gorschewsky et al.<sup>50</sup> sind Allografts als Transplantate bei jungen, dynamischen Patienten sowie Sportlern auf Grund der stärker ausgeprägten Elongation und höheren Rerupturrate abzulehnen. Die hohe Transplantatentnahmemorbidität (55,8 %), die durch Eigentransplantate verursacht wird, muss man bei Patienten mit knienden Tätigkeiten zu vermeiden wissen.<sup>12</sup>



Allografts oder alternative Transplantate sind dann zu verwenden.

Mittels einer weiteren Studie verfolgten Gorschewsky et al.<sup>49</sup> diese 201 Patienten über sechs Jahre um das weitere Auftreten von Rupturen zu beobachten. Innerhalb von zwei Jahren blieb es bei den erwähnten 20 Rupturen. Nach einem Follow-up von sechs Jahren ereigneten sich insgesamt 38 solcher Komplikationen (44,7 %) in der Allograftgruppe (n = 85) und sechs (5,9 %) in der Autograftgruppe (n = 101). Normale und ziemlich normale IKDC Scores hatten 36 Prozent der Allografts nach sechs Jahren; Autografts 83,2 Prozent. Mit einer normalen antero-posterioren Translation im Lachman Test zeigten sich 76,2 Prozent der Autografts gegenüber 24,7 Prozent der Allografts überlegen. Mögliche Immunreaktionen (Schwellung, lokale Hyperämie, leichten postoperativen Fieberanstieg) der Allograftgruppe traten bei 20 Patienten (21 %) auf. Gorschewsky et al.<sup>49</sup> schlussfolgerten, dass sie den routinemäßigen Einsatz von Allografts auf Grund der Rupturen und starken Laxität unterlassen. Sie verwiesen auf neue Sterilisationsarten, die die Biomechanik der Fremdtransplantate nicht determinieren.

Victor et al.<sup>175</sup> untersuchten prospektiv 48 autogene und 25 allogene Rekonstruktionen mit BPTB-Transplantaten. Sie stellten mit dem KT-1000 bei der Autograftgruppe eine ausgeprägte anteriore Translation nach sechs und zwölf Monaten fest. Hingegen zeigte die allogene Gruppe erst nach zwei Jahren eine größere Verschiebung des Caput tibiae zum Femur. Der Lysholm und Tegner Activity Score betragen für die Autografts 92,6 und 4,75; für die Allografts 85,4 und 4,41 Punkte. Diese Differenzen waren nicht signifikant ( $p = 0,27$  und  $p = 0,5$ ). Keine bedeutsamen Unterschiede waren bei der Verschmälerung des Quadrizeps, in der Mobilität und der Häufigkeit des vorderen Knieschmerzes vorhanden. Nicht statistisch signifikante Rerupturen ereigneten sich infolge Minimaltraumen bei drei allogenversorgten Patienten.

Retrospektiv konnten Stringham et al.<sup>165</sup> nach 34 Monaten keine signifikante Unterschiede bezüglich der Laxität, Oberschenkelatrophie, subjektiven Beurteilung, Bewegungsausmaße und Sensibilitätsausfälle zwischen den 47 BPTB-Autografts und 31 fresh-frozen, teilweise bestrahlten (n = 3) BPTB-Allografts evaluieren. Nach durchschnittlich elf Monaten rupturierten vier Allografts ( $p = 0,011$ ), wobei eines von den bestrahlten (1-1,8 Mrad) Fremdtransplantaten betroffen war.

Prospektiv nichtrandomisierend war die Studie über 30 autogene BPTB- und 30 allogene BPTB-Transplantate (fresh-frozen, nichtbestrahlt) von Peterson et al.<sup>131</sup> angelegt. Unterschiedslos sind die Transplantate wiederum bei der KT-1000 Arthrometermessung, bei den Bewegungsausmaßen sowie der manuellen Untersuchung nach 63 Monaten. Der stets spekulierte Extensionsverlust seitens der Autografts bestätigte sich signifikant ( $p = 0,027$ ) nach fünf Jahren (Autografts  $2,47^\circ$  vs. Allografts  $1,07^\circ$ ). Bei der Interpretation muss bedacht werden, dass neun chronische Fälle der Autograftgruppe mit 16 chronischen Fällen der Allograftgruppe verglichen wurden. Jeweils eine Ruptur war in jeder Gruppe zu verzeichnen.

### 2.3.3 Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes mittels verschiedenartiger Allografts im Vergleich

ST/G finden auch als Allografts Anwendung. Edgar et al.<sup>31</sup> verglichen diese nach einer Beobachtungszeit von mindestens 36 Monaten, wobei ein Vergleich der Allografts im Hinblick der Sterilisationsverfahren (kryokonserviert beziehungsweise fresh-frozen) außen vor blieb. Keine Unterschiede wurden im Tegner, Lysholm und IKDC Score sowie im KT-1000 ermittelt. Es versagten drei Autografts und zwei Allografts (ein kryokonserviertes und ein fresh-frozen).

Dass Allografts eine zügigere Wiedererlangung der Kniefunktion gewährleisten, bestätigten Poehling et al.<sup>134</sup> indem sie BPTB-Autografts mit freeze-dried AT-Allografts verglichen ( $p = 0,0016$  eine bis zwei Wochen postoperativ;  $p = 0,0409$  ein Jahr postoperativ). Die Autograftpatienten äußerten signifikant mehr Schmerzen nach einem Follow-up von einer Woche ( $p = 0,0006$ ), sechs Wochen ( $p = 0,0007$ ) und drei Monaten postoperativ ( $p = 0,0270$ ).

Siebold et al.<sup>160</sup> verglichen retrospektiv 183 fresh-frozen, nichtbestrahlte BPTB- und 42 ABT-Allografts nach 37,7 Monaten. Die durch das KT-1000 bestimmte Seitendifferenz ergab 2,1 mm der BPTB- und 2,0 mm der ABT-Transplantate. Laxität ( $> 5$  mm Seitendifferenz im KT-1000) zeigten 4,8 Prozent der BPTB- und 2,5 Prozent der ABT-Gruppe. Rerupturen traten bei den Patellarsehnen häufiger auf (10,4 % vs. 4,8 %). Dadurch ergab sich eine doppelte Versagensrate (Laxität plus Rerupturen) der BPTB- (14,8 %) verglichen mit 7,3 Prozent der ABT-Allografts ( $p < 0,001$ ).

Harner et al.<sup>56</sup> stellten nach 45 Monaten 64 Patienten, die mit fresh-frozen, nichtbestrahlten Allografts (60 PT, 4 AT) versorgt wurden, 26 mit Autografts rekonstruierten Patienten über. Keine statistisch signifikanten Unterschiede fanden sich im funktionellen Outcome, bei der manuellen Untersuchung und in der Laxität. 65 Prozent der Autograft- und 58 Prozent der Allograftgruppe nahmen an Sportaktivitäten in der gewohnten oder sogar gesteigerten Häufigkeit teil. Im Aktivitätslevel hatten sie keine Differenzen. Als einzigen signifikanten Unterschied galten die terminalen Extensionsverluste in der Autograftgruppe. Harner et al.<sup>56</sup> gaben nicht an, welche Art von Autografts sie verwendeten.

Nach der Studie von Rappé et al.<sup>142</sup> und Sun et al.<sup>166</sup> unterbrachen deren Seniorautoren ihre Arbeit mit bestrahlten Allografts. Schließlich rupturierten in Rappés et al.<sup>142</sup> Studie elf von 33 bestrahlten AT (2-2,5 Mrad) und nur eines von 42 nichtbestrahlten Transplantaten nach circa sechs Monaten ( $p < 0,01$ ). In Sun et al.<sup>166</sup> Studie betrug die Versagensrate der bestrahlten BPTB-Allografts (2,5 Mrad) nach 31 Monaten 34,4 Prozent, die der nichtbestrahlten BPTB-Allografts 8,8 Prozent und der nichtbestrahlten BPTB-Autografts 6,1 Prozent. Über 85 Prozent der nichtbestrahlten Transplantate hatten im KT-2000 eine Seitendifferenz  $< 3$  mm; diese wiesen nur 31,3 Prozent der bestrahlten Allografts auf.

## **2.4 Revisionen des vorderen Kreuzbandes**

### **2.4.1 Revisionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB-Allografts**

Fox et al.<sup>41</sup> evaluierten retrospektiv 32 Patienten mit fresh-frozen, nichtbestrahlten BPTB-Allografts, die zuvor eine Rekonstruktion mit autogenen Patellarsehnen erhielten. Das Follow-up war 4,8 Jahre. Beim manuell maximalem Zug mit dem KT-1000 erreichten 84 Prozent eine Seit-zu-Seit Differenz von  $\leq 3$  mm und 6 Prozent  $\geq 5$  mm auf. 87 Prozent der Patienten waren komplett beziehungsweise ziemlich zufrieden. Als Versagen sahen Fox et al.<sup>41</sup> die Präsenz des positiven Pivot Shift Tests (1+: acht Patienten, 2++: ein Patient) und die Seitendifferenz  $> 5$  mm (n = 3) an. Die Rate des Versagens war demzufolge 28 Prozent.

### **2.4.2 Revisionen des vorderen Kreuzbandes mittels BPTB- und A(B)T-Allografts im Vergleich**

Johnson et al.<sup>84</sup> untersuchten fresh-frozen, bestrahlte (2,5 Mrad) BPTB- (n = 13) beziehungsweise AT-Transplantate (n = 12) bei Revisionen. Die Ergebnisse der retrospektiven Studie wurden nicht graftselektiv detailliert. Gesamt ergaben sich bei maximaler Zugkraft im KT-1000 eine Seit-zu-Seit Differenz von  $3,7 \pm 3,51$  mm. 13 Knie wurden als abnorm und neun als sehr abnorm gewertet. Sieben von den Grad D Bewerteten hatten nur in einer Kategorie diese Wertung. Dennoch waren 76 Prozent der Allograftempfänger mit dem Ergebnis zufrieden.

### **2.4.3 Revisionen des vorderen Kreuzbandes durch Auto- und Allografts im Vergleich**

Grossman et al.<sup>52</sup> untersuchten retrospektiv 29 Revisionsfälle, die durchschnittlich 56 Monate nach der Primärrekonstruktion revidiert wurden. 22 Patienten bekamen ein BPTB-Allograft, sechs ein kontralaterales BPTB-Autograft und einem Patienten wurde eine allogene Achillessehne transplantiert. Nach 67 Monaten wiesen die Allografts mit 3,21 mm eine höhere Seitendifferenz im KT-1000 als die Autograftgruppe mit 1,33 mm auf ( $p < 0,05$ ). Der subjektive IKDC Score des Gesamtkollektivs erreichte 84,84 Punkte. 20 Patienten kehrten zu ihren ursprünglichen Aktivitäten zurück.

Keinen signifikanten Unterschied zwischen den autogenen ST/G- (n = 31), BPTB- (n = 27) oder allogenen Achillessehnen-transplantaten (n = 2) stellten Denti et al.<sup>29</sup> in der KT-1000 Arthrometermessung und im IKDC 2000 Score fest (82 % A oder B; 18 % C).

## 2.5 Primärrekonstruktionsresultate versus Revisionsergebnisse

Ahn et al.<sup>2</sup> fanden nach 48,7 Monaten einen signifikanten Unterschied in der Evaluation des IKDC Scores: die primäre Rekonstruktionsgruppe hatte mit 94,9 Prozent und die Revisionsgruppe mit 85,7 Prozent Grad A oder B ( $p = 0,001$ ). In der Revisionsgruppe wurden 21 Patienten mit ipsilateralen gedoppelten ST/G-Autografts, 20 mit BPTB-Allografts und 15 mit allogenen Achillessehnen rekonstruiert. Zwischen den verschiedenen Transplantatarten während der Revisionen wurde kein Unterschied im IKDC Score und der KT-2000 Messung ermittelt. Ahn et al.<sup>2</sup> sind überzeugt, dass der Erfolg der Operation nicht von der Transplantatart abhängig ist.

Keinen signifikanten Unterschied bestätigten Weiler et al.<sup>179</sup> in der Auswertung des IKDC 2000 Scores und der Seitendifferenz mittels dem KT-1000 Arthrometer bei Primärrekonstruktionen mit ST/G- sowie ST-Transplantaten und Patienten, die mit diesen erstmalig revidiert wurden. Beim Lysholm Score wiesen die primären Rekonstruktionen signifikant bessere Resultate auf. Nach über zwei Jahren versagte bei 6,5 Prozent der Revisionspatienten und in 5,6 Prozent der Fälle mit primärer Rekonstruktion das Transplantat.

Durch den retrospektiven Vergleich von Siebold et al.<sup>161</sup>, wird die These gestützt, Allografts bei Revisionseingriffen sowie bei multiplen Bandrekonstruktionen einzusetzen. Die 325 Allografts (259 fresh-frozen BPTB und 66 fresh-frozen ABT) versagten nach 38 Monaten in 13,7 Prozent der Primär- und in 15 Prozent der Revisionseingriffe. Die Stabilitätsprüfung erwies eine Seitendifferenz von 2,1 mm in der Gruppe der primären Rekonstruktionen und 2,3 mm der Revisionsgruppe ohne signifikanten Unterschied.

## 2.6 Risiken der vorderen Kreuzbandwiederherstellung durch Autografts

### 2.6.1 Patella baja

Tria et al.<sup>171</sup> verdeutlichten, dass durch die Verkürzung des zentralen Patellarsehnendrittels eine Patella infra resultieren kann (22/29 Patienten). Kleipool et al.<sup>98</sup> stellten ebenfalls unter Verwendung des zentralen Patellarsehnendrittels bei 33 Patienten anhand des erniedrigten Linclau-Index<sup>d</sup> (prä- 0,90 und postoperativ 0,84;  $p = 0,05$ ) eine Patella infra fest. Eine Korrelation der Patellahöhe und des vorderen Knieschmerzes war nicht evaluierbar. Lin et al.<sup>112</sup> lehnen somit die Verwendung des Transplantats bei schon vorhandener Patella baja ab.

---

<sup>d</sup> in der lateralen Röntgenaufnahme: Quotient aus der kürzesten Distanz Patella-tibialen Ebene und Länge der Patella<sup>98</sup>

### **2.6.2 Patellafrakturen**

Laut Papageorgiou et al.<sup>129</sup> sind Patellafrakturen nur beim Gebrauch von zentralen Patellar-sehnedritteln bekannt, allerdings nicht bei der Verwendung von medialen BPTB-Autografts. Sie beobachteten eine Inzidenz der Patellafraktur mit dem medialen BPTB-Autograft von 0,9 Prozent. In Violas und Vianellos<sup>176</sup> Studie beträgt sie 0,22 Prozent; bei Berg<sup>9</sup> mit zentralen PT 2,3 Prozent. Am Institut von Stein et al.<sup>164</sup> erlitten acht Patienten (1,3 %) von 618 Rekonstruktionen mit BPTB-Autografts eine Patellafraktur des Spenderkniees nach durchschnittlich 57 Tagen. Diese Patellafrakturen änderten laut den Autoren nichts am Outcome der Patienten.

### **2.6.3 Transplantatentnahmemorbidität und vordere Knieschmerzen**

Zu diesem Aspekt stellte Mastrokalos et al.<sup>118</sup> eine Fallgruppe von 52 ipsilateralen BPTB-Grafts (Ip) einer Kontrollgruppe (48 kontralaterale BPTB-Autografts) gegenüber. Die Kontrolle enthielt zwei Subgruppen: einerseits die Gruppe der Donorkniees (Co-D) und andererseits die Gruppe mit dem rekonstruierten vorderen Kreuzband (Co-ACL). Lokale Empfindlichkeiten hatten 59,6 Prozent der Ip-Gruppe, 58,3 Prozent der Co-D- und 6,3 Prozent der Co-ACL-Gruppe. Schmerzen beim Knien konnten ebenfalls von der Ip- und Co-D-Gruppe der Co-ACL-Gruppe gegenübergestellt werden (69,2 % vs. 70,8 % vs. 6,3 %). Die Studie verdeutlicht, dass die Transplantatentnahme der kontralateralen Seite keine Vorteile birgt. Im Gegenteil: das gesunde Knie wird gehandicapt. Schmerzen wurden meistens am Tuberculum tibiale geortet - die Entnahmestelle des Knochenblocks. Feller et al.<sup>36</sup> vermuten einerseits die Zerstörung des Ramus infrapatellaris des Nervus saphenus als Ursache der Schmerzen. Andererseits aber auch das Verletzen der periostealen Nervenzweige und Neuromentwicklungen. Selbst bei der Entnahme der Hamstringsehnen besteht ein Risiko den terminalen Ast des Nervus saphenus zu verletzen.<sup>151</sup> Dennoch sind laut Kartus et al.<sup>90</sup> ST/G den PT auf Grund geringerer Donormorbidität vorzuziehen.

## **2.7 Risiken der Kreuzbandwiederherstellung durch Auto- und Allografts**

Die Problematiken wie Bewegungsdefizite und Bohrkanalerweiterungen wurden teilweise in den einzelnen Studien erwähnt und sollen nicht Gegenstand der Literaturrecherche sein, da in Kapitel 5 „Diskussion“ noch einige Studien diesbezüglich näher betrachtet werden.

## **2.8 Risiken der Kreuzbandwiederherstellung durch Allografts**

### **2.8.1 Übertragung von Erregern**

Seit der Einführung des Donorscreenings wurden keine HIV-Transmissionen wie zuvor<sup>5</sup> publiziert. Das Risiko einer HIV-Infektion durch ein Knochentransplantat ist 1 zu 1.667.600.<sup>14</sup>

Derzeitig werden trotz verschiedener etablierter Sterilisationsverfahren bakterielle Infektionen wie septische Arthritiden nach Allografttransplantationen publiziert, wobei die Ursachen der Infektionen stets ungeklärt sind.<sup>16:17</sup>

Bezüglich bakterieller Infektionen fertigten Katz et al.<sup>94</sup> einen retrospektiven Review in deren Klinik zwischen 2001 und 2005 an. Zwei tiefe Infektionen wurden bei 170 Autograft- (1,2 %) und vier bei 628 Allograftrekonstruktionen (0,6 %) ermittelt. Die multivariate Analyse ergab ein fast zweifaches Risiko einer Infektion mit einem Autograft.

Guelich et al.<sup>53</sup> und Centeno et al.<sup>15</sup> werfen in ihren Studien die Frage auf, ob weiterhin die Notwendigkeit der Abstriche der Allografts besteht, da die positiven Testergebnisse nicht mit dem Auftreten der Infektionen korrelierten. Die durchschnittlichen Kosten einer Kultur gaben Centeno et al.<sup>15</sup> mit \$127 (US Dollar) an.

Die American Association of Tissue Banks (AATB) gibt zwar unter anderem Qualitätsstandards zum Donorscreening und Aufbereiten von Geweben vor<sup>173</sup>; dennoch sind ungefähr 44 Prozent der Gewebebanken (Stand 2001) in den USA nicht von der AATB akkreditiert beziehungsweise von New York oder Florida (erbitten Lizenz und Inspektion der Tissue Banks) inspiziert worden.<sup>128</sup>

### **2.8.2 Allergische Reaktion auf Spendertransplantate**

Den ersten Fall einer allergischen Reaktion gegenüber einem BPTB-Allograft berichteten Karrer et al.<sup>88</sup> Nach negativen mikrobiologischen Befunden, die die schmerzende Schwellung und Rötung erklären sollten, zeigte der Patient beim Prick-to-Prick Test<sup>e</sup> eine positive Reaktion gegenüber dem genetisch identischen Allograft. Zusätzlich wies der Patient eine Reaktion gegenüber Gelatine auf, welche aus Kollagenen besteht. Die Dermatologen begründen eine Kreuzreaktion gegenüber dem vorwiegend aus Typ-I-Kollagen bestehenden Transplantat.

---

<sup>e</sup> Prick-to-Prick Test: Test, wobei die Lanzette zuerst in Nahrungsmittel gestochen und dann die Haut des Patienten geprickt wird

### **3 Material und Methoden der klinischen Studie**

#### **3.1 Studiendesign**

Diese klinische Studie evaluiert retrospektiv fünf bis sechs Jahresergebnisse bei der Revision des vorderen Kreuzbandes und vergleicht diese mit Resultaten, die ein bis zwei Jahre nach dem Revisionseingriff erhoben wurden.

Im Zeitraum Mai 2000 bis Juli 2002 wurden 24 vordere Kreuzbandrupturen arthroskopisch mit Fremdtransplantaten an einer Orthopädischen Klinik in München versorgt. 20 Patienten entsprachen den unter 3.2 aufgeführten Einschlusskriterien. Um dem Level of Evidence IV nach Dick<sup>30</sup> zu entsprechen, wurde eine Kontrollgruppe definiert. Diese umfasst mit Autograft versorgte Patienten, welche sich temporär als nächste dem Revisionseingriff unterzogen.

#### **3.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Es wurden nur Patienten berücksichtigt, die bereits eine Rekonstruktion veranlassten und eine anteromediale Knieinstabilität Grad II nach einer Reruptur aufwiesen. Ausgeschlossen wurden Patienten mit gleichzeitiger Versorgung mehrerer Kniebänder, Knorpelulcera, Gonarthrose > II° (nach Kellgren und Lawrence<sup>95</sup>), Achsdeviationen > 5° sowie Komplexinstabilitäten.

#### **3.3 Patientengut**

15 von 20 Patienten der Allograftgruppe und 14 von 20 Patienten der Autograftgruppe wiesen die Bedingungen für die zweite Nachuntersuchung auf. Ein Patient der Allograftgruppe musste auf Grund einer Reruptur des vorderen Kreuzbandes und zwischenzeitlicher Re-Reoperation ausgeschlossen werden. Die Geschlechterverteilung, der Altersdurchschnitt und die Nachuntersuchungszeiträume werden in Kapitel 4.1 erläutert.

#### **3.4 Transplantate**

##### **3.4.1 Fresh-frozen Patellarsehnedrittel-Allografts**

Prinzipiell wurde bei allen Patienten, die ein Fremdtransplantat erhielten, ein mechanisch gereinigtes fresh-frozen Patellarsehnedrittel der Firma RTI, Inc.<sup>f</sup> verwendet. Das Allograft stammt von Spendern im Alter zwischen 18 und 50 Jahren.

Das Blut des Spenders wurde auf folgende Pathogene getestet: Hepatitis C Virus Antikörper, Hepatitis B Surface Antigen, Hepatitis B Core Antikörper, Human Immunodeficiency Virus Typ 1 und 2 Antikörper, Human Immunodeficiency Virus DNA per PCR (Polymerase Chain Reaction), Humanes T-Zell-Leukämie-Virus Typ I und II Antikörper, Syphilis per RPR-Test (Rapid Plasma Reagin). RTI, Inc. verwendet den unter Kapitel 1.6 erläuterten BioCleanse™

---

<sup>f</sup> RTI, Inc., Alachua, FL, Vereinigte Staaten

Tissue Sterilization Process. Des Weiteren wird das Produkt durch Ascorbinsäure, Polyvinylpyrrolidon-Jod, Isopropanol, Wasserstoffperoxid und physiologische Kochsalzlösung bei niedrigen Temperaturen sterilisiert. Nach einem Spülprozess mit sterilem Wasser erfolgt die Lagerung bei -40°C.

### 3.4.2 Autogene Transplantate

Autogen fanden mittlere Patellarsehnendrittel Anwendung.

## 3.5 Operationstechniken

### 3.5.1 Operative Versorgung unter Verwendung des Allografts

In einer 37°C temperierten isotonen Kochsalzlösung wurde das Allograft aufgetaut und hydriert. Für fünf Minuten wurde es bei einer Kraft von 70 N gespannt. Nach arthroskopischer Eröffnung des Kniegelenkes konnten die Reste des rupturierten vorderen Kreuzbandes entfernt werden. Der erste Bohrkanal wurde durch den Tibiakopf zum Ansatzbereich des vorderen Kreuzbandes angelegt. Der zweite Bohrkanal verläuft intraartikulär durch den Ursprung des vorderen Kreuzbandes in die laterale Femurmetaphyse. Die Knochenblöcke der Transplantate und die Durchmesser der Bohrkanäle betragen jeweils 10 mm. Der Durchzug des Allografts erfolgte von distal nach proximal. Wobei zuerst das proximale Bandende eine 7 x 26 mm intraartikulär eingebrachte Titaninterferenzschraube fixiert und dann die distale Sicherung mittels einer 9 x 20 mm starken Titaninterferenzschraube erfolgte. Die Schrauben wurden von der Firma TIKOM<sup>®g</sup> hergestellt.



Abbildung 1: Präparation eines BPTB-Allografts

### 3.5.2 Operative Versorgung unter Verwendung des Autografts

Abhängig von der vorangegangenen Rekonstruktion konnte entweder das ipsi- oder kontralaterale Patellarsehnendrittel mit den dazugehörigen Knochenblöcken entnommen werden. Die Methode der arthroskopischen Chirurgie wurde auch hier angewandt. Ebenfalls wurden auch die verbliebenen Partien der Kreuzbandplastik entfernt. Das Anlegen der Bohrkanäle, das Einbringen der Ersatzplastik und Fixieren glich der vorher beschriebenen Operationstechnik vollständig.

Die Operationen wurden von zwei erfahrenen Chirurgen in identischer Technik durchgeführt.

---

<sup>g</sup> TIKOM<sup>®</sup> GmbH, Fürth, Bayern



### 3.6 Klinische Untersuchung

Bezüglich der Stabilität und Beweglichkeit erfolgte die klinische Untersuchung der Patienten in Anlehnung an das Formblatt zur Untersuchung des Knies des IKDC 2000 Scores<sup>60</sup>.

Der Lachman-Test in 25° Flexion (nach Torg et al.<sup>170</sup>) und der Pivot Shift Test (nach Galway et al.<sup>44</sup> und Jakob et al.<sup>79</sup>) wurden durchgeführt. Die laterale und mediale Aufklappbarkeit wurden in 20° Flexion (nach Kohn<sup>101</sup>) und Streckung getestet. Der passive Bewegungsumfang wurde nach der Neutral-Null-Methode (nach Debrunner<sup>28</sup>) ermittelt, wobei zur Feststellung eines passiven Beuge- oder Streckdefizits das kontralaterale Kniegelenk herangezogen wurde. Es wurde auf Krepitatio über dem Patellofemoralgelenk, dem medialen und dem lateralen Kompartiment untersucht. Dabei sollte auf freie Dissekate und Druckschmerz geachtet werden. Neben der Bestimmung der Umfangsdifferenzen von Ober- und Unterschenkel, wurde geprüft, ob eine Überwärmung oder ein Erguss des Kniegelenkes festzustellen ist. Zudem wurde das Vorliegen einer Transplantatentnahmemorbidität überprüft. Der One-leg hop Test diente zur Feststellung der Funktionsfähigkeit des operierten Knies im Vergleich zur Gegenseite.

Ein unabhängiger und erfahrener Facharzt für Orthopädie führte beide Nachuntersuchungen durch.

### 3.7 Scores

#### 3.7.1 IKDC 2000 Score

Mitglieder der European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy (ESSKA) und der American Orthopaedic Society for Sports Medicine (AOSSM) entwickelten 1987 das International Knee Documentation Committee (IKDC), um Standards zur Bewertung verletzter Knie zu setzen.<sup>60</sup> Modifiziert wurde dieses 1993.<sup>60</sup> Der Dokumentationsbogen wird in zwei Teile gegliedert:

1. das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies und
2. das Formblatt zur Untersuchung des Knies.

Zu Evaluieren sind dabei folgende acht Bereiche:

1. patient subjective assessment (IKDC1)
2. symptoms (IKDC2)
3. range of motion (IKDC3)
4. ligament examination (IKDC4)
5. compartmental findings

6. harvest site pathology
7. X-ray findings und
8. one-leg hop test.<sup>60,145</sup>

Nur die ersten vier benannten Variablen werden in folgenden Kategorien abgestuft:

- A = "normal",
- B = "nearly normal",
- C = "abnormal" und
- D = "severely abnormal".<sup>60</sup>

Das Endergebnis wird dabei durch das schlechteste Gruppenergebnis bestimmt. Dadurch wird verhindert, dass zum Beispiel eine "fast normale" Beweglichkeit des Knies nicht zu einem "normalen" Knie deklariert wird. Risberg et al.<sup>145</sup> hingegen, lehnen es ab den finalen Score des IKDC anzugeben.

Die unter 5., 6., 7. und 8. aufgeführten Punkte dokumentieren die Untersuchung, werden aber nicht in die Auswertung des IKDC einbezogen.

Die IKDC Subjective Knee Form stellt einen patientenbezogenen Fragebogen dar, der mittels 18 Fragen Symptome und Funktion im Alltag erfragt.<sup>63,68</sup>

Irrgang et al.<sup>69</sup> betonen die Wertigkeit des Messinstruments im Besonderen um die Ergebnisse von Rekonstruktionen des vorderen Kreuzbandes zu beschreiben.

### 3.7.2 Lysholm Score

Der Lysholm Score<sup>114</sup> dient der Bewertung von Stabilität und Funktion des Kniegelenkes. Durch Einschätzung der Patienten von acht Parametern wie Hinken, Belastung, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen und Hocken ist dieser symptombezogen.<sup>168</sup> Es ist möglich 100 Punkte zu erreichen. 95-100 erlangte Punkte betrachtet man als "excellent", 84-94 als "good", 65-83 als "fair", 64 und darunter als "poor".<sup>114</sup> Bengtsson et al.<sup>8</sup> überprüften die Sensitivität und Zuverlässigkeit dieses Scores. Die Gruppe der vorderen Kreuzbandrupturen zeigten die höchsten Werte (88,1) und grenzte sich somit stark von den Gruppen mit Meniskusabrissen, patellofemorales Syndrom und lateralen Sprunggelenksdistorsionen trotz der im Vergleich geringeren Sensitivität ab.

### 3.7.3 Tegner Aktivitätsscore

Beruf und Sportaktivitäten werden nach ihrer Intensität der Ausübung einer von zehn Gruppen zugeordnet.<sup>168</sup> Wer Freizeitsport betreibt, erlangt Niveau 4. Level 5 bis 10 sind nur durch Ausführung von Sportaktivitäten beziehungsweise Leistungssport auf höherem Niveau erreichbar.

### 3.8 KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®

Die instrumentelle Messung der ventralen Knieinstabilität erfolgte mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®<sup>h</sup> nach Daniel<sup>26</sup>. Die sagittale Relativbewegung der Tibia zum Femur beschreibt die objektive Messmethode. Am betroffenen und gesunden Kniegelenk erfolgten die Mehrfachmessungen mit 15, 20, 30 lb und mit maximaler manueller Kraft. Es wurde eine Seitendifferenz von  $\geq 5$  mm im Manual Maximum Displacement Test als unerfülltes Kriterium der Stabilität beurteilt. Die Reproduzierbarkeit der Messdaten bestätigen Studien von Werlich et al.<sup>180</sup> und Wroble et al.<sup>185</sup>

### 3.9 Radiologische Erfassung und Auswertung

Im Rahmen der klinischen Routinekontrolle wurde eine standardisierte anterioposteriore, seitliche sowie eine tangentielle Patellaaufnahme des operierten Kniegelenkes der rekrutierten Patienten röntgenologisch projiziert. Die folgenden Auswertungen waren für die Studie bedeutsam.

#### 3.9.1 Anterioposteriore Aufnahme des Kniegelenkes

Die im Stehen angefertigte anterioposteriore Aufnahme diente dazu den Arthrosegrad der medialen beziehungsweise lateralen Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence<sup>95</sup> zu graduieren. Außerdem konnten Lockerungs- und Lysezeichen verifiziert werden.

#### 3.9.2 Seitliche Aufnahme des Kniegelenkes

Um den Höhenindex der Patella nach Insall-Salvati<sup>66</sup> bestimmen zu können, wurde das Knie mindestens 30 Grad für das seitliche Röntgenbild flektiert. Dabei wird der größte Längsabstand zwischen dem kranialen und kaudalen Patellapol sowie die Länge der Patellarsehne von ihrem Ursprung (kaudaler Patellapol) zu ihrem Ansatz (kranialen Anteil der Tuberositas tibiae) bestimmt und der Quotientenwert gebildet. Der Normwert nach Insall-Salvati ist im Intervall von 0,8 bis 1,20. Eine Patella baja liegt vor, wenn der Wert 0,8 unterschreitet. Eine Patella alta ist bei einem Wert von über 1,2 vorhanden.

---

<sup>h</sup> Medmetric®, San Diego, CA, Vereinigte Staaten

Metrologisch wurde femoral und tibial der angelegte Tunnel erfasst. Dabei wurde stets die größte Distanz zwischen dem ventralen und dorsalen Saum ermittelt. Zudem ermöglichte diese Aufnahme Aussagen über die Graduierung der Retropatellararthrose.

### **3.9.3 Tangentiale Aufnahme der Patella**

Dieses Röntgenbild ist bedeutsam um die Lateralisation, den Arthrosegrad und das femoropatellare Gleitlager zu bestimmen. Ebenso wurde der transversale Tiltwinkel vermessen. Dabei wird eine Tangente beider Femurkondylen und eine weitere Linie vom medialen zum lateralen Patellapol gebildet. Der Winkel sollte nach lateral geöffnet sein. Stellen sich die Linien parallel oder medial verlaufend dar, spricht dies für eine abnorme Stellung der Patella.<sup>42</sup>

### **3.10 Visuelle Analogskala zur Schmerzevaluierung**

Anhand der Visuellen Analogskala (VAS; von 0 = keine Schmerzen bis 10 = unerträgliche Schmerzen) wird die Schmerzintensität adäquat erfasst (nach Jensen et al.<sup>81</sup>). Die Patienten sollten ihren Schmerz mittels der Verschiebeskala definieren. Die nummerierte Skala war nur dem Untersucher zugänglich.

### **3.11 Statistische Erhebung**

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Computerprogramm SPSS<sup>®</sup>, Version 15, der Firma SPSS Inc. erarbeitet.

Folgende statistische Tests wurden verwendet:

- T-Test für unverbundene Stichproben,
- Levene-Test,
- $\chi^2$ -Test nach Pearson und
- Mann-Whitney U-Test.

Ein  $p < 0,05$  galt als signifikanter Wert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Daten des Patientenkollektivs

#### 4.1.1 Patientenkollektiv und Nachuntersuchungszeiträume

Vier Patienten der Allograftgruppe und sechs der Autograftgruppe konnten an der zweiten Nachuntersuchung zur Studie nicht teilnehmen. Als Gründe zeigten sich mangelndes Interesse und Wohnortwechsel in das Ausland. Ein Patient der Allograftgruppe musste auf Grund einer Reruptur und erfolgter Re-Reoperation des vorderen Kreuzbandes ausgeschlossen werden. Es erfüllten insgesamt 15 Patienten der Allograftgruppe und 14 Patienten der Autograftgruppe die Bedingungen für die Nachuntersuchung.

Der erste mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug im Gesamtkollektiv  $19,17 \pm 5,78$  Monate, in der Allograftgruppe  $18,20 \pm 4,20$  Monate und in der Autograftgruppe  $20,21 \pm 7,13$  Monate. Der zweite mittlere Nachuntersuchungszeitraum erfolgte zum jetzigen Zeitpunkt im Gesamtkollektiv nach  $68,76 \pm 6,75$  Monaten, in der Allograftgruppe nach  $68,20 \pm 7,18$  Monaten und in der Autograftgruppe nach  $69,36 \pm 6,48$  Monaten. Zwischen beiden Gruppen konnte im T-Test kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (erste Nachuntersuchung  $p = 0,358$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,686$ ).

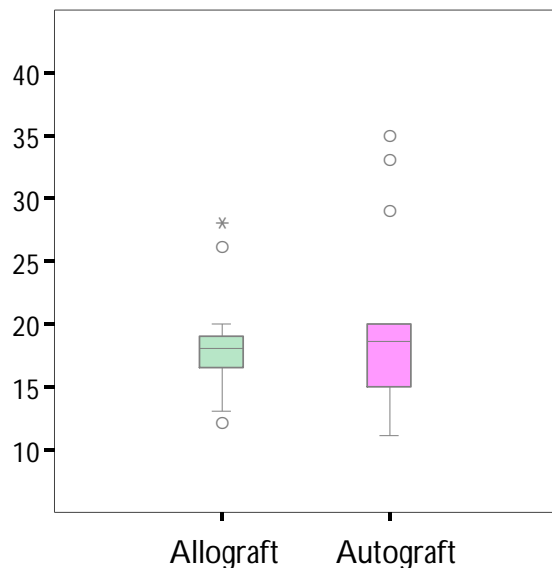


Abbildung 2: Box-Plot zum ersten Nachuntersuchungszeitraum (in Monaten) der Allograft- und Autograftgruppe (\* = Extremwerte; o = Ausreißer)

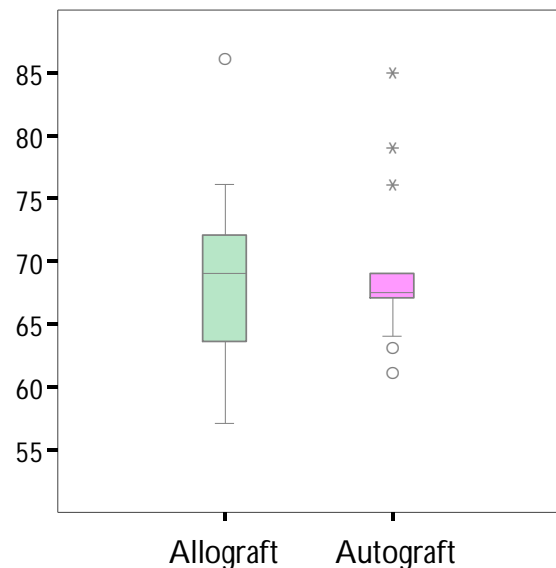


Abbildung 3: Box-Plot zum zweiten Nachuntersuchungszeitraum (in Monaten) der Allograft- und Autograftgruppe (\* = Extremwerte; o = Ausreißer)

#### 4.1.2 Geschlechterverteilung

In der Allograftgruppe konnten sechs weibliche (40,0 %) und neun männliche Patienten (60,0 %); in der Autograftgruppe vier weibliche (28,6 %) und zehn männliche Patienten (71,4 %) eingeschlossen werden. Insgesamt wurden zehn weibliche (34,3 %) und 19 (65,7 %) männliche Patienten nachuntersucht. Der  $\chi^2$ -Test nach Pearson ( $p = 0,518$ ) ergab keinen signifikanten Unterschied.

#### 4.1.3 Altersverteilung

Das durchschnittliche Patientenalter lag im Gesamtkollektiv zur ersten Nachuntersuchung bei  $34,62 \pm 11,21$  Jahren, in der Allograftgruppe bei  $32,47 \pm 9,30$  Jahren und in der Autograftgruppe bei  $36,93 \pm 12,91$  Jahren. Zur zweiten Nachuntersuchung betrug der gesamte Altersdurchschnitt  $38,69 \pm 11,26$  Jahre, in der Allograftgruppe  $36,47 \pm 9,49$  Jahre und in der Autograftgruppe  $41,07 \pm 12,82$  Jahre. Bezüglich der Altersverteilung herrschte Gruppengleichheit (Levene-Test  $p = 0,393$ ; T-Test  $p = 0,292$ ).

### 4.2 Manuelle Erfassung der Stabilität

#### 4.2.1 Lachman Test

In der Allograftgruppe wurde zur ersten Nachuntersuchung bei fünf Patienten (33,3 %) eine Laxität im Lachman Test von 1+ (3-5 mm), bei neun Patienten (60,0 %) eine 2++ (6-10 mm) und bei einem Patienten (6,7 %) eine Laxität von 3+++ (> 10 mm) bestimmt. In der Autograftgruppe zeigten fünf Patienten (35,7 %) eine 1+ und neun Patienten (64,3 %) eine Laxität von 2++. Zur zweiten Nachuntersuchung hatten in der Allograftgruppe sechs Patienten (40,0 %) eine 1+, zwei Patienten (13,3 %) eine 2++. Ein Patient (6,7 %) hatte eine Stabilität von -1-(-3) mm und sechs Patienten (40,0 %) wiesen eine Stabilität von -1-2 mm auf. In der Autograftgruppe hatten drei Patienten (21,4 %) eine Laxität von 1+. Neun Patienten (64,3 %) zeigten sich im Bereich von -1-2 mm stabil und zwei Patienten (14,3 %) sogar -1-(-3) mm. Es wurden zu beiden Zeitpunkten der Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen gefunden.

#### 4.2.2 Mediale und laterale Aufklappbarkeit

Eine erstgradige mediale Aufklappbarkeit zeigten zwei Patienten (13,3 %) der Allograftgruppe zur zweiten Nachuntersuchung. Im Vergleich zur ersten Nachuntersuchung verbesserten sich fünf Patienten, ein Patient behielt die Klinik bei und ein Patient entwickelte in diesem Zeitraum eine mediale Aufklappbarkeit 1°. In der Kontrollgruppe fanden sich ebenfalls zwei Patienten (14,3 %) mit einer medialen Aufklappbarkeit ersten Grades zur zweiten Nachuntersuchung. Vergleichend

zur ersten Nachuntersuchung verbesserten sich sieben Patienten, die keine mediale Aufklappbarkeit mehr aufwiesen und die erwähnten zwei Patienten behielten diese bei. Im T-Test wurde kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt (erste Nachuntersuchung  $p = 0,204$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,943$ ).

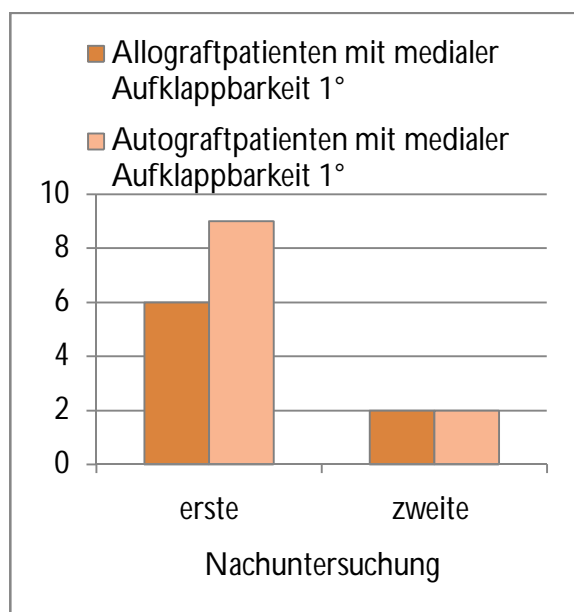


Abbildung 4: Mediale Aufklappbarkeit ersten Grades zu beiden Nachuntersuchungen der Allograft- und Autograftgruppe

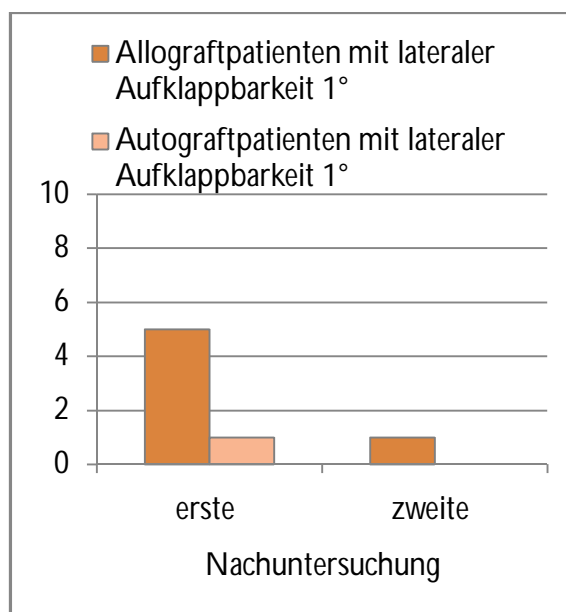


Abbildung 5: Laterale Aufklappbarkeit ersten Grades zu beiden Nachuntersuchungen der Allograft- und Autograftgruppe

Eine erstgradige laterale Aufklappbarkeit diagnostizierte man bei fünf Patienten (33,3 %) der Allograftgruppe zur ersten Nachuntersuchung, bei nur einem Patienten (6,7 %) war diese zur zweiten Nachuntersuchung reproduzierbar. Ein Patient (7,1 %) der Autograftgruppe hatte zur ersten, aber nicht mehr zur zweiten Nachuntersuchung eine laterale Aufklappbarkeit 1°. Zwischen beiden Gruppen konnte im T-Test kein statistisch relevanter Unterschied gefunden werden (erste Nachuntersuchung  $p = 0,087$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,343$ ).

#### 4.2.3 Pivot Shift Test

Zur ersten Nachuntersuchung konnte bei zehn Patienten (66,7 %) der Allograftgruppe und zwölf Patienten (85,7%) der Autograftgruppe der Pivot Shift Test negativ bewertet werden. Bei fünf Patienten (33,3 %) der Allograftgruppe und zwei Autograftpatienten (14,3 %) wurde ein Pivot Shift glide diagnostiziert. Zur zweiten Nachuntersuchung zeigten nur noch zwei Patienten (13,3 %) der Allograftgruppe ein glide des Pivot Shift Tests. Der Mann-Whitney U-Test erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Patientengruppen (erste Nachuntersuchung  $p = 0,239$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,164$ ).

### 4.3 Klinische Untersuchung der Beweglichkeit

#### 4.3.1 Extensionsdefizite des revidierten Kniegelenkes im Verhältnis zur Gegenseite

Die Extension der Patienten in der Allograftgruppe verschlechterte sich von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung bei vier Patienten (26,7 %) um  $< 3^\circ$  und bei sechs Patienten (40,0 %) um  $3-5^\circ$ . In der Autograftgruppe entwickelten in dem Zeitraum zur zweiten Nachuntersuchung drei Patienten ein Extensionsdefizit von  $< 3^\circ$  und zwei Patienten von  $3-5^\circ$ . Ein Patient behielt sein Defizit von  $3-5^\circ$  bei. Ein weiterer Patient konnte innerhalb dieser Zeit sein Streckungsdefizit von  $3-5^\circ$  komplett abbauen; drei Patienten wiesen nicht mehr eine drei- bis fünfgradige Bewegungseinschränkung auf, sondern ein Defizit unter  $3^\circ$ . Als einen signifikanten Unterschied beider Gruppen konnten die Werte der ersten Nachuntersuchung im T-Test gewertet werden ( $p = 0,010$ ).

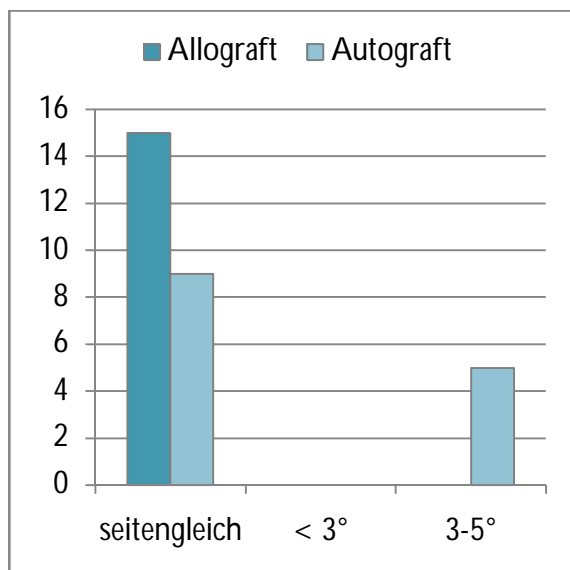


Abbildung 6: Extensionsdefizite der Allograft- und Autograftgruppe zur ersten Nachuntersuchung mit signifikanten Unterschied ( $p = 0,010$ )

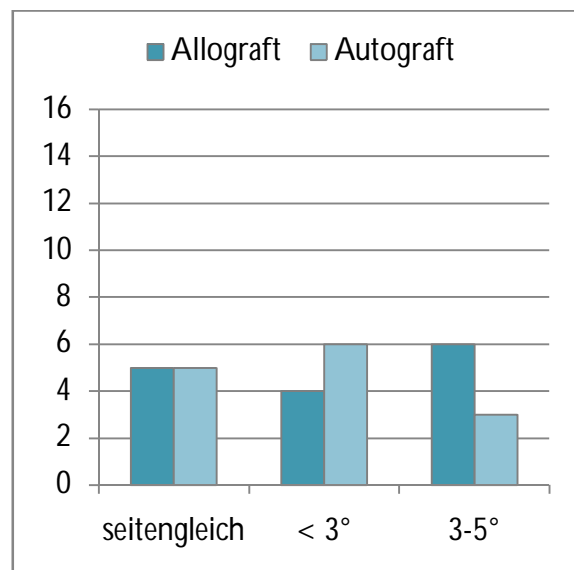


Abbildung 7: Extensionsdefizite der Allograft- und Autograftgruppe zur zweiten Nachuntersuchung

#### 4.3.2 Flexionsdefizite des revidierten Kniegelenkes im Verhältnis zur Gegenseite

In der Allograftgruppe erarbeiteten sich sechs Patienten (40,0 %) von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung einen Abbau ihres Flexionsdefizits. Dabei verbesserten sich zwei Patienten von einem  $6-15^\circ$  Defizit zu  $\leq 5^\circ$ ; drei Patienten mit ehemals einem Defizit von  $\leq 5^\circ$  und ein Patient mit einst  $6-15^\circ$  wiesen keine Einschränkungen mehr auf. Ein Beugedefizit von  $\leq 5^\circ$  bildeten in dem Zeitraum zwei Patienten aus. Ein Patient behielt sein Defizit von  $\leq 5^\circ$  bei. Wie folgt verbesserten sich drei Patienten (21,4 %) der Autograftgruppe von dem ersten Follow-up zum zweiten: ein Patient mit Flexionsdefizit von  $6-15^\circ$  zu  $\leq 5^\circ$ ; zwei Patienten mit  $\leq 5^\circ$  wiesen



keine Einschränkung mehr auf. Zwei Patienten verschlechterten sich und zeigten zur zweiten Nachuntersuchung ein Defizit von  $\leq 5^\circ$ . Insgesamt ereignete sich bei vier Patienten keine Besserung ihres Flexionsdefizits (drei Patienten:  $\leq 5^\circ$ ; ein Patient 6-15°). Es konnten keine signifikanten Unterschiede im T-Test zwischen den Patientengruppen gefunden werden (erste Nachuntersuchung  $p = 0,935$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,271$ ).

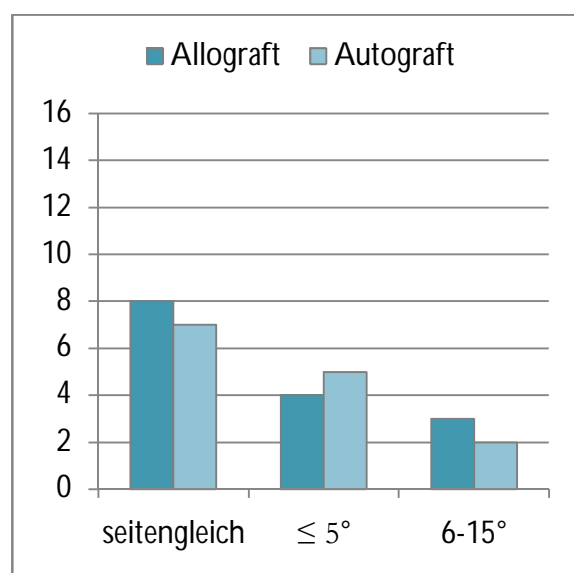


Abbildung 8: Flexionsdefizite der Allograft- und Autograftgruppe zur ersten Nachuntersuchung

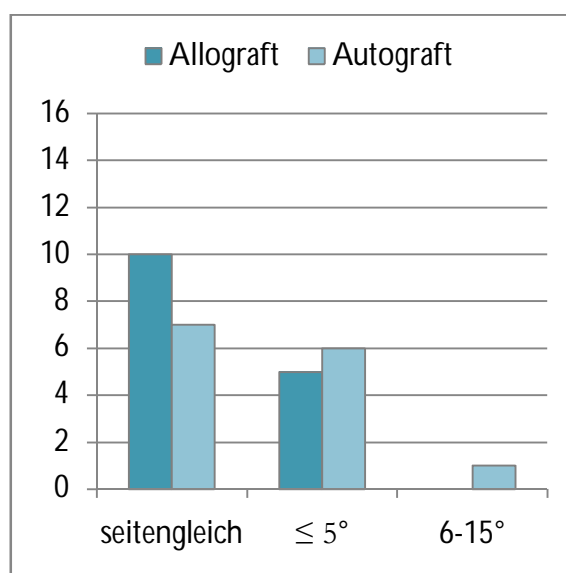


Abbildung 9: Flexionsdefizite der Allograft- und Autograftgruppe zur zweiten Nachuntersuchung

#### 4.4 Weitere Ergebnisse der klinischen Untersuchung

##### 4.4.1 Krepitatio

Retropatellare Krepitatio konnte zur ersten Nachuntersuchung bei acht Allograftpatienten (53,3 %) diagnostiziert werden, welche sich bei einem Patienten als erheblich darstellte. Zwei Allograftpatienten zeigten nach dem zweiten Beobachtungszeitraum erstmals Krepitatio auf. Bei einem Patienten konnte keine retropatellare Krepitatio mehr festgestellt werden. 13 Patienten (92,9 %) der Kontrollgruppe hatten zur ersten Nachuntersuchung retropatellare Krepitatio, wobei drei Patienten nach dem Follow-up von  $69,36 \pm 6,48$  Monaten keine Krepitatio mehr aufwiesen. Bei einem Patienten entwickelte sich diese über den Zeitraum.

Krepitatio des medialen Kompartiments der Allograftgruppe hatten vier Patienten (26,7 %) zur ersten Nachuntersuchung; zur zweiten Nachuntersuchung zeigte keiner dieser Patienten diese auf. Ein Patient (6,7 %) bildete jene Veränderung aus. In der Kontrollgruppe wurde zur ersten Nachuntersuchung bei drei Patienten (21,4 %) Krepitatio des medialen Kompartiments festgestellt. Bei einem Patienten fiel diese erheblich aus; zur zweiten Nachuntersuchung konnte bei zwei von den drei erwähnten Patienten keine mediale Krepitatio diagnostiziert werden. Bei einem

Patienten wurde die zur ersten Nachuntersuchung bestehende Krepitatio bestätigt. Innerhalb des Zeitraumes entwickelten drei Patienten (21,4 %) mediale Krepitatio.

Krepitatio des lateralen Kompartiments zeigten zwei Patienten der Allograft- (13,3 %) und der Autograftgruppe (14,3 %) zur ersten Nachuntersuchung. Zur zweiten Nachuntersuchung wurde bei diesem Autograftpatienten keine laterale Krepitatio diagnostiziert; ein Allograftpatient (6,7 %) entwickelte diese bis dato.

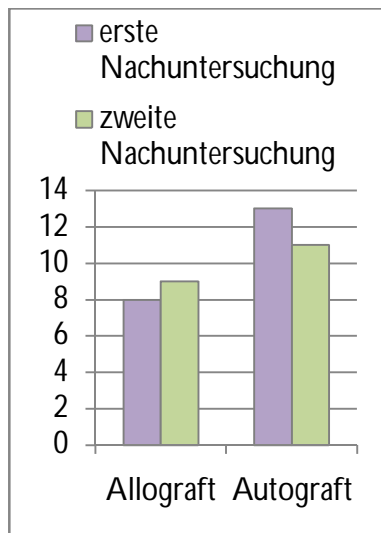


Abbildung 10: Retropatellare Krepitatio im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zu beiden Nachuntersuchungen

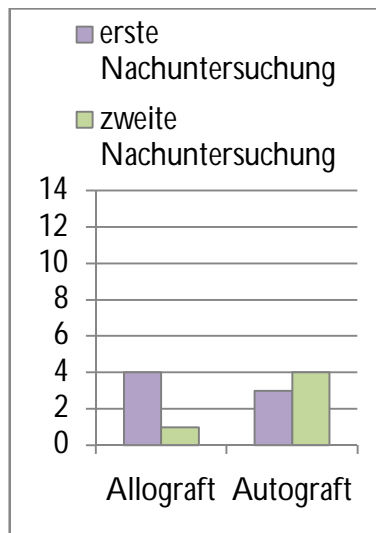


Abbildung 11: Krepitatio im medialen Kompartiment im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zu beiden Nachuntersuchungen

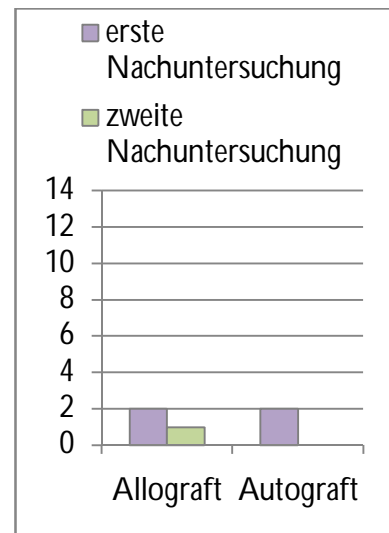


Abbildung 12: Krepitatio im lateralen Kompartiment im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zu beiden Nachuntersuchungen

Im T-Test ergab sich zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich der retropatellaren Krepitatio, der des medialen und des lateralen Kompartiments. Des Weiteren wurden keine freien Dissekate bei den Patienten getastet und kein Schnappen in den Gruppen diagnostiziert. Eine Druckschmerzhaftigkeit des operierten Kniegelenks wurde einmalig von einem Autograftpatienten im lateralen Kompartiment zur ersten Nachuntersuchung angegeben.

#### 4.4.2 Transplantatentnahmemorbidity

Vier Patienten der Allograftgruppe und ein Patient der Autograftgruppe gaben zur ersten Nachuntersuchung an unter geringen Sensibilitätsdefiziten beziehungsweise Druckschmerzhaftigkeit zu leiden. Zur zweiten Nachuntersuchung gaben nur noch drei Allograftpatienten eine als gering bewertete Morbidity an; hingegen bestätigten fünf eigens Patellarsehnendrittel transplantierte Patienten eine als gering bewertete Transplantatentnahmemorbidity. Keloide wurden im inspizierten Bereich nicht beobachtet. Zwischen den Gruppen besteht im T-Test kein signifikanter Unterschied (erste Nachuntersuchung  $p = 0,176$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,362$ ).

#### **4.4.3 Erguss beziehungsweise Überwärmung der Kniegelenke**

Zur ersten Nachuntersuchung hatten jeweils zwei Patienten beider Gruppen einen leichten Erguss. Zur zweiten Nachuntersuchung wies nur ein Patient der Autograftgruppe einen leichten Erguss auf. Es konnte im T-Test kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden (erste Nachuntersuchung  $p = 0,943$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,309$ ).

#### **4.4.4 One-leg hop Test - Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite**

Bei diesem Test wurden die Daten des operierten Kniegelenkes prozentuell mit der Gegenseite verglichen. Zur ersten Nachuntersuchung wiesen alle Patienten des Gesamtkollektivs Werte über 90 Prozent der Gegenseite auf. Zur zweiten Nachuntersuchung hüpften in der mit Fremdtransplantaten versorgten Gruppe 13 der 15 Patienten (86,7 %) eine Weite zwischen 90 und 100 Prozent der Gegenseite. Ein Patient erreichte 89 Prozent und ein Patient unter 50 Prozent der Gegenseite. In der Autograftgruppe erlangten dies 13 Patienten (92,9 %); ein Patient hüpfte 87 Prozent der kontralateralen Strecke. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ermittelt (zweite Nachuntersuchung  $p = 0,600$ ).

#### **4.4.5 Subjektive Einschätzung der Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite**

Die Patienten der Allograftgruppe schätzten ihre Funktionsfähigkeit vor der Revision mit  $7,07 \pm 1,91$  und nach der Revision mit  $8,27 \pm 1,22$  zur ersten Nachuntersuchung ein. Zur zweiten Nachuntersuchung wurde abermals die Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes befragt mit einem Durchschnittswert von  $8,73 \pm 2,15$  vor der Revision und nach der Revision mit  $8,93 \pm 1,03$ . Die Patienten der Autograftgruppe beurteilten ihre Funktionsfähigkeit vor der Revision mit  $7,57 \pm 2,14$  und nach der Revision mit  $8,43 \pm 0,85$  zur ersten Nachuntersuchung. Zur zweiten Nachuntersuchung gaben sie einen Durchschnittswert der Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes vor der Revision mit  $8,71 \pm 2,09$  und nach der Revision mit  $9,14 \pm 0,77$  an. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen gefunden werden.

#### **4.4.6 Differenzen der Umfangsmaße der Beine**

Es wurden die Umfangsmaße 20 cm oberhalb des medialen Gelenkspaltes, der Patellamitte, des maximalen Unterschenkels und der Fessel bestimmt und die Differenzen ermittelt. Im T-Test konnte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Patientenkollektiven zu beiden Nachuntersuchungen gefunden werden.

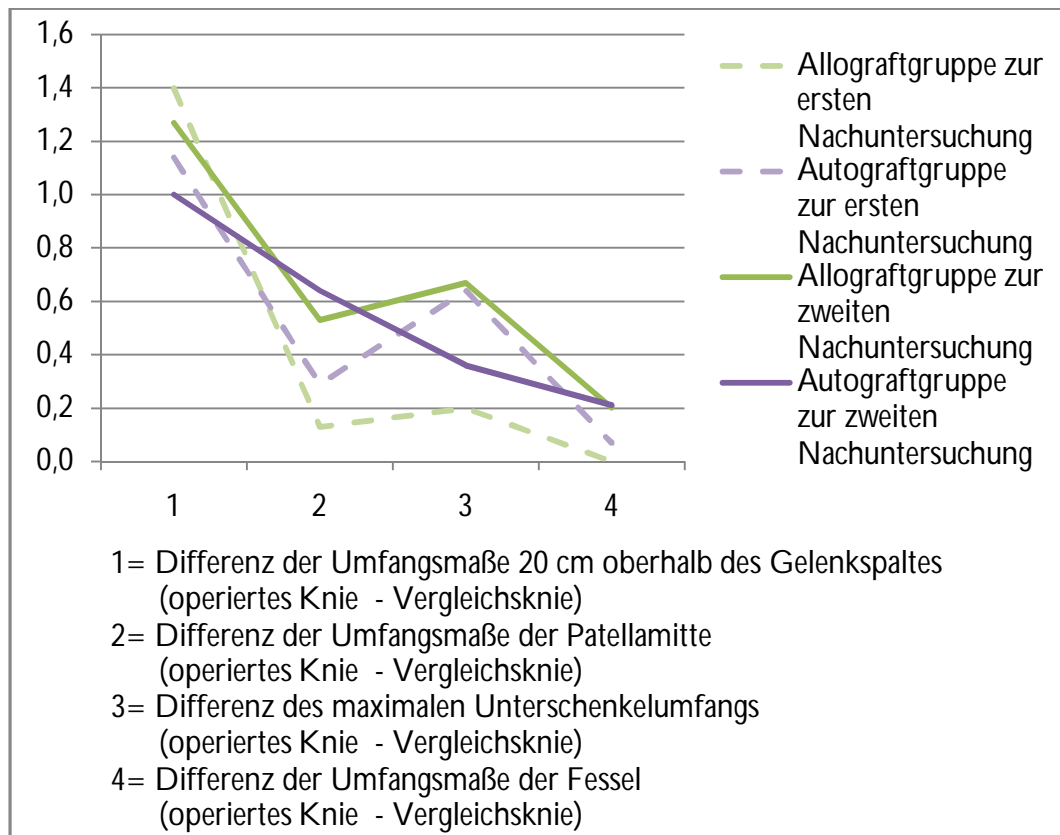


Abbildung 13: Umfangsdifferenzen an unterschiedlichen Messpunkten im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zu beiden Nachuntersuchungen

#### 4.5 Messungen der vorderen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®

##### 4.5.1 Zum ersten mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt

Anhand der Messung der vorderen Translation am operierten Knie und der Gegenseite konnten die in der Tabelle 1 aufgeführten Durchschnittswerte ermittelt werden.

Tabelle 1: Durchschnittswerte der vorderen Translation des operierten und Gegenkniees zum ersten mittelfristigen Untersuchungszeitraum

Gruppe	Δ bei 15 lb in mm	Δ bei 20 lb in mm	Δ bei 30 lb in mm	Δ Man. Max. Displacement in mm	
Allograft (n = 15)	nichtbetroffenes Knie	2,47 (σ = 1,19)	3,67 (σ = 1,45)	5,40 (σ = 2,13)	6,33 (σ = 2,09)
	revidiertes Knie	3,20 (σ = 0,86)	4,87 (σ = 1,46)	6,60 (σ = 1,92)	7,60 (σ = 1,96)
Autograft (n = 14)	nichtbetroffenes Knie	2,07 (σ = 1,21)	3,14 (σ = 1,35)	5,00 (σ = 2,11)	5,79 (σ = 2,08)
	revidiertes Knie	2,64 (σ = 1,15)	4,07 (σ = 1,33)	6,21 (σ = 1,89)	7,00 (σ = 1,66)

Aus den gemessenen Durchschnittswerten für die vordere Translation für das operierte und nichtoperierte Knie wurden die Differenzen ermittelt und in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Tabelle 2: Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen in mm zum ersten mittelfristigen Untersuchungszeitraum zeigen keine signifikanten Differenzen zwischen Autograft und Allograft.

Gruppe	$\Delta$ bei 15 lb in mm	$\Delta$ bei 20 lb in mm	$\Delta$ bei 30 lb in mm	$\Delta$ Man. Max. Displacement in mm
Allograft (n = 15)	0,73 ( $\sigma = 1,67$ )	1,20 ( $\sigma = 2,21$ )	1,20 ( $\sigma = 2,43$ )	1,27 ( $\sigma = 2,19$ )
Autograft (n = 14)	0,57 ( $\sigma = 1,34$ )	0,93 ( $\sigma = 1,69$ )	1,21 ( $\sigma = 2,12$ )	1,21 ( $\sigma = 2,23$ )

Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden (kleinstes  $p = 0,714$ ). Die Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen bei manuell maximaler Kraft werden in Tabelle 3 dargestellt. Ein Patient der Allograftgruppe wurde als Transplantatversager beurteilt, da dieser eine Seitendifferenz von mehr als 5 mm im Manual Maximum Displacement Test aufwies.

Tabelle 3: Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen bei manuell maximalem Zug zur ersten Nachuntersuchung

Seitendifferenz	< 3 mm	3-5 mm	> 5 mm
<b>Allograft (n = 15)</b>	11	3	1
<b>Autograft (n = 14)</b>	9	5	0

#### 4.5.2 Zum zweiten mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt

In Tabelle 4 sind die Durchschnittswerte der Messungen der vorderen Translation der nichtoperierten und operierten Kniegelenke aufgeführt.

Tabelle 4: Durchschnittswerte der vorderen Translation des operierten und Gegenknies zum zweiten mittelfristigen Untersuchungszeitraum

Gruppe	$\Delta$ bei 15 lb in mm	$\Delta$ bei 20 lb in mm	$\Delta$ bei 30 lb in mm	$\Delta$ Man. Max. Displacement in mm
Allograft (n = 15) nichtbetroffenes revidiertes Knie	6,4 ( $\sigma = 2,03$ )	7,20 ( $\sigma = 1,97$ )	8,13 ( $\sigma = 2,36$ )	10,07 ( $\sigma = 2,28$ )
	7,6 ( $\sigma = 2,16$ )	8,33 ( $\sigma = 1,95$ )	9,73 ( $\sigma = 1,86$ )	12,20 ( $\sigma = 2,08$ )
Autograft (n = 14) nichtbetroffenes revidiertes Knie	5,50 ( $\sigma = 2,71$ )	6,50 ( $\sigma = 2,71$ )	7,50 ( $\sigma = 2,79$ )	10,14 ( $\sigma = 2,21$ )
	7,07 ( $\sigma = 2,34$ )	8,21 ( $\sigma = 2,97$ )	9,07 ( $\sigma = 2,37$ )	12,21 ( $\sigma = 1,48$ )

Die folgenden Tabellen 5 und 6 zeigen die ermittelten Differenzen für das operierte und nicht-operierte Knie sowie die Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen bei Manual Maximum Displacement. Die Ermittlung eines signifikanten Unterschiedes zwischen beiden Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden (kleinstes  $p = 0,933$ ). Ein Transplantatversager der Stabilität bezüglich der im maximal manuellen Zug ermittelten Seitendifferenz wurde nicht festgestellt.

Tabelle 5: Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen in mm zum zweiten mittelfristigen Untersuchungszeitraum zeigen keine signifikanten Differenzen zwischen Autograft und Allograft.

Gruppe	$\Delta$ bei 15 lb in mm	$\Delta$ bei 20 lb in mm	$\Delta$ bei 30 lb in mm	$\Delta$ Man. Max. Displacement in mm
Allograft (n = 15)	1,00 ( $\sigma = 1,77$ )	1,13 ( $\sigma = 2,20$ )	1,6 ( $\sigma = 2,44$ )	2,13 ( $\sigma = 2,29$ )
Autograft (n = 14)	1,57 ( $\sigma = 1,99$ )	1,79 ( $\sigma = 1,63$ )	1,57 ( $\sigma = 2,41$ )	2,07 ( $\sigma = 1,54$ )

Tabelle 6: Seitendifferenzen der KT-1000 Messungen bei manuell maximalem Zug zur zweiten Nachuntersuchung

Seitendifferenz	< 3 mm	3-5 mm	> 5 mm
Allograft (n = 15)	6	9	0
Autograft (n = 14)	9	5	0

## 4.6 Ergebnisse der Scores

### 4.6.1 IKDC 2000 Score - Ergebnisse des Formblattes zur subjektiven Beurteilung des Knies und Ergebnisse des Formblattes zur Untersuchung des Knies

Der durchschnittliche IKDC Score betrug zur ersten Nachuntersuchung in der Allograftgruppe  $88,96 \pm 6,78$  Punkte; in der Autograftgruppe  $88,83 \pm 6,02$  Punkte ( $p = 0,957$ ).

Zwei Allograftpatienten (13,3 %) wiesen ein normales Kniegelenk auf. Zwölf Patienten (80 %) zeigten ein fast normales und ein Patient (6,7 %) hatte ein abnormes Kniegelenk. Ebenfalls hatten zwei Autograftpatienten (14,3 %) ein normales und weitere zwölf (85,7 %) ein fast normales Kniegelenk. Kein signifikanter Unterschied wurde im T-Test zwischen beiden Gruppen festgestellt ( $p = 0,625$ ).

Tabelle 7: Ergebnisse des Formblattes zur Untersuchung des Knies des IKDC 2000 Scores zur ersten Nachuntersuchung

Gruppe	A	B	C	D
Allograft (n = 15)	2 (13,3 %)	12 (80,0 %)	1 (6,7 %)	0 (0 %)
Autograft (n = 14)	2 (14,3 %)	12 (85,7 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

Zur zweiten Nachuntersuchung ergab der Durchschnittswert der Allograftgruppe  $85,52 \pm 7,86$  Punkte; der der Autograftgruppe betrug  $89,74 \pm 7,55$  Punkte ( $p = 0,152$ ).

Zwei Allograftpatienten (13,3 Prozent) verfügten über ein normales Kniegelenk, zwölf weitere Patienten (80 %) aus dieser Gruppe über ein fast normales Kniegelenk und ein Patient (6,7 %) über ein abnormes. Aufgegliedert bedeutet dies folgende Entwicklung von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung: elf Patienten behielten B, ein Patient blieb A sowie ein Patient C treu; ein Patient verbesserte sich von B zu A und ein Patient verschlechterte sich von A zu B. In der Gruppe der Autograftpatienten hatten 42,9 Prozent (6/14) ein normales und 57,1 Prozent (8/14) ein fast normales Kniegelenk. Zuordnend vom ersten zum zweiten Untersuchungszeitpunkt blieb bei sieben Patienten ihr Status B und bei einem Patient mit Status A beständig; fünf Patienten verbesserten sich von B zu A; ein Patient verschlechterte sich von A zu B. Es ergab sich im T-Test kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p = 0,055$ ).

Tabelle 8: Ergebnisse des Formblattes zur Untersuchung des Knies des IKDC 2000 Scores zur zweiten Nachuntersuchung

Gruppe	A	B	C	D
<b>Allograft</b> (n = 15)	2 (13,3 %)	12 (80,0 %)	1 (6,7 %)	0 (0 %)
<b>Autograft</b> (n = 14)	6 (42,9 %)	8 (57,1 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

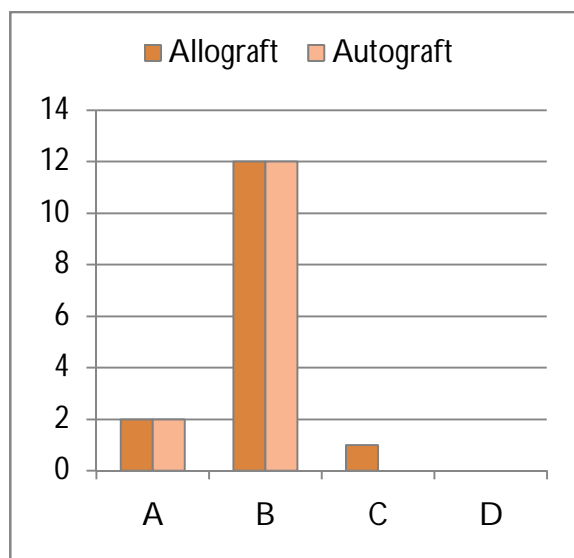


Abbildung 14: Ergebnisse des IKDC 2000 Scores der Allograft- und Autograftgruppe zum ersten Follow-up

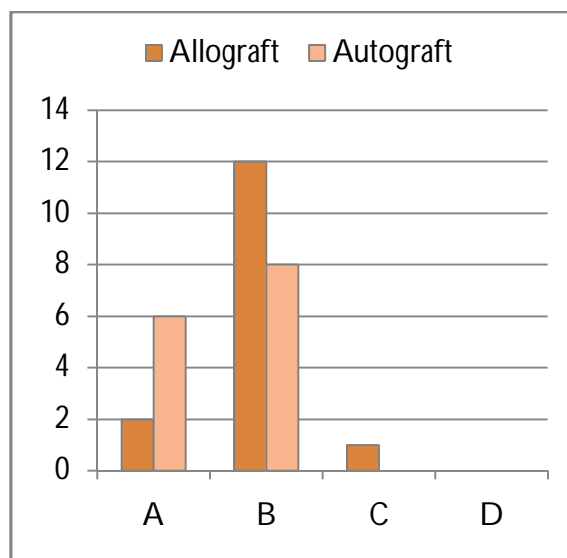


Abbildung 15: Ergebnisse des IKDC 2000 Scores der Allograft- und Autograftgruppe zum zweiten Follow-up

#### 4.6.2 Tegner Aktivitätsscore

Die Patienten der Allograftgruppe erreichten im Tegner Aktivitätsscore zur ersten Nachuntersuchung einen Mittelwert von  $5,47 \pm 2,167$  und die Patienten der Autograftgruppe  $4,50 \pm 0,94$ . Im zweiten Follow-up verringerten sich deren Durchschnittswerte: Allograftgruppe  $4,60 \pm 1,639$ ; Autograftgruppe  $3,71 \pm 1,139$ . Keine statistische Signifikanz war zwischen beiden Gruppen weder zur ersten Nachuntersuchung ( $p = 0,136$ ) noch zur zweiten Nachuntersuchung ( $p = 0,105$ ) zu erkennen. Die Grafiken verdeutlichen die Verteilung.

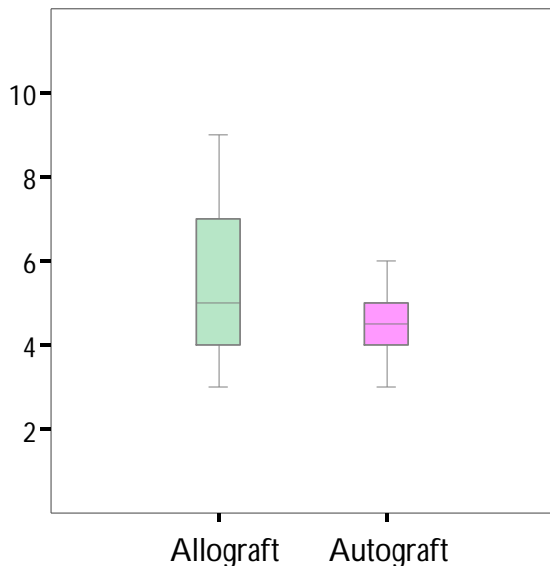


Abbildung 16: Box-Plot Tegner Activity Score der Allograft- und Autograftgruppe zur ersten Nachuntersuchung

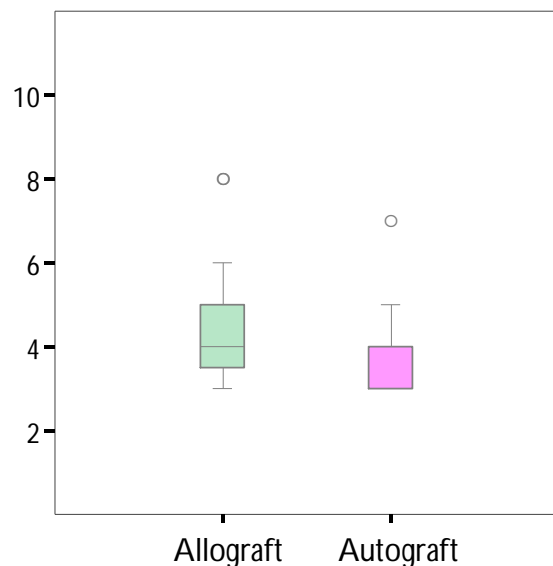


Abbildung 17: Box-Plot Tegner Activity Score der Allograft- und Autograftgruppe zur zweiten Nachuntersuchung (○ = einzelne Ausreißer)

#### 4.6.3 Lysholm Score

95 bis 100 erreichte Punkte werden als "excellent", 84 bis 94 als "good", 65 bis 83 als "fair", 64 und darunter als "poor" gewertet. Im Durchschnitt erhielten die Patienten der Allograftgruppe einen Punktwert von  $92,93 \pm 4,743$  (acht Patienten "excellent", sieben "good"); Patienten der Autograftgruppe erreichten durchschnittlich  $90,57 \pm 5,919$  (vier Patienten "excellent", neun "good", ein Patient "fair") zur ersten Nachuntersuchung. Diese Werte waren nicht signifikant ( $p = 0,244$ ). Zur zweiten Nachuntersuchung wiesen die Allograftpatienten ein Punktwert von  $88,27 \pm 7,392$  (fünf Patienten "excellent", acht "good", zwei "fair") und die Autograftpatienten ein Punktwert von  $93,50 \pm 5,185$  (acht Patienten "excellent", sechs "good") auf. Diese ermittelten Werte ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p = 0,037$ ). Auf Grund der Punktedifferenz von 5,23 ist der Unterschied jedoch klinisch nicht relevant.<sup>184</sup>



## 4.7 Radiologischen Befunde

### 4.7.1 Ausprägung der Gonarthrose zur ersten Nachuntersuchung

Es wünschten 14 von 15 Allograftpatienten Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes zur Verlaufskontrolle. 71,4 Prozent (10/14) der Gruppe zeigten eine retropatellare sowie eine mediale Gonarthrose. Eine laterale Gonarthrose wurde bei 28,6 Prozent (4/14) nachgewiesen.

Vom Zeitpunkt der präoperativen Voraufnahmen bis zur ersten Nachuntersuchung entwickelte ein Patient von zehn eine Retropatellararthrose des ersten Grades. Jeweils verschlimmerte sich bei einem Patienten die mediale beziehungsweise laterale Gonarthrose von Grad I zu Grad II.

Tabelle 9: Grad der Arthrose in der Allograftgruppe zum Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung

	keine Arthrose	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Retropatellararthrose	28,6 % (4/14)	42,9 % (6/14)	21,4 % (3/14)	7,1 % (1/14)	0 % (0/14)
Mediale Gonarthrose	28,6 % (4/14)	42,9 % (6/14)	28,6 % (4/14)	0 % (0/14)	0 % (0/14)
Laterale Gonarthrose	71,4 % (10/14)	14,3 % (2/14)	14,3 % (2/14)	0 % (0/14)	0 % (0/14)

In der Autograftgruppe wünschten alle 14 Patienten Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes zur Verlaufskontrolle. Retropatellararthrosen wurden in 64,3 Prozent (9/14), die mediale Gonarthrose in 50,0 Prozent (7/14) und die laterale Gonarthrose in 14,2 Prozent (2/14) der Fälle festgestellt.

Beginnend vom Zeitpunkt der Revision bis zur ersten Nachuntersuchung wurden retropatellare arthrotische Veränderungen bei einem Patienten (1/13) von Grad I zu II und eines weiteren Patienten von Grad II zu III beobachtet. Ein Patient entwickelte in dieser Zeit eine mediale Gonarthrose (Grad I). Umbaue am lateralen Kniegelenk wurden nicht verifiziert.

Tabelle 10: Grad der Arthrose in der Autograftgruppe zum Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung

	keine Arthrose	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Retropatellararthrose	35,7 % (5/14)	35,7 % (5/14)	21,4 % (3/14)	7,1 % (1/14)	0 % (0/14)
Mediale Gonarthrose	50,0 % (7/14)	35,7 % (5/14)	7,1 % (1/14)	7,1 % (1/14)	0 % (0/14)
Laterale Gonarthrose	85,7 % (12/14)	7,1 % (1/14)	7,1 % (1/14)	0 % (0/14)	0 % (0/14)

Zwischen beiden Gruppen konnte weder bei der retropatellaren Arthrose ( $p = 0,842$ ), bei der medialen ( $p = 0,383$ ) noch bei der lateralen Gonarthrose ( $p = 0,407$ ) ein signifikanter Unterschied im T-Test gefunden werden.

#### 4.7.2 Ausprägung der Gonarthrose zur zweiten Nachuntersuchung

Zur zweiten Nachuntersuchung erbaten 13 von 15 Allograftpatienten radiologische Aufnahmen. 84,6 Prozent (11/13) der Gruppe zeigten eine Retropatellararthrose. Eine mediale Gonarthrose wiesen 92,3 Prozent (12/13) auf und eine laterale Gonarthrose konnte bei 61,5 Prozent (8/12) nachgewiesen werden.

Von der ersten bis zur zweiten Nachuntersuchung bildeten sich bei zwei von 13 Patienten eine retropatellare, bei weiteren zwei eine mediale und bei drei Patienten eine laterale Gonarthrose Grad I aus. Von Grad I zu Grad II verschlechterten sich zwei Patienten mit medialen Kniegelenksveränderungen und ein Patient mit lateraler. Zwei Patienten ohne Arthrose entwickelten Grad II einer lateralen beziehungsweise medialen Gonarthrose.

Tabelle 11: Grad der Arthrose in der Allograftgruppe zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung

	keine Arthrose	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Retropatellararthrose	15,4 % (2/13)	53,9 % (7/13)	23,1 % (3/13)	7,7 % (1/13)	0 % (0/13)
Mediale Gonarthrose	7,7 % (1/13)	38,5 % (5/13)	53,9 % (7/13)	0 % (0/13)	0 % (0/13)
Laterale Gonarthrose	38,5 % (5/13)	30,8 % (4/13)	30,8 % (4/13)	0 % (0/13)	0 % (0/13)

In der Autograftgruppe wurden auf Wunsch in der zweiten Nachuntersuchung 13 von 14 Patienten radiologisch untersucht. Eine Retropatellararthrose wurde in 84,6 Prozent (11/13), eine mediale Gonarthrose in 61,5 Prozent (8/13) und eine laterale Gonarthrose in 23,1 Prozent (3/13) diagnostiziert.

Im Zeitraum der beiden Nachuntersuchungen zeigte einer von 13 Patienten eine retropatellare, ein Patient eine mediale und ein weiterer eine laterale Gonarthrose Grad I. Die retropatellare Arthrose modifizierte sich bei zwei Patienten von Grad I zu Grad II. Ein Patient mit medialer Gonarthrose verschlechterte sich einmalig von Grad I zu Grad II. Ein Patient ohne Arthrose entwickelte Grad II einer medialen Gonarthrose. Die radiologische Ausprägung der Gonarthrose zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 12: Grad der Arthrose in der Autograftgruppe zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung

	keine Arthrose	Grad I	Grad II	Grad III	Grad IV
Retropatellararthrose	15,4 % (2/13)	38,5 % (5/13)	38,5 % (5/13)	7,7 % (1/13)	0 % (0/13)
Mediale Gonarthrose	38,5 % (5/13)	30,8 % (4/13)	23,1 % (3/13)	7,7 % (1/13)	0 % (0/13)
Laterale Gonarthrose	76,9 % (10/13)	15,4 % (2/13)	7,7 % (1/13)	0 % (0/13)	0 % (0/13)

Ein statistisch relevanter Unterschied zwischen der Allograft- und Autograftgruppe konnte im T-Test nicht bei der Retropatellararthrose ( $p = 0,461$ ) und der medialen Arthrose ( $p = 0,178$ ) ermittelt werden. Hingegen zeigte sich bei der lateralen Gonarthrose ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,049$ ).

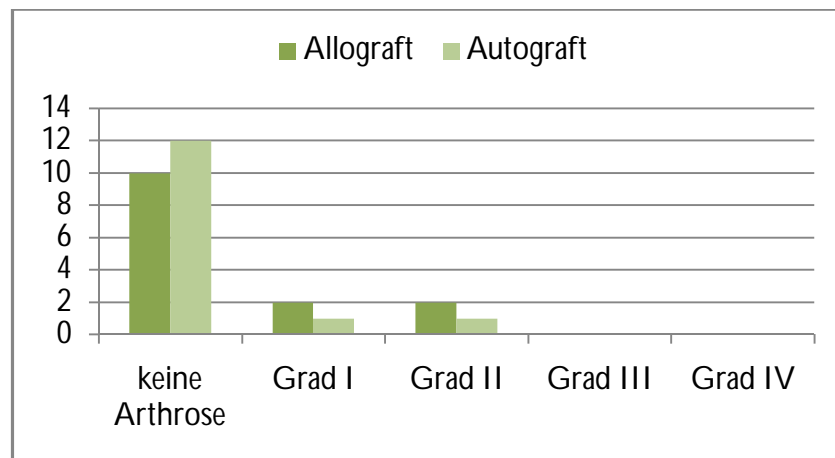


Abbildung 18: Laterale Gonarthrose im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zur ersten Nachuntersuchung

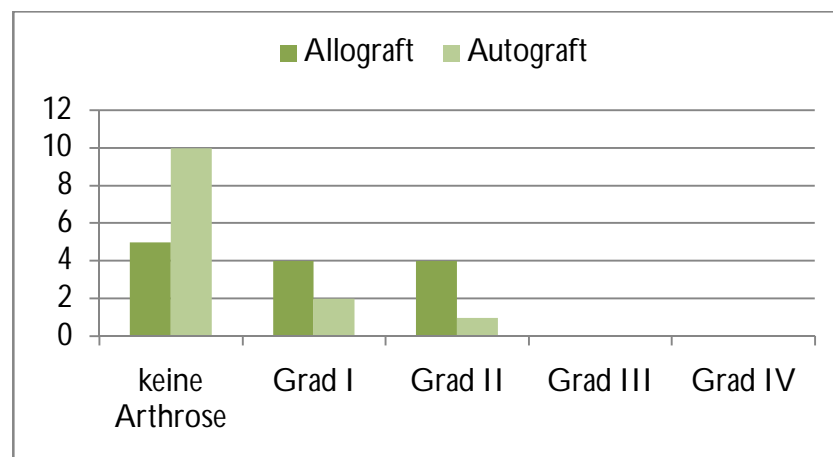


Abbildung 19: Laterale Gonarthrose im Vergleich der Allograft- und Autograftgruppe zur zweiten Nachuntersuchung mit signifikanten Unterschied ( $p = 0,049$ ).

### 4.7.3 Bohrkanalerweiterung

Eine tibiale sowie femorale Bohrkanalerweiterung definierten wir bei einem Durchmesser von  $\geq 16$  mm. In der ersten Nachuntersuchung konnte bei sieben von 14 Patienten (50,0 %) der Allograftgruppe keine femorale und keine tibiale Erweiterung des Tunnels festgestellt werden. Bei zwei Patienten (14,3 %) war beides positiv; fünf Patienten (35,7 %) konnten auf Grund der Voroperationen bedingten Veränderungen nicht in die Beurteilung einbezogen werden. In der Autograftgruppe zeigten zehn Patienten (71,4 %) keine tibiale Verbreiterung; drei Patienten (21,4 %) wiesen diese auf und ein Patient (7,1 %) konnte nicht beurteilt werden. In dieser Gruppe hatte kein Patient (92,9 %) eine femorale Bohrkanalerweiterung. Ein Patient (7,1 %) konnte nicht mit berücksichtigt werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen wurde im T-Test bei der femoralen Bohrkanalerweiterung verifiziert ( $p = 0,023$ ).

Zur zweiten Nachuntersuchung wiesen zwölf Patienten (92,3 %) der Allograftgruppe keine tibiale und keine femorale Verbreiterung auf. Bei einem Patienten (7,7 %) stellte sich die femorale und tibiale Erweiterung des Bohrkannals wie schon zur ersten Nachuntersuchung dar. Bei dem anderen Patienten konnte die femorale und tibiale Erweiterung zur zweiten Nachuntersuchung nicht bestätigt werden.

In der Autograftgruppe zeigte ein Patient weiterhin seine tibiale Kanalerweiterung und entwickelte in dieser Zeit noch eine femorale. Die zwei Autograftpatienten mit tibialer Bohrkanalerweiterung zur ersten Nachuntersuchung wiesen diese zur zweiten Nachuntersuchung nicht mehr auf. Ein Patient davon entwickelte in diesem Zeitraum allerdings eine femorale Verbreiterung. Bei einem weiteren Patienten konnte eine tibiale Tunnelerweiterung diagnostiziert werden. Insgesamt wiesen zwei Patienten eine femorale und zwei Patienten von 13 eine tibiale Erweiterung auf. Zwischen beiden Gruppen erbrachte der T-Test keinen statistisch relevanten Unterschied (femorale und tibiale Bohrkanalverbreiterung  $p = 0,588$ ).

### 4.7.4 Patellaindex und Patellaposition

In der Allograftgruppe betrug der Patellaindex nach Insall und Salvati zur ersten Nachuntersuchung (14/15)  $0,86 \pm 0,14$  und zur zweiten Nachuntersuchung (13/15)  $1,02 \pm 0,12$ . Dies ergibt bei den 13 Patienten über den Zeitraum eine Zunahme des Indexes um 0,17. Von den berücksichtigten Voraufnahmen für die Revision betrug der durchschnittliche Patellaindex bei zehn von den 15 Patienten  $0,93 \pm 0,11$ . Die Aufnahmen der zehn Patienten vor der Revision verglichen mit ihren Röntgenbildern der ersten Nachuntersuchung ergab eine Abnahme des Patellaindexes von 0,03; verglichen mit der zweiten Nachuntersuchung eine Zunahme von 0,08.

Anhand der im Kapitel 3.9.2 vorgestellten metrischen Grenzen des Patellaindexes von Insall und Salvati erfolgte die Bestimmung der Patellaposition. In der Allograftgruppe wiesen vier der 13 röntgenologischen Aufnahmen zur ersten Nachuntersuchung eine Patella baja und neun Patienten eine normale Patellaposition auf. Zur zweiten Nachuntersuchung zeigte einer von den 13 Patienten eine Patella alta; bei den übrigen Patienten war die radiologisch auswertbare Patellaposition normal.

Anhand eines von zehn Patienten mit Voraufnahmen wurde zur ersten Nachuntersuchung eine Veränderung von einer gering tiefergestellten Patella baja zu einer normaleren Position beobachtet und bei weiteren zwei Patienten diagnostizierte man mittels der Werte den umgekehrten Fall. Die übrigen sieben Patienten hatten eine unverändert normale Patellaposition.

Bei vier Patienten verbesserte sich von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung die tieferpositionierte Patella in Richtung einer normalgestellten Kniescheibe. Weiterhin wurde zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt ein Patient mit einer höherpositionierten Patella erfasst. Eine bleibende normale Patellaposition registrierte man bei den verbliebenen acht Patienten.

Den gesamten Zeitraum betrachtend, zeigte sich anhand der Voraufnahmen, dass acht Patienten eine Patella norma aufwiesen; ein Patient mit normalgestellter Patella eine höhergestellte Form entwickelte und ein Patient anfänglich mit einer Patella baja später dem normalen Insall-Salvati Index entsprach.

Zur ersten Nachuntersuchung wurde in der Autograftgruppe (14/14) ein Patellaindex von  $0,86 \pm 0,13$  und zur zweiten Nachuntersuchung (13/14) von  $1,04 \pm 0,19$  festgestellt. Dies ergibt bei den 13 Patienten über den Zeitraum eine Zunahme des Indexes um 0,18. Bei den Aufnahmen vor der Revision ermittelte man bei den elf von 14 Patienten einen Mittelwert von  $0,93 \pm 0,12$ . Die durchschnittliche Veränderung ergab bei diesen elf Patienten eine Abnahme von 0,07 zur ersten Nachuntersuchung; bei der zweiten Nachuntersuchung anhand zehn Patienten eine Zunahme von 0,15.

In der Autograftgruppe zeigten fünf der 14 röntgenologischen Aufnahmen zur ersten Nachuntersuchung eine Patella baja und neun Patienten eine regelrechte Patellaposition. Zur zweiten Nachuntersuchung wiesen zwei von den 13 Patienten eine Patella alta, ein Patient eine Patella baja und zehn Patienten eine Normalposition auf. Zwei von den elf Patienten mit Voraufnahmen hatten zur ersten Nachuntersuchung eine tiefere Position der Patella. Bei zwei Patienten wurde eine Patella baja diagnostiziert. Es lag bei den restlichen sieben Patienten eine normale Patellastellung vor.

Im Zeitraum von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung hatten alle fünf Patienten mit tieferpositionierter Patella eine dem Insall und Salvati entsprechenden Index für eine Patella norma.

Bei zwei Patienten wurde eine höherstehende und bei einem Patienten eine tieferpositionierte Patella bei zuvor bestimmter Normalstellung ermittelt. Bei fünf Patienten war die Patellaposition unverändert normal.

Den sämtlichen Zeitraum dank der Voraufnahmen auswertend, stellt sich dar, dass fünf Patienten die Normalposition beibehielten; ein Patient mit normalgestellter Patella eine tiefergestellte Form und zwei Patienten ebenfalls anfänglich mit normalpositionierter Patella eine höherstehende Patella zeigten; zwei Patienten mit Patella baja eine normalere Stellung aufwiesen.

Korrelationen des Insall-Salvati Index zur Arthroseentwicklung konnten weder zum ersten noch zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt ermittelt werden.

#### 4.7.5 Patellatiltwinkel

Zur ersten Nachuntersuchung wurde in der Allograftgruppe (14/15) ein mittlerer Tiltwinkel von  $10,14^\circ \pm 3,86$  festgestellt. Zur zweiten Nachuntersuchung (13/15) betrug dieser bei den Patienten  $6,77^\circ \pm 3,63$ . Daraus ergibt sich bei den 13 Patienten eine Tiltwinkelabnahme von  $3,08^\circ$ . Der durchschnittliche Patellatiltwinkel betrug vor der Revision bei sechs von den 13 Patienten  $9,33^\circ \pm 2,94$ . Im ersten Beobachtungszeitraum konnte eine Zunahme des Tiltwinkels von  $0,17^\circ$  bei den sechs Patienten bestimmt werden; zum zweiten Beobachtungszeitraum wurde bei diesen eine Abnahme des Tiltwinkels von  $2,33^\circ$  verifiziert.

In der Autograftgruppe (14/14) wurde ein durchschnittlicher Patellatiltwinkel von  $9,93^\circ \pm 4,00$  zur ersten Nachuntersuchung ermittelt. Zur zweiten Nachuntersuchung (13/14) betrug dieser  $6,38^\circ \pm 3,78$ . Dabei ergibt sich bei den 13 Patienten eine Tiltwinkelabnahme von  $3,77^\circ$ . Vor der Revision wurde in der Autograftgruppe ein Mittelwert des Winkels von  $7,57^\circ \pm 2,37$  bei sieben von den 14 Patienten ermittelt. Zur ersten Nachuntersuchung ergibt dies eine Zunahme des Tiltwinkels von  $1,57^\circ$ ; zur zweiten Nachuntersuchung eine Zunahme von  $0,43^\circ$ .

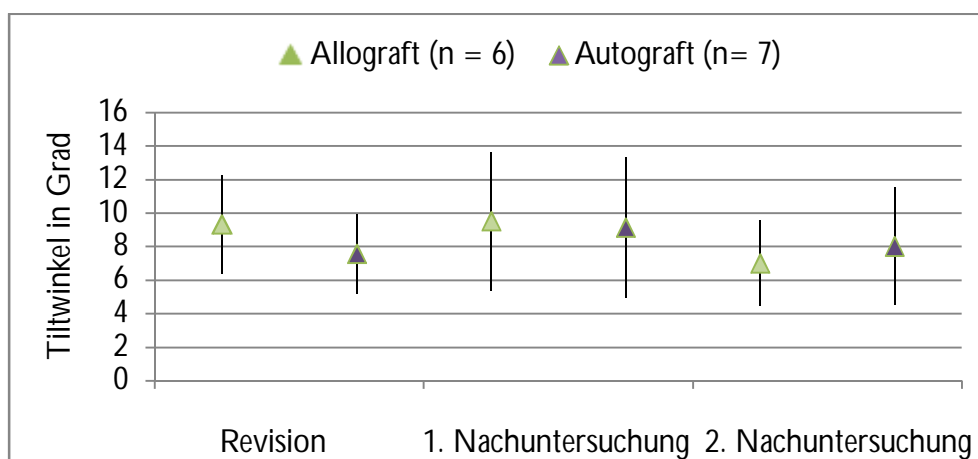


Abbildung 20: Mittelwerte der Tiltwinkel mit SD in Grad der Allograft- und Autograftpatienten mit Aufnahmen zum präoperativen Zeitpunkt und beiden Nachuntersuchungen

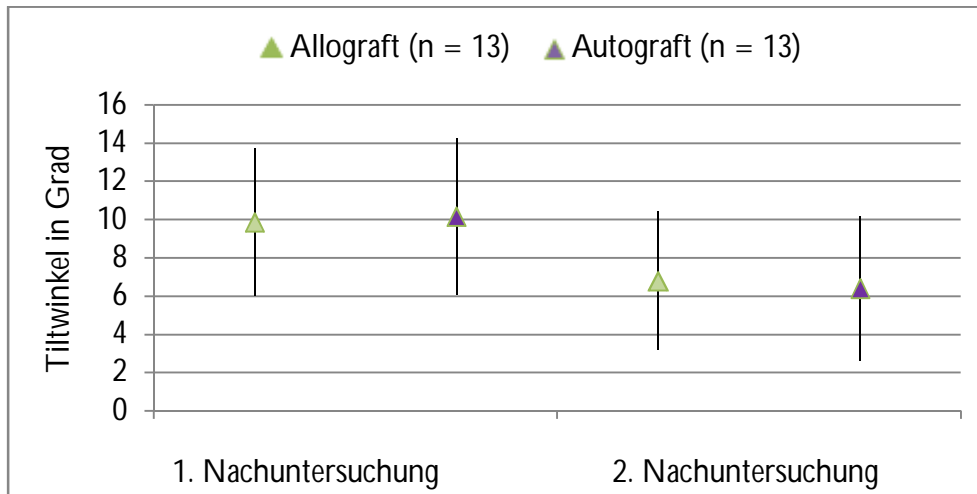


Abbildung 21: Mittelwerte der Tiltwinkel mit Standardabweichung in Grad der Allograft- (n= 13) und Autograftgruppe (n = 13) zur ersten und zweiten Nachuntersuchung

Im T-Test konnte zu beiden Nachuntersuchungen kein signifikanter Unterschied zwischen der Allograft- und Autograftgruppe ermittelt werden (erste Nachuntersuchung  $p = 0,845$ ; zweite Nachuntersuchung  $p = 0,794$ ). Ebenfalls zeigte sich in der Folge bei den Patienten mit den prä-operativen Aufnahmen im T-Test kein signifikanter Unterschied.

#### 4.8 Ergebnisse der Schmerzsymptomatik

Zur ersten Nachuntersuchung gab die Allograftgruppe ein durchschnittliches Schmerzniveau im täglichen Leben des revidierten Knies von  $0,87 \pm 0,990$  auf der Visuellen Analogskala an. Die Autograftgruppe wies einen Mittelwert von  $1,21 \pm 1,051$  auf. Drei Patienten der Allograft- und ein Patient der Autograftgruppe gaben Knieschmerzen bei leichter körperlicher Belastung an. Bei gesteigerter körperlicher Belastung gaben elf Allograftpatienten und ebenso viele Autograftpatienten Knieschmerzen an.

Knien stellt sich schmerzhaft bei fünf Patienten der Allograftgruppe heraus; einem Patienten war das Knien schmerzbedingt nicht möglich. Schmerzen beim Bergabgehen hatten fünf Patienten; beim Bergaufgehen kein Patient. Sieben Patienten der Autograftgruppe gaben Schmerzen beim Knien an; zwei Patienten ist das Knien schmerzbedingt nicht möglich. Drei Patienten schmerzt das Knie beim Bergabgehen und einem Patienten beim Bergaufgehen. Blockaden wies kein Patient des gesamten Kollektivs auf.

Der durchschnittliche Skalenwert der Visuellen Analogskala betrug zur zweiten Nachuntersuchung in der Allograftgruppe  $1,47 \pm 0,915$  und in der Autograftgruppe  $0,50 \pm 0,519$ . Die Frage nach Schmerzen bei leichter körperlicher Belastung beantworteten fünf der Allograftpatienten und vier der Autograftpatienten positiv. Knieschmerzen bei gesteigerter körperlicher Belastung hatten 13 Patienten der Allograft- und acht Patienten der Autograftgruppe.

Schmerzen beim Knien bejahten sieben Patienten der Allograftgruppe; einem Patienten ist das Knien schmerzbedingt nicht möglich. Schmerzen beim Bergabgehen hatten acht Patienten. Beim Bergaufgehen beklagte sich ein Patient über Schmerzen. Ein Patient dieser Gruppe berichtete über Blockaden.

Sechs Patienten der Autograftgruppe gaben Schmerzen beim Knien an; zwei Patienten ist das Knien schmerzbedingt unmöglich. Ein Patient hat sowohl Schmerzen beim Bergauf- und beim Bergabgehen. Des Weiteren beklagte ein Patient Schmerzen beim Bergaufgehen und ein Patient Schmerzen beim Bergabgehen. Über Blockaden berichtete ein Patient dieser Gruppe.

Als einzigen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen in diesem Abschnitt der Untersuchung wurden im T-Test die Schmerzen beim Bergabgehen zur zweiten Nachuntersuchung evaluiert ( $p = 0,027$ ).

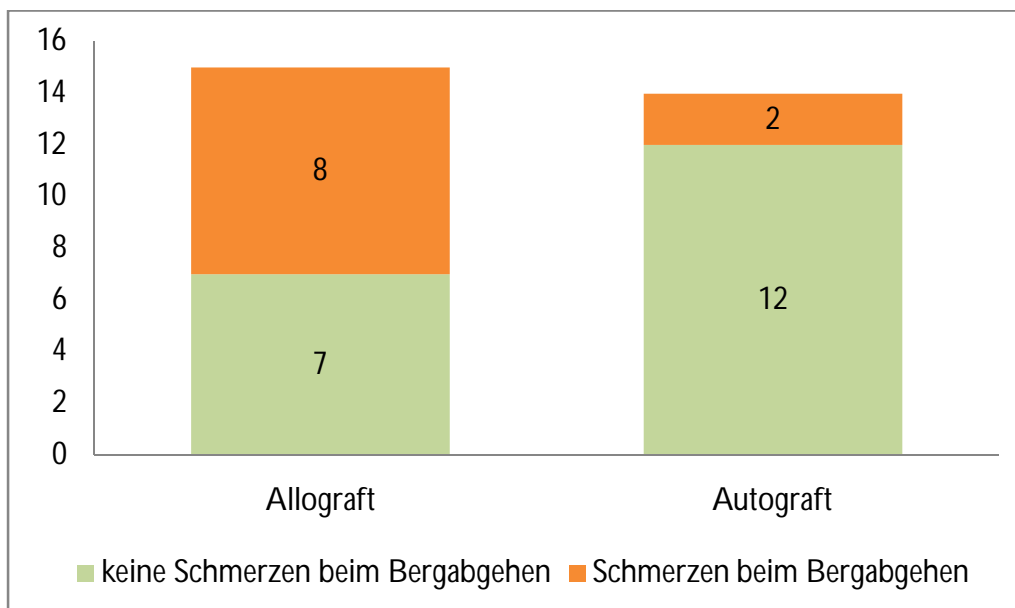


Abbildung 22: Schmerzen beim Bergabgehen im Vergleich der Gruppen zur zweiten Nachuntersuchung mit signifikanter Häufigkeit in der Allograftgruppe ( $p = 0,027$ )

#### 4.9 Komplikationen

Wie bereits ausgeführt, ereignete sich bei einem Patienten, der der Allograftgruppe zugehörig war, eine traumatisch bedingte Reruptur des Fremdtransplantats nach 53 Monaten, die revidiert wurde. Diesem Vorfall folgte der Ausschluss aus der Studie.

Die Differenzen der operierten und nichtoperierten Seite im Manual Maximum Displacement Test ließen einen Transplantatversager ( $> 5$  mm) zum Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung erkennen. Die darauffolgende Nachuntersuchung konnte dieses Ergebnis nicht reproduzieren.



## 5 Diskussion

### 5.1 Studiendesign

#### 5.1.1 Vergleichbarkeit der Patientengruppen

Es herrschte Gruppengleichheit bei der Alters- und Geschlechterverteilung in beiden Gruppen. Der Beruf und die ausgeübten Sportaktivitäten, die mittels des Tegner Aktivitätsscores erfasst wurden, unterschieden sich nicht signifikant in den Gruppen.

In dieser Studie wurden zwei Patienten der Allograft- und ein Patient der Autograftgruppe in dem als akut bezeichneten Zeitraum von unter sechs Wochen revidiert. Der durchschnittliche Zeitabstand zwischen dem Rezidivunfall und dem Revisionseingriff betrug in der Allograftgruppe 29,2 Monate beziehungsweise 24,5 Monate in der Autograftgruppe und war somit vergleichbar.

Bei den Nachuntersuchungszeiträumen stellen zwar die Abbildungen 2 und 3 Ausreißer („etwas größer oder kleiner als die übrigen Werte der Variablen“<sup>13</sup>) und Extremwerte („die sehr weit von den übrigen Werten der Variablen abweichen“<sup>13</sup>) dar, dennoch unterschieden sich die Patientengruppen nicht signifikant und waren miteinander vergleichbar. Die Termine zur Rekrutierung der Patienten ließen sich durch die Verpflichtungen eines jeden einzelnen schlecht steuern, so dass Streuwerte resultierten.

#### 5.1.2 Methodik

Die Untersuchungsmethodik der zweiten Nachuntersuchung glich der ersten Verlaufskontrolle. Die Protokolle

- das Formblatt zur Untersuchung des Knies<sup>60</sup>,
- das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies<sup>60</sup>,
- der Score nach Lysholm und Gillquist<sup>114</sup>,
- der Activity Score nach Tegner und Lysholm<sup>168</sup> und die
- Visuelle Analogskala<sup>81</sup> zur Schmerzsymptomatik waren zu beiden Nachuntersuchungen identisch.

Das Augenmerk der klinischen Untersuchung richtete sich auf den Bewegungsumfang, der Stabilität in der manuellen Untersuchung, den Differenzen der Beinumfangs und Reizzustände. Mittels des KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® wurde die Stabilität nach Daniel<sup>26</sup> beider Kniegelenke bestimmt und die Differenz ermittelt. Die Nativröntgenaufnahmen im Rahmen der aktuellen Nachuntersuchung in zwei Ebenen dienten dem Vergleich mit den vorherigen Aufnahmen sowie der Bestimmung der arthrotischen Veränderungen. Die tangentielle Aufnahme nützte der Bestimmung des Tiltwinkels.

## 5.2 Klinische Untersuchung des Bandhalteapparates

Wir bestimmten die Laxität des Bandhalteapparates durch die manuelle Untersuchung mittels der medialen und lateralen Aufklappbarkeit, des Lachman sowie des Pivot Shift Tests.

Zu der Aufklappbarkeit und dem Pivot Shift Test konnten Harner et al.<sup>56</sup> keinen statistisch relevanten Unterschied zwischen der Allograft- und Autograftgruppe ermitteln. Ebenfalls belegten Barretts et al.<sup>6</sup>, Changs et al.<sup>18</sup>, Kleipools et al.<sup>97</sup> und Saddemis et al.<sup>150</sup> Ergebnisse keinen statistisch relevanten Unterschied zwischen den Gruppen beim Pivot Shift und Lachman Test. Diese Resultate sind mit unseren identisch.

Dennoch beschrieben Shelton et al.<sup>159</sup> und Peterson et al.<sup>131</sup> zwei Jahre nach Rekonstruktion unter Anwendung des Pivot Shift Tests einen Trend zu erhöhter Laxität in der Allograftgruppe. Diese Annahme evaluierten auch Gorschewsky et al.<sup>50</sup> Dabei hatten 15,6 Prozent einen leichten und 3,9 Prozent der Allograftpatienten einen deutlichen „shift“. In der Autograftgruppe wurde in 7,1 Prozent der Fälle ein leichter „shift“ diagnostiziert. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Diese Tendenz der Allografts können wir anhand unserer Ergebnisse zur ersten Nachuntersuchung bestätigen (Allografts 33,3 % vs. Autografts 14,3 %), aber nicht zur zweiten Nachuntersuchung aufrechterhalten. Da zu diesem Zeitpunkt bei nur zwei Allograftpatienten der zur ersten Nachuntersuchung diagnostizierte Pivot Shift glide zu reproduzieren war.

Wir ermittelten eine positive Korrelation zwischen einem vorhandenen Pivot Shift Test und dem Tegner Activity Score zur zweiten Nachuntersuchung ( $\chi^2$ -Test nach Pearson:  $p = 0,017$ ). Es ist daher anzunehmen, dass die Patienten auf Grund des mangelnden Stabilitätsgefühls ihre Aktivität einschränken. Eine Korrelation wie sie Aglietti et al.<sup>1</sup> zwischen dem Pivot Shift Test und erhöhter anteriorer Translation beschrieben, war bei uns mit 30 lb zur ersten Nachuntersuchung vorhanden ( $\chi^2$ -Test nach Pearson:  $p = 0,039$ ).

Die Vermutung liegt nahe, dass bei der zweiten Nachuntersuchung eine geringere Laxität der vorderen Kreuzbandplastik im Vergleich zur ersten Nachuntersuchung besteht, da die Ligamentisierung der Allografts circa zwei Jahre<sup>116</sup> beansprucht.

Dieser Umbauvorgang beeinflusst auch das Resultat des Lachman Tests. So zeigten letzstens nur noch acht Allograftpatienten (sechs Patienten 1+ und zwei Patienten 2++) und nicht mehr das gesamte Kollektiv dieser Gruppe wie zur ersten Nachuntersuchung einen positiven Lachman Test mit Anschlag. Aber nicht nur das Fremdtransplantat, auch das Eigentransplantat „ligamentisiert“<sup>147</sup> und gewinnt dadurch an Stabilität. Nur noch drei Autograftpatienten hatten zum zweiten Follow-up einen positiven Lachman Test mit Anschlag; zur ersten Nachuntersuchung waren es alle 14 Patienten. Allerdings publizierten Gorschewsky et al.<sup>49</sup> gegensätzliche Resultate. Hier war in der Allograftgruppe nach zwei Jahren bei 63,9 Prozent und bei 24,7 Prozent nach sechs Jahren

ein negativer Lachman Test diagnostizierbar. In der Autograftgruppe wiesen 65,4 Prozent nach zwei Jahren und 76,2 Prozent nach sechs Jahren eine normalen Lachman Test auf. Wir vermuten, dass dieses signifikante Resultat ( $p = 0,024$ ) durch die Sterilisation mit hochdosierter Gammabestrahlung begründet sein kann.<sup>144</sup>

### 5.3 Klinische Untersuchung der Beweglichkeit

Zur ersten Nachuntersuchung diagnostizierten wir Extensionsdefizite nur in der Autograftgruppe (5/14), welches sich als signifikant im Vergleich zur Allograftgruppe darstellte ( $p = 0,010$ ). Allerdings zeigten dann zur zweiten Nachuntersuchung zehn Patienten der Allograftgruppe Streckungsverluste. Davon wiesen vier Patienten ein Defizit von  $< 3^\circ$  auf und die restlich betroffenen  $3-5^\circ$ . In der Autograftgruppe hatten sechs Patienten ein Streckungsverlust von  $< 3^\circ$  und drei Patienten  $3-5^\circ$ .

Ein Flexionsdefizit dokumentierten wir bei jeweils sieben Patienten beider Gruppen zur ersten Nachuntersuchung und zum zweiten Follow-up bei fünf Allograftpatienten und sieben Patienten der Autograftgruppe.

Eine bekannte Komplikation unter Verwendung von autogenen Patellarsehndritteln ist die verminderte Extension. Dabei erbrachten Järvelä et al.<sup>80</sup> und Kartus et al.<sup>91</sup> die statistische Erkenntnis, dass Extensions- sowie Flexionsdefizite bei Patienten mit vorderen Knieschmerzen einhergehen. Den Zusammenhang dieser Schmerzen mit dem Streckungsverlust bestätigten weiterhin Irrgang und Harner<sup>70</sup> sowie Sachs et al.<sup>149</sup> In ihrer Studie mit dem autogenen mittleren Patellarsehndrittel hatten 24 Prozent ein Extensionsdefizit von mindestens  $5^\circ$ .

Zwischen den Patientengruppen stellten in Primärrekonstruktionen Barrett et al.<sup>6</sup>, Kleipool et al.<sup>97</sup>, Kustos et al.<sup>104</sup> und Shelton et al.<sup>159</sup> keinen signifikanten Unterschied der Streck- beziehungsweise der Beugedefizite fest. Peterson et al.<sup>131</sup> untersuchten nach ähnlichen Zeitabständen ihre Patientengruppen. Sie beobachteten nach fünf Jahren und nicht wie wir nach zwei Jahren, dass die Allograftgruppe weniger Extensionsverluste aufweist. Gorschewsky et al.<sup>50</sup> erfassten auch einen signifikanten Unterschied nach zwei Jahren. Bei ihnen hatten 12,1 Prozent der Autograftpatienten bei primärer Rekonstruktion ein Extensionsdefizit von  $3-5^\circ$ ; in unserer Revisionsstudie waren es 35,7 Prozent. Auch Harner et al.<sup>56</sup> wiesen in ihrer retrospektiven Studie die höhere Inzidenz der Extensionsverluste in der Autograftgruppe signifikant nach. Abgeschwächt wird diese Aussage durch die bestehende Inhomogenität der Patientengruppen und die nicht konsequente Anwendung einer Orthese. Schwierig ist ein Vergleich mit der Studie zu wagen, da die Art der verwendeten Autografts in der Studie nicht aufgeführt wird.

Das signifikant unterschiedliche Resultat beider Patientengruppen zur ersten Nachuntersuchung begründen wir durch die Entnahme des mittleren Patellarsehnedrittels. Der Eingriff stimuliert die Fibrozyten; in Folge proliferiert das Gewebe, wobei die Hypertrophie eine Kontraktur begünstigt.

Wie Harner et al.<sup>56</sup> die Annahme vertreten, dass Patienten mit Autografts eine höhere Inzidenz für Extensionsverluste haben, verweisen Chang et al.<sup>18</sup> auf das häufige Auftreten von Flexionsdefiziten  $\geq 5^\circ$  bei Patienten mit Allografts. Chang et al.<sup>18</sup> sahen das höhere Lebensalter und die niedrige Compliance bei Rehabilitationsmaßnahmen als mögliche Ursachen für dieses Outcome. Dennoch wird diese These durch Nin et al.<sup>122</sup> gestützt, da von 60 Patienten, die mit allogenen BPTB-Transplantaten rekonstruiert wurden, nur ein Fall mit Streckungsverlust und hingegen sechs Fälle mit Flexionsdefiziten auffällig wurden.

Im Vergleich zu unseren Ergebnissen konnten wir keinen Unterschied bezüglich der Häufigkeit des Beugeverlustes bei den Gruppen feststellen. Selbst eine Tendenz, dass Allograftpatienten eher Flexionsdefizite ausprägen, war in unserer Studie nicht evaluierbar. Demzufolge ist die Annahme von Chang et al.<sup>18</sup> und Nin et al.<sup>122</sup>, dass Allografts eine Einschränkung der Beugung verursachen, von unserer Seite nicht zu bestätigen.

Wir begründen die Zunahme der Patienten mit Streckdefizit in der Allograftgruppe zum Zeitpunkt der zweiten Untersuchung aus einer persistierenden Arthrofibroseneigung durch eine Graft-versus-Host Reaktion oder aus einem persistierenden latentem Reizzustand, der durch die Detergentienverwendung bei der Allograftreinigung resultiert.

Die eruierten Gründe für Bewegungseinschränkungen sind vielfältig. Zum Beispiel beschrieben Kartus et al.<sup>91</sup> Resektionen von Narbengewebe, Bindegewebskonvoluten und Osteophytenformationen um eine vollständige Streckung zu ermöglichen. Weiterhin erhielten fünf Autograftpatienten in Jägers et al.<sup>75</sup> Patientenkollektiv nach der Rekonstruktion eine Notchplastik, da eine komplette Extension des Kniegelenkes auf Grund eines zu weit ventral angelegten Ersatzes verhindert wurde. Bei 26 von 32 Patienten mit Streckdefiziten, die in Labs et al.<sup>105</sup> Studie revidiert wurden, erwies sich ebenfalls eine zu ventrale Platzierung des Kreuzbandes als Ursache. Ferner korrelieren Bewegungsdefizite mit Meniskus- und Knorpelschäden.<sup>89;108</sup> Andere Autoren<sup>57;70;121</sup> bestreiten allerdings diesen Zusammenhang. In unserer Studie war es nicht erforderlich einen Patienten auf Grund dieser aufgeführten Ursachen zu revidieren.

## 5.4 Diskussion weiterer Ergebnisse der klinischen Untersuchung

### 5.4.1 Krepitatio

Noyes und Barber-Westin<sup>124</sup> begründen eine Krepitatio durch den initialen Unfall, den operativen Eingriff oder auch durch Schonung des Knies. Aglietti et al.<sup>1</sup> werden konkreter und verweisen auf die verwendete Transplantatart, da laut ihnen die Krepitatio vermehrt unter Rekonstruktion mit Patellarsehnen im Vergleich zu Hamstringsehnen auftritt.

Unter Primärrekonstruktionen von Gorschewsky et al.<sup>49</sup> wiesen BPTB-Allograftempfänger nach sechs Jahren signifikant öfters diesen pathologischen Befund als Autograftempfänger auf. Ein statistisch relevantes Resultat konnten wir mit unserer Studie nicht bestätigen. Allerdings ermittelten wir eine im Vergleich zu Gorschewsky et al.<sup>49</sup> Artikel kontroverse Tendenz. In unserer Studie zeigten 60,0 Prozent der Allograftempfänger zu beiden Nachuntersuchungen und 92,9 Prozent beziehungsweise 78,6 Prozent der Autograftempfänger zur ersten beziehungsweise zweiten Nachuntersuchung eine Krepitatio. Somit diagnostizierten wir quantitativ eine gesteigerte Krepitatio bei den Autograftempfängern.

Weiterhin bekundeten Chang et al.<sup>18</sup> keinen signifikanten Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen unter primärer Rekonstruktion.

Im Vergleich zu Sheltons et al.<sup>159</sup> Studie wies unsere Allograftgruppe 4,5 mal und die Autograftgruppe 5,6 mal häufiger eine patellofemorale Krepitatio zum Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung auf. Wir nehmen an, dass ein Zusammenhang zwischen der Krepitatio und Voroperationen besteht. Das geringere Vorkommen des femoropatellaren Knirschens bei Shelton et al.<sup>159</sup> beruht vermutlich auf der Tatsache, dass die Patienten primär rekonstruiert wurden.

In unserer Studie verneinten Patienten mit Krepitatio das Vorhandensein von Schmerzen zur zweiten Nachuntersuchung; zum ersten Follow-up beklagte sich ein Autograftpatient über diese im lateralen Kompartiment. Über patellofemorale Krepitatio mit Schmerzen berichteten Shelton et al.<sup>159</sup> öfter. Nach zwei Jahren hatten dabei fünf von neun Krepitatio betroffenen Patienten (2/4 Allograft- und 3/5 Autograftpatienten) milde Schmerzen.

### 5.4.2 Transplantatentnahmemorbidität

In unserer Studie gaben zur zweiten Nachuntersuchung 20 Prozent der Allograftpatienten eine gering bewertete Morbidität im Bereich der Patellarsehne an; 35,7 Prozent der Autograftpatienten bejahten eine geringe Morbidität. Unsere Ergebnisse sind mit denen von Gorschewsky et al.<sup>50</sup> vergleichbar. Dabei hatten 81,0 Prozent der Allograft- und 44,2 Prozent der Autograftgruppe keine Beschwerden. Der Vorteil der Allografts lässt sich in diesem Punkt nicht leugnen.

### 5.4.3 One-leg hop Test - Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenkes im Vergleich zur Gegenseite

Kleipool et al.<sup>97</sup> und Victor et al.<sup>175</sup> wiesen wie wir in ihren Vergleichsstudien der Patientengruppen im Gegensatz zu Gorschewsky et al.<sup>50</sup> keinen signifikanten Unterschied nach. Unsere Ergebnisse zur ersten Nachuntersuchung sind mit denen von Victor et al.<sup>175</sup> vergleichbar. Dabei hüpfte die Allograftgruppe 91,2 Prozent und die Autograftpatienten 93,3 Prozent der Strecke des nichtoperierten Beines. Bei Gorschewsky et al.<sup>50</sup> absolvierten nur 62,3 Prozent der Allograftempfänger und 85,9 Prozent der Autograftempfänger den Funktionstest erfolgreich (Hüpfen einer Weite zwischen 90 und 100 Prozent der Gegenseite).

Zur zweiten Nachuntersuchung erreichten 86,7 Prozent unserer Allograftpatienten und 92,9 Prozent in der Autograftgruppe die erforderte Strecke.

Allerdings können Schmerzen des Kniegelenkes die Ausführung des Tests verhindern oder auch die Leistung mindern. Es konkretisierten Kartus et al.<sup>91</sup> in einer Studie mit autogenen Patellar-sehnentransplantaten, dass Patienten mit vorderen Knieschmerzen den One-leg hop Test signifikant schlechter bewältigten als Patienten ohne diese Einschränkung. Zudem konnten in Järveläs et al.<sup>80</sup> Studie 14 von 91 Patienten auf Grund der vorderen Knieschmerzen den Test nicht ablegen, dieser Umstand trat bei unseren Patienten nicht ein.

Anzumerken ist, dass dieser Test keine Aussage über die anteriore Laxität konstatiert, sondern eher das individuelle Kompensationsvermögen widerspiegelt.<sup>27;148</sup>

### 5.4.4 Differenzen der Umfangsmaße der Beine

Wir wiesen wie Chang et al.<sup>18</sup>, Stringham et al.<sup>165</sup> und Victor et al.<sup>175</sup> nach, dass kein signifikanter Unterschied der Patientengruppen bezüglich der Oberschenkelverschmächtigung besteht. Im Gesamtkollektiv der aktuellen Studie ergaben die Messungen 20 cm oberhalb des Gelenkspaltes einen geringfügig größeren Durchmesser der nichtoperierten Seite im Verhältnis zur Gegenseite. Dies könnte aus der unwillkürlichen Schonung des Kniegelenkes als Folge der Gesamttraumatisierung resultieren, die laut Börnert und Fröhner<sup>10</sup> mit Verschmächtigung des Musculus vastus intermedius einhergeht. Differenzen zwischen den Umfängen der Beine im Bereich des Unterschenkels oder der Fessel können durch muskuläre Defizite oder Lymphabflussstörungen bedingt sein.

## 5.5 Messungen der vorderen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®

Der als Ligamentisierung bezeichnete Umbauvorgang eines Autografts dauert laut Rougraff et al.<sup>147</sup> bis zu drei Jahren. Bei Allografts wird ein verzögerteres Remodeling vermutet.<sup>152</sup>

Man kann davon ausgehen, dass die Transplantate sich zur ersten Nachuntersuchung zwar in einer repräsentativen Phase der Festigkeit, aber nicht im völlig maturierten Stadium befanden.

Im Manual Maximum Displacement Test des KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® konnten wir bei den zwei Nachuntersuchungen keinen signifikanten Unterschied feststellen. Die durchschnittliche Seitendifferenz zwischen gesundem und operiertem Knie betrug in der Allograftgruppe 1,27 mm ( $\sigma = 2,19$ ) zum ersten Follow-up und 2,13 mm ( $\sigma = 2,29$ ) zum zweiten. In der Gruppe der Autograftpatienten betrug die mittlere Seitendifferenz 1,21 mm ( $\sigma = 2,23$ ) zur ersten beziehungsweise 2,07 mm ( $\sigma = 1,54$ ) zur zweiten Nachuntersuchung. Aus diesen Werten lässt sich eine tendenzielle Elongation des Transplantats in beiden Gruppen ableiten, die nicht wesentlich differiert. Zur ersten Nachuntersuchung wurde in der Allograftgruppe ein Transplantatversager (Seitendifferenz  $> 5$  mm bei manuell maximalen Zug) registriert.

Zwischen beiden Vergleichsgruppen stellten auch Noyes und Barber-Westin<sup>123</sup> unter Revision keinen signifikanten Unterschied fest. Hingegen evaluierten diesen Grossman et al.<sup>52</sup> nach 67 Monaten zwischen Allograft- und Autograftpatienten mit Revisionseingriffen. Eine stärkere Differenz der Stabilität des Knies zeigte die Allograftgruppe mit 3,21 mm gegenüber der Autograftgruppe mit 1,33 mm. Dennoch ist diese Aussage eingeschränkt zu beurteilen, da eine geringe Patientenzahl in der Autograftgruppe vertreten war und die Aufarbeitung des allogenen Materials nicht benannt wurde.

Die Ergebnisse der mit allogenen Materialien revidierten Kreuzbänder lassen sich zwischen die Studien von Fox et al.<sup>41</sup> und Johnson et al.<sup>84</sup> einordnen. In der Revisionsstudie evaluierten Fox et al.<sup>41</sup> etwas bessere Resultate im Vergleich zu unserer Studie bezüglich der Seitendifferenz der Allograftpatienten bei manuell maximaler Zugkraft. Dabei wiesen 84 Prozent eine Seitendifferenz von  $\leq 3$  mm nach 4,8 Jahren auf. In unserer Studie zeigten nur 73,3 Prozent der Allograftpatienten zur zweiten Nachuntersuchung diese Werte. Johnson et al.<sup>84</sup> verwendeten nicht nur Patellarsehnen-Allografts wie Fox et al.<sup>41</sup>, sondern auch allogene Achillessehnen. Nur 20 Prozent der Patienten hatten eine Seitendifferenz  $< 3$  mm; in unserer Studie erreichten dies 40 Prozent der Allograftpatienten. Ursache dieser geringen Stabilität der Transplantate begründet sich eventuell in der Art der Aufbereitung. Johnson et al.<sup>84</sup> ließen ihre Allografts mit 2,5 Mrad bestrahlen, wobei dies die biomechanischen Eigenschaften des Transplantats negativ verändert.<sup>37</sup>

Eine signifikant geringere Stabilität von bestrahlten Allografts bestätigten Prodromos et al.<sup>135</sup> in einer Metaanalyse. Die konnten Rihn et al.<sup>144</sup> in deren Vergleichsstudie von bestrahlten Allografts mit Autografts nicht belegen.

Siebold et al.<sup>161</sup> beschäftigten die Anwendung von allogenen BPTB- und ABT-Transplantaten. Nach einem Follow-up von 38 Monaten zeigten die Primäreingriffe eine Seitendifferenz von 2,1 mm beziehungsweise 2,3 mm die Revisionseingriffe. Dabei wird deutlich, dass das Outcome von Primäreingriffen bessere Resultate erzielt.

Ebenfalls keinen signifikanten Unterschied berichteten Barrett et al.<sup>6</sup>, Chang et al.<sup>18</sup>, Kleipool et al.<sup>97</sup>, Peterson et al.<sup>131</sup>, Shelton et al.<sup>159</sup>, Stringham et al.<sup>165</sup> sowie Victor et al.<sup>175</sup> in deren Studien mit auto- und allogenen BPTB-Transplantaten.

In zwei Studien evaluierten Gorschewsky et al.<sup>49;50</sup> einen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen bei Primäreingriffen. Sie zogen das Resümee, von routinemäßigen Eingriffen mit Fremdtransplantaten abzulassen. Dies bot mitunter ein Grund für Gorschewsky et al.<sup>49</sup> dar, den routinemäßigen Einsatz der Allografts nicht zu empfehlen. Zu kritisieren ist in den Studien die Art der angewandten Sterilisation der Fremdtransplantate. Wie schon erwähnt, wird durch Bestrahlung die Biomechanik des Ersatzbandes negativ beeinflusst, die die Laxität des Allografts vermutlich hervorruft.

Der Vergleich unserer Ergebnisse der ersten und zweiten Nachuntersuchung verdeutlicht eine zunehmende anteriore Translation in beiden Patientengruppen, welche von Victor et al.<sup>175</sup> ebenfalls beschrieben wird. Victor et al.<sup>175</sup> schilderten diese Elongation nach einer Beobachtungszeit von zwei Jahren.

Als Fazit unserer Stabilitätsmessungen sind die von uns verwendeten Allografttransplantate den autogenen Transplantaten bezüglich der Stabilität adäquat.

## **5.6 Resultate der klinischen Beurteilungsbögen**

### **5.6.1 IKDC 2000 Score - Formblatt zur Untersuchung des Knies**

Wir erhoben bei beiden Nachuntersuchungen in 14 von 15 Fällen der Allograftgruppe und bei allen Autograftpatienten normale oder fast normale Resultate des IKDC 2000 Scores. Einen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen erkannten wir nicht.

In der Revisionsstudie von Grossman et al.<sup>52</sup> hatten nach 67 Monaten 86,2 Prozent der Revisionspatienten ein exzellentes oder gutes Resultat des IKDC 2000 Scores, wobei größtenteils BPTB-Allografts benützt wurden. Dieses Ergebnis ist mit denen des Gesamtkollektivs vergleichbar. Eine getrennte Beobachtung der Allograft- beziehungsweise Autograftpatienten wurde in dieser Studie nicht realisiert.



Bei Siebold et al.<sup>161</sup> Studie, wobei allogene BPTB- und ABT-Transplantate verwendet wurden, erbrachten nach 38 Monaten 67,0 Prozent der Revisionspatienten ein normales oder fast normales Ergebnis. Vorlat et al.<sup>177</sup> beurteilten Patienten unter Revision mit verschiedensten allogenen Transplantaten. Von 19 Patienten wiesen neun ein fast normales Kniegelenk nach 94 Monaten auf. Eine weitere Revisionsstudie veröffentlichten Kartus et al.<sup>92</sup> unter Anwendung von ipsi- oder kontralateralen autogenen Patellarsehndritteln. Wenn man die Gruppen zusammenfasst, zeigten 41,7 Prozent nach circa zwei Jahren ein gutes Ergebnis.

Die Resultate von Siebold et al.<sup>161</sup>, Vorlat et al.<sup>177</sup> und Kartus et al.<sup>92</sup> fallen im Vergleich mit unserer Studie wesentlich schlechter aus. Ein direkter Vergleich zwischen den Studien ist auf Grund unterschiedlicher Voraussetzungen und verwendeten Materialien nicht möglich.

In der folgenden Tabelle sind prozentuell gute bis exzellente Werte des IKDC 2000 Scores nach Patientengruppen gegenübergestellt. Es wurden prinzipiell nur Werte von Patienten wiedergegeben, die mit autogenen beziehungsweise allogenen PT-Transplantaten rekonstruiert wurden.

Tabelle 13: Vergleich guter bis exzellenter Werte des IKDC 2000 Scores in Prozent anhand verschiedener Studien

	Follow-up	Allograft	Autograft	Gesamtkollektiv
<b>Eigene Studie</b>				
1. Follow-up	19,2 Monate	93,3 %	100,0 %	96,7 %
2. Follow-up	68,8 Monate	93,3 %	100,0 %	96,7 %
<b>Primäre Rekonstruktionsstudien</b>				
RIHN et al. <sup>144</sup> , 2006	4,2 Jahre	90,6 %	82,8 %	85,6 %
BARRETT et al. <sup>6</sup> , 2005	36,4 Monate	86,8 %		90,5 %
	48,4 Monate		96,0 %	
GORSCHEWSKY et al. <sup>49</sup> , 2005	2 Jahre	71,0 %	92,3 %	-
	6 Jahre	36,0 %	83,2 %	-
LAXDAL et al. <sup>108</sup> , 2005	32 Monate	-	69,3 %	69,3 %
SIEBOLD et al. <sup>160</sup> , 2003	37,7 Monate	75,3 %	-	-
EJERHED et al. <sup>32</sup> , 2003	2 Jahre	-	53,0 %	-
GORSCHEWSKY et al. <sup>50</sup> , 2002	22 Monate	71,1 %		-
	24 Monate		92,3 %	
KLEIPOOL et al. <sup>97</sup> , 1998	46 Monate	83,3 %		77,4 %
	52 Monate		69,2 %	
NIN et al. <sup>122</sup> , 1996	47 Monate	85,0 %	-	85,0 %
O'NEILL <sup>127</sup> , 1996	42 Monate	-	91,8 %	-

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass unsere Ergebnisse der Revisionsstudie vergleichbar mit denen der primären Rekonstruktionen von Barrett et al.<sup>6</sup>, Nin et al.<sup>122</sup> und O'Neill<sup>127</sup> sind. In den dargestellten Vergleichsstudien von allo- und autogenen Patellarsehnen erhoben nur Gorschewsky et al.<sup>49/50</sup> einen signifikanten Unterschied. Diesen konnten wir wie auch die anderen aufgeführten Studien nicht belegen.

Im Gegensatz zu den vorliegenden Studien, wurde der unter Kapitel 4.9 vorgestellte Patient auf Grund seiner Ruptur komplett aus der Studie ausgeschlossen. Beziehe man nun den Patienten mit dem IKDC Score D in die Bewertung mit ein, wiesen 14 von 16 Allograftpatienten ein sehr gutes oder gutes Ergebnis auf (87,5 %). Dennoch können die vorhergehenden Vergleiche aufrechtgehalten werden. In unserer Studie verzeichnen wir somit einen Versagensrate durch Rupturen von 3,3 Prozent. Die nachfolgende Tabelle soll durch Rupturen verursachtes Versagen darstellen. Ebenso wurden nur Studien berücksichtigt, die autogene beziehungsweise allogene Patellarsehnen transplantate verwendeten.

Tabelle 14: Transplantatversagen durch Rupturen in Prozent anhand verschiedener Studien (\* = Patient mit Ruptur eingeschlossen)

	Follow-up	Allograft*	Autograft	Gesamtkollektiv
<b>Eigene Studie</b>				
1. Follow-up	19,2 Monate	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2. Follow-up	68,8 Monate	6,3 %	0,0 %	3,3 %
<b>Revisionsstudien</b>				
SIEBOLD et al. <sup>161</sup> , 2002 (BPTB- und AT-Allografts ohne prozentuale Angabe)	38 Monate	8,0 %	-	8,0 %
<b>Primäre Rekonstruktionsstudien</b>				
CHANG et al. <sup>18</sup> , 2003	2,75 Jahre	6,5 %		3,8 %
	3,36 Jahre		0,0 %	
EJERHED et al. <sup>32</sup> , 2003	2 Jahre	-	3,0 %	-
GORSCHEWSKY et al. <sup>50</sup> , 2002	22 Monate	20,6 %		12,4 %
	24 Monate		4,8 %	
BRANDSSON et al. <sup>11</sup> , 2001	4-7 Jahre	-	2,9 %	2,9 %
PETERSON et al. <sup>131</sup> , 2001	63 Monate	3,3 %	3,3 %	3,3 %
JOMHA et al. <sup>87</sup> , 1999	7 Jahre	-	9,7 %	9,7 %
VICTOR et al. <sup>175</sup> , 1997	2 Jahre	12,0 %	0,0 %	4,1 %
STRINGHAM et al. <sup>165</sup> , 1996	34 Monate	12,9 %	0,0 %	5,1 %

Auch in diesem Punkt wird offensichtlich, dass das Versagen der Transplantate in unserer Studie den Ergebnissen von Primärrekonstruktionen ähnelt.

Insgesamt ergaben sich für unsere Patientengruppen, vergleichend mit den aufgeführten Studien, gute Ergebnisse, die auf klar definierten Ausschlusskriterien, maßgeblichen Erfahrungswerten der Operateure und Qualität der Allografts basieren.

### **5.6.2 IKDC 2000 Score - Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies**

Daten zu dem Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies sind in Studien rar vertreten. Der Mittelwert der Allograftgruppe betrug zur ersten Nachuntersuchung in unserer Studie 88,96 Punkte (Spanne 74,71-96,55), in der Autograftgruppe 88,83 Punkte (Spanne 79,31-98,85). Zur zweiten Untersuchung hatten die Allograftpatienten einen Durchschnittswert von 85,52 Punkten (Spanne 67,82-95,40) und 89,74 Punkte (Spanne 74,71-100) erreichte die Autograftgruppe. Die Ergebnisse von Grossman et al.<sup>52</sup> mit 84,84 Punkten (Spanne 0-100) sind mit unseren Ergebnissen vergleichbar. Allerdings erfolgte in der Revisionsstudie keine einzelne Aufgliederung der Patientengruppen. Einen im Vergleich geringeren subjektiven IKDC Score (71 Punkte; Spanne 23-97) zeigten Fox et al.<sup>41</sup> bei Revisionen mit allogenen Patellarsehnen. Weiterhin ist die subjektive Patientenselbsteinschätzung in Labs et al.<sup>105</sup> Revisionsstudie mit verschiedenartigen Transplantaten unter Einbeziehung von Bandprothesen als befriedigend einzuschätzen. Hierbei bestätigten 68,3 Prozent der Patienten ein normales oder fast normales Resultat.

Bei der primären Rekonstruktionsstudie von Kocher et al.<sup>100</sup> mit überwiegender Anwendung von autogenen Patellarsehnedritteln (85 %) versicherten 60,5 Prozent eine normale oder fast normale Funktionsfähigkeit des Knies. Eine Vergleichsstudie zwischen den Patientengruppen verwirklichten Rihn et al.<sup>144</sup> Dabei erlangten die mit bestrahlten Allografts rekonstruierten Patienten nach 4,2 Jahren ein Punktwert von 86,7 und die Autograftgruppe 88,0 Punkte. Dieses Resultat kann mit unseren erreichten Punktzahlen verglichen werden. Dennoch ist zu bemerken, dass es sich bei unserer Studie um Rezidiveingriffe handelt und trotz dessen ein adäquater Vergleich mit primären Rekonstruktionen möglich ist.

In Studien, wobei die subjektive Beurteilung des IKDC 2000 Scores keine Anwendung findet, liest man häufig Aussagen zur Patientenzufriedenheit. In Chang et al.<sup>18</sup> Vergleichsstudie zeigten sich die Allograftpatienten zu 93 Prozent und die Autograftpatienten zu 100 Prozent mit dem chirurgischen Eingriff zufrieden. 81,4 Prozent von 948 mit autogenen Patellarsehnen rekonstruierten Patienten bewerteten ihr Knie als exzellent beziehungsweise gut in Laxdals et al.<sup>108</sup> Studie.

### 5.6.3 Tegner Aktivitätsscore

Die Ergebnisse zeigten zu beiden Untersuchungszeitpunkten keinen statistisch signifikanten Unterschied des Tegner Activity Scores zwischen den Patientengruppen. Dieses Ergebnis bestätigen mehrere Quellen.<sup>6,97,175</sup> Die Einzelwerte der Patienten präsentierten sich im Verlauf zur zweiten Nachuntersuchung wesentlich homogener. Es ist auffällig, dass in diesem Zeitraum das Niveau der Freizeitaktivitäten in beiden Gruppen gesunken ist. Der direkte Vergleich zu Revisionsstudien scheitert an der fehlenden Aufgliederung der Patientengruppen und an den eingesetzten Transplantatarten. Dennoch veranschaulicht die folgende Tabelle einen Vergleich des Scores mit anderen Untersuchungen. Dabei wurden die Rekonstruktionen und Revisionen überwiegend mit auto- beziehungsweise allogenen Patellarsehndritteln durchgeführt.

Tabelle 15: Vergleich der Tegner Activity Scores verschiedener Studien

	Follow-up	Allograft	Autograft	Gesamtkollektiv
<b>Eigene Studie</b>				
1. Follow-up	19,2 Monate	5,47	4,50	5,00
2. Follow-up	68,8 Monate	4,60	3,71	4,17
<b>Revisionsstudien</b>				
GROSSMAN et al. <sup>52</sup> , 2005 (22 BPTB-Allografts, 6 BPTB-Autografts, 1 Achillessehnen-Allograft)	67 Monate	-	-	5,2
FOX et al. <sup>41</sup> , 2004	4,8 Jahre	6,3	-	6,3
<b>Primäre Rekonstruktionsstudien</b>				
BARRETT et al. <sup>6</sup> , 2005	36,4 Monate	4,1		
	48,4 Monate		4,3	-
PETERSON et al. <sup>131</sup> , 2001	63 Monate	5,4	6,1	-
KLEIPOOL et al. <sup>97</sup> , 1998	46 Monate	5,0		
	52 Monate		6,0	-
VICTOR et al. <sup>175</sup> , 1997	2 Jahre	4,41	4,75	-

Im Gegensatz zu den vorgestellten Studien ist hervorzuheben, dass von unserer Allograftgruppe eine höhere Freizeitaktivität als in der Autograftgruppe angegeben wurde.

#### 5.6.4 Lysholm Score

Um die Funktionsfähigkeit des operierten Knies objektiv zwischen beiden Gruppen zu bewerten, diente der Lysholm Score. Die Patientengruppen unterschieden sich in dieser Studie signifikant zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt ( $p = 0,037$ ). Der Unterschied war jedoch klinisch nicht relevant.<sup>184</sup> Insgesamt wurden die Werte als gut beurteilt. In der folgenden Tabelle sind Ergebnisse des Scores nach Rekonstruktionen und Revisionen mit auto- beziehungsweise allo-genen Patellarsehnedritteltransplantaten aufgeführt.

Tabelle 16: Vergleich der Ergebnisse des Lysholm Scores verschiedener Studien

	Follow-up	Allograft	Autograft	Gesamtkollektiv
<b>Eigene Studie</b>				
1. Follow-up	19,2 Monate	92,93	90,57	91,79
2. Follow-up	68,8 Monate	88,27	93,50	90,79
<b>Revisionsstudien</b>				
GROSSMAN et al. <sup>52</sup> , 2005 (22 BPTB-Allografts, 6 BPTB-Autografts, 1 Achillessehnen-Allograft)	67 Monate	-	-	86,6
FOX et al. <sup>41</sup> , 2004	4,8 Jahre	75	-	75
<b>Primäre Rekonstruktionsstudien</b>				
BARRETT et al. <sup>6</sup> , 2005	36,4 Monate	91		
	48,4 Monate		92	-
KUSTOS et al. <sup>104</sup> , 2004	38 Monate	84,1	89,9	-
PETERSON et al. <sup>131</sup> , 2001	63 Monate	90,0	88,6	-
KLEIPOOL et al. <sup>97</sup> , 1998	46 Monate	94		
	52 Monate		95	-
VICTOR et al. <sup>175</sup> , 1997	2 Jahre	85,4	92,6	-

Die ermittelten Punkte lassen sich mit denen von Barrett et al.<sup>6</sup> nach mindestens zwei Jahren Follow-up und Peterson et al.<sup>131</sup> nach fünf Jahren Follow-up vergleichen, obwohl diese primär rekonstruierten. Unsere Ergebnisse sind für Patienten mit Revisionseingriffen somit als positiv einzuschätzen. Die dargestellten Rekonstruktionsstudien ratifizierten keine Signifikanz zwischen den Patientengruppen. Interessant ist, dass die Autograftgruppe eine statistisch relevante bessere Funktionsfähigkeit zeigt. Da Allograftpatienten durchschnittlich einen besseren Tegner Activity Score aufweisen, sind ihre Kniegelenke wesentlich stärkeren Belastungen ausgesetzt. Infolgedessen vermuten wir, dass diese Beanspruchungen einen höheren Verschleiß verursachen und somit einen geringeren Score der Funktionsfähigkeit verwirklichen.

## 5.7 Radiologische Befunde

### 5.7.1 Gonarthrose

Vor einem Dezennium stellten Gillquist und Messner<sup>47</sup> eine bis zu zehnfach erhöhte Wahrscheinlichkeit der Gonarthrose für ein Kniegelenk nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes gegenüber einem gesunden Knie fest. Vorherige Menishektomien verstärken dieses Risiko immens.<sup>43;156;178</sup>

In Fink et al.<sup>40</sup> Studie zeigten nur 20 Prozent der operierten Patienten nach  $74,3 \pm 8,9$  Monaten keine arthrotischen Veränderungen; von den konservativ behandelten nach  $89,6 \pm 6,8$  Monaten dagegen 50 Prozent. Daniel et al.<sup>25</sup> sowie Seitz et al.<sup>157</sup> sind ebenfalls der Ansicht, dass eine operative Therapie der konservativen bezüglich einer Progression der Arthrose vorzuziehen ist. In unserer Studie erfuhren vom ersten zum zweiten Follow-up 53,9 Prozent der Allograftpatienten und 46,2 Prozent der Autograftpatienten Veränderungen im Grad der Arthrose. Hingegen sind Hart et al.<sup>59</sup> nicht der Überzeugung, dass eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes das Risiko einer Arthroseentwicklung stark erhöht.

Zur ersten Nachuntersuchung wurden in unserer Studie keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der retropatellaren, der medialen und der lateralen Gonarthrose zwischen beiden Patientengruppen gefunden. Zur zweiten Nachuntersuchung ist die laterale Gonarthrose signifikant häufiger bei den mit Allograft versorgten Patienten nachzuweisen ( $p = 0,049$ ). Die Aufnahmen vor der Revision wurden in stark divergierenden Zeiträumen erstellt, so dass sie für den einzelnen Patienten durchaus verwertbar, aber dem Vergleich zu anderen Studien nicht dienen können.

### 5.7.2 Bohrkanalerweiterung

Dass die Bohrkanalerweiterung als Phänomen bezeichnet wird, begründet sich in ihrer bisher ungeklärten Ätiologie. Einige Autoren erklären diese auf biologischer Ebene; andere favorisieren eher mechanische Ursachen.

Höher et al.<sup>65</sup> geben eine Zusammenfassung über mögliche Gründe. Unter biologische Faktoren werden dabei unspezifische Entzündungsreaktionen durch Zytokine, toxische Zellnekrosen zum Beispiel durch Ethylenoxid<sup>74</sup>, Hitzeschäden (durch Bohren), Remodeling des Transplantats<sup>82</sup> aber auch Fremdkörperimmunantworten speziell gegenüber Allografts<sup>34</sup> verstanden. Synoviale Flüssigkeit, eher im tibialen Kanal aufzufinden, stellte nach Clatworthy et al.<sup>20</sup> und Fink et al.<sup>39</sup> eine weitere Ursache dar. Mechanische Faktoren inkludieren die Transplantatbewegung innerhalb des Tunnels, aggressive Rehabilitation, gesteigerte Kräfte auf das Transplantat durch unkorrekte Platzierung und lokale Einschränkungen des Tunnels.<sup>65</sup>

Höher et al.<sup>65</sup> erklären die longitudinalen Bewegungen besonders bei Endobutton-Fixierung als "bungee effect". Wirken dabei zusätzliche Scherkräfte, reibt das Transplantat am Tunneleingang. Diesen Vorgang nennt man "windshield wiper effect". Das biomechanische Kräfte eine Rolle zur Entstehung der Bohrkänerweiterungen beitragen, verifizieren Jagodzinski et al.<sup>78</sup> in ihrem Artikel.

In unserer Studie wiesen zur ersten Nachuntersuchung 22,2 Prozent der Allograftpatienten (zwei Patienten), die beurteilt werden konnten, eine tibiale und femorale Bohrkänerweiterung auf. Von den beurteilbaren Autograftpatienten hatten drei Patienten (23,1 %) eine tibiale Bohrkänerweiterung. In Finks et al.<sup>39</sup> Studie trat eine tibiale Verbreiterung bei mittels autogenen PT versorgten Patienten in sagittaler Ebene zu 30,6 Prozent und in koronarer Ebene zu 16,4 Prozent nach zwei Jahren auf.

Zur ersten Nachuntersuchung zeigten sich in unserer Studie keine femoralen Kanalverbreiterungen der Autograftgruppe im Gegensatz zur Allograftgruppe (n = 2). Dieses Resultat war signifikant (p = 0,023). Es könnte sich um eine frühe Graft-versus-Host Reaktion in der Allograftgruppe handeln. Unsere Ergebnisse der zweiten Nachuntersuchung bezüglich der tibialen Bohrkänerweiterung stimmen mit denen in Zijls et al.<sup>188</sup> Studie überein. Zijl et al.<sup>188</sup> entdeckten gleichermaßen keinen signifikanten Unterschied der tibialen Verbreiterungen nach durchschnittlich 59 Monaten bei Rekonstruktionen mit auto- und allogenen Patellarsehnen. Ferner konnten sie keine femoralen Erweiterungen feststellen. Sie begründen dies in der Bündigkeit des Knochenblocks, so dass dieser vor Stress abgeschirmt ist.

Über die zeitliche Entstehung der Känerweiterungen gibt es unterschiedliche Darstellungen. Jo et al.<sup>83</sup>, Peyrache et al.<sup>132</sup> und Simonian et al.<sup>162</sup> sind der Auffassung, dass Bohrkänerweiterungen innerhalb der ersten drei Monate entstehen. Fink et al.<sup>39</sup> und Harris et al.<sup>58</sup> argumentieren hingegen für die Entwicklung innerhalb von sechs Wochen. Hogervorst et al.<sup>64</sup> bestätigten, dass eine Wiedererlangung des knöchernen Gleichgewichts bis zu zwei Jahren dauern kann, wenn die Fixation 14 mm distal des Gelenkes liegt. Anhand unserer Resultate wird deutlich, dass im Zeitraum beider Nachuntersuchungen Remodelingprozesse ablaufen. Durch diesen Vorgang konnten wir die Patienten, welche zur ersten Nachuntersuchung röntgenologisch nicht beurteilbar waren, problemlos zur zweiten Nachuntersuchung begutachten. Wir vertreten die Meinung, dass die Sklerosierung der Wände, die visuelle Abgrenzung des Tunnels ermöglichte.

Prinzipiell ist zu betonen, dass die Tunnelerweiterung keinen Einfluss auf die Stabilität des Knies nimmt.<sup>20;39;71;155</sup>

Vergleiche zu anderen Studien, die ebenfalls Eigen- und Fremdtransplantate der Patellarsehne analysierten, sind spärlich. Insbesondere sind Untersuchungen, die ein Follow-up von fünf Jahren verfolgen selten. Umso wichtiger ist es, dieses Phänomen weiterhin zu erforschen. Denn gerade in der Revisionschirurgie wird die Fixation eines neuen Transplantats durch Bohrkanalerweiterungen verkompliziert.

### 5.7.3 Patellaindex und Patellaposition

Durch Entnahme des mittleren Patellarsehnendrittels kann sich eine Verkürzung dieser ergeben. Zur ersten Nachuntersuchung in unserer Studie hatten nach den Kriterien von Insall-Salvati fünf Autograftpatienten (38,5 %) eine Patella baja. Allerdings wurden auch tieferpositionierte Patellae bei vier Allograftpatienten (30,8 %) eruiert, welche sich auf die erstmalige Rekonstruktion mit Autografts begründen. Nur ein Patient der Autograftgruppe (7,7 %) wies zur zweiten Nachuntersuchung eine Patella baja nach dem Insall-Salvati Index auf. Zudem dokumentierten wir zu diesem Zeitpunkt bei zwei Patienten der Autograftgruppe (15,4 %) und bei einem Patienten der Allograftgruppe (6,7 %) eine Patella alta.

Wang et al.<sup>178</sup> belegten nach 58 Monaten Follow-up das Vorhandensein einer Patella baja in 18,2 Prozent und der Patella alta in 9,1 Prozent der Fälle, wenn das mittlere Patellarsehnendrittel als Eigentransplantat diente. Tria et al.<sup>171</sup> sind der Überzeugung, dass die Patella infra durch die Verwendung von autogenen Patellarsehnendritteln und Nähen der Sehne resultiert. In diesem Zusammenhang erklärten Lin et al.<sup>112</sup>, dass Rekonstruktionen mit autogenen mittleren Patellarsehnendritteln bei Patienten mit Patella baja nicht ideal sind.

### 5.7.4 Patellatiltwinkel

Zu beiden Nachuntersuchungen verifizierten wir nach Laurin et al.<sup>106</sup> zwischen den Patientengruppen nur einen geringfügigen Unterschied der Tiltwinkelmittelwerte (erste Nachuntersuchung  $\Delta = 0,30$ ; zweite Nachuntersuchung  $\Delta = 0,39$ ).

Verkippen über 15° in 15-20° Flexion sollten nach Gerber et al.<sup>45</sup> nicht überschritten werden. In dieser Studie wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem Tiltwinkel über 15° und vorhandenen peripatellaren Schmerzen dargestellt. Da in unserer Studie nur zur ersten Nachuntersuchung bei zwei Patienten der Autograftgruppe eine Abkippen von 16° gemessen und nur einmal Schmerzen beim Knien beklagt wurden, können wir dieses Erkenntnis von Gerber et al.<sup>45</sup> aus unserer Datenlage nicht stützen. Trotz der Ausgangslage, dass die Patienten zunächst verschiedene Erstimplantate erhielten, denken wir, dass die Wahl des Transplantats keinen Einfluss auf die Entwicklung des Tiltwinkels hat.



## 5.8 Ergebnisse der Schmerzsymptomatik

Populär ist, dass die Entnahme des mittleren Patellarsehnedrittels Komplikationen birgt. Bereits im Kapitel 5.3 wurde der Zusammenhang von vorderen Knieschmerzen und Bewegungsdefiziten erwähnt.<sup>80;91</sup> Eine Korrelation des vorderen Knieschmerzes mit Verlust der Flexion wie es Kartus et al.<sup>91</sup> und Stapleton<sup>163</sup> beschrieben, konnten wir nicht nachweisen.

Des Weiteren sind Patellafrakturen<sup>129;164</sup>, Sensibilitätsverluste<sup>36</sup>, die Tieferstellung der Patella<sup>171</sup> und Keloidbildungen unter der Verwendung der Autografts im Vergleich zu den Fremdtransplantaten laut Literatur häufiger.

Wir evaluierten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen bezüglich der Schmerzen beim Knien, Gehen, Stehen, in Ruhe, nach leichter oder schwerer körperlicher Belastung sowie beim Bergaufgehen nach dem ersten beziehungsweise zweiten Follow-up.

Kleipool et al.<sup>97</sup>, Shelton et al.<sup>159</sup> und Victor et al.<sup>175</sup> verglichen allogene und autogene Patellarsehnen; betreffs des vorderen Knieschmerzes stellten sie wie wir keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen fest.

Die Schmerzen beim Knien in der Allograftgruppe begründen sich in den Voroperationen, da bei sechs von den betroffenen Patienten zuvor eine ipsilaterale Patellarsehne als Ersatz verwendet und ein Patient durch Kreuzbandnaht mit Augmentation rekonstruiert wurde. Diese Annahme lässt sich durch Fox et al.<sup>41</sup> Studie bestätigen. Schließlich wurden die mit Allograft revidierten Patienten primär mit einem mittleren Patellarsehnedrittel-Autograft versorgt und 47 Prozent dieser Patienten wiesen zur Nachuntersuchung nach 4,8 Jahren Schmerzen beim Knien auf.

## 5.9 Limitierungen der Studie

Ursprünglich war von uns eine prospektiv randomisierte Studie beabsichtigt, die durch das Veto der Ethikkommission nicht verwirklicht werden konnte. Dementsprechend diente eine Kontrollgruppe für das Level of Evidence IV nach Dick<sup>30</sup>. Die Aussagekraft der Studie kann als gemindert eingeschätzt werden, da pro Untersuchungsgruppe eine geringe Fallzahl vorhanden war. Auf Adjustierungen nach Risikofaktoren der vorderen Kreuzbandruptur wie Alter, Geschlecht, Aktivitätsgrad etc. wurde verzichtet.

Die durch Rupturen vorgestellten Versagensquoten in Kapitel 5.6.1 betragen 2,9 bis 12,4 Prozent. Wir ermittelten in unserer Klinik niedrige Rerupturraten, in der Annahme, dass die Patienten zum Revisionseingriff nicht andere Krankenhäuser zur Behandlung vorzogen. Auf Grund dieser kleinen Anzahl, ist es schwer, Patienten, die primär mit gleichen Transplantaten operiert wurden, für eine homogene Ausgangslage zu erfassen.

Zeitlich variierende Nachuntersuchungen waren nicht vermeidbar.

Zur Bewertung des Arthrosegrades wäre die Dokumentation pathologischer Veränderungen oder traumatisch bedingter Verletzungen der Menisken hilfreich gewesen, da eine besagte Korrelation zwischen diesen besteht.

### **5.10 Schlussfolgerungen**

Beide Transplantattypen erwiesen in der klinischen Untersuchung und objektiven Messung gute, vergleichbare Resultate. Eine Transplantatruptur in der Allograftgruppe auf Grund eines Traumas musste innerhalb der Beobachtungszeit verzeichnet werden.

Weiterhin bestätigte die subjektive Beurteilung nach IKDC die klinischen Ergebnisse des Scores. Den Vorteilen der Allografts wie besseres Extensionsverhalten, unter primärer Rekonstruktion keine Entnahmemorbiditäten und bessere kosmetische Resultate stehen unter Berücksichtigung der Literatur Nachteile wie transplantatbedingte Infektionsrisiken, höhere Laxität und höhere Unkosten gegenüber. In der aktuellen Studie sehen wir bei Allograftverwendung keine Nachteile oder Risiken.

Besonders bei allogenen Revisionstransplantationen können bereits entstandene Bohrkanelerweiterungen mit Knochenblöcken aufgefüllt und zugleich der Revisionseingriff in einer Sitzung durchgeführt werden. Das allogene Transplantat bietet Vorteile für Patienten, die eine geringere Morbidität, eine verkürzte Frührehabilitation und schnellere Wiedereingliederung in den Arbeitsprozess wünschen.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen einer retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurden die Ergebnisse der vorderen Kreuzbandplastik nach Revision mit mechanisch gereinigten fresh-frozen mittleren Patellarsehndrittel-Allograft und dem mittleren Patellarsehndrittel-Autograft ermittelt. Weiterhin wurden diese nach  $68,76 \pm 6,75$  Monaten erfassten Resultate mit denen der ersten Nachuntersuchung ( $19,17 \pm 5,78$  Monate postoperativ) verglichen.

Zur zweiten Nachuntersuchung stellten sich 15 von 20 Patienten der Allograftgruppe und 14 von 20 Patienten der Autograftgruppe zur Verfügung. Ein Patient wurde durch seine traumatisch bedingte Reruptur des Allografts und erfolgter Re-Reoperation von der Studie ausgeschlossen. Beide Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in Alter und Geschlecht.

Zur Feststellung der Stabilität und Funktion des Kniegelenkes diente die manuelle klinische Untersuchung anhand dem Formblatt des IKDC 2000, die Messung mittels des KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® sowie der Lysholm Score. Durch den Tegner Aktivitätsscore wurden die Erfordernisse des Berufs und der Sportaktivitäten ermittelt. Die subjektive Schmerzsymptomatik erfasste man mit einer Visuellen Analogskala. Anhand der Röntgenbilder wurde die Gonarthrose graduiert, die Bohrkanallage und die Patellaposition beurteilt sowie Bohrkanalerweiterungen vermessen.

Die Messung der anterioren Translation durch das KT1000™ Knee Ligament Arthrometer®, die manuelle klinische Untersuchung bezüglich der Stabilität und die subjektive Beurteilung anhand des IKDC 2000 Scores wies keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen auf. Extensionsdefizite waren zahlreicher bei Patienten mit autogenem Ersatz zur ersten Nachuntersuchung nachweisbar ( $p = 0,010$ ). Zum zweiten Follow-up wurde radiologisch häufiger eine laterale Gonarthrose in der Allograftgruppe diagnostiziert ( $p = 0,049$ ); die vorausgehende Pathologie im lateralen Kompartiment dieser Patienten war jedoch nicht genau bekannt. In dieser Gruppe waren im Vergleich zur Kontrollgruppe bei der ersten Nachuntersuchung signifikant häufiger femorale Bohrkanalerweiterungen zu beobachten ( $p = 0,023$ ). Schmerzen beim Bergabgehen wurden signifikant häufiger von den Allograftpatienten zur zweiten Nachuntersuchung bestätigt ( $p = 0,027$ ).

Da sich die allogenen Patellarsehndrittel den autogenen Transplantaten bezüglich der Stabilität, der subjektiven und objektiven Summenscores in der Revisionschirurgie als gleichwertig erwiesen, stellen diese eine sinnvolle Alternative zum autogenen mittleren Patellarsehndrittel in der Revisionschirurgie dar.

**7 Literaturverzeichnis**

- 1 **Aglietti P** †, Buzzi R, Zaccherotti G, De Biase P: Patellar Tendon Versus Doubled Semitendinosus and Gracilis Tendons for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 1994;22(2):211-7.
- 2 **Ahn JH**, Lee YS, Ha HC: Comparison of Revision Surgery With Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Outcome of Revision Surgery Between Different Graft Materials. *Am J Sports Med* 2008;36(10):1889-95.
- 3 **Altman K**: Zur kausalen Histogenese des Knorpels: W. Roux's Theorie und experimentelle Wirklichkeit. *Erg Anat Entwickl Gesch* 1964;37:1-167.
- 4 **Amis AA**, Jakob RP: Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998;6(Suppl 1):S2-12.
- 5 **Asselmeier MA**, Caspari RB, Bottenfield S: A review of allografts processing and sterilization techniques and their role in transmission of the human immunodeficiency virus. *Am J Sports Med* 1993;21(2):170-5.
- 6 **Barrett G**, Stokes G, White M: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Patients Older Than 40 Years: Allograft Versus Autograft Patellar Tendon. *Am J Sports Med* 2005;33(10):1505-12.
- 7 **Bechtold JE**, Eastlund DT, Butts MK, Lagerborg DF, Kyle RF: The effects of freeze-drying and ethylene oxide sterilization on the mechanical properties of human patellar tendon. *Am J Sports Med* 1994;22(4):562-66.
- 8 **Bengtsson J**, Möllborg J, Werner S: A study for testing the sensitivity and reliability of the Lysholm knee scoring scale. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4(1):27-31.
- 9 **Berg EE**: Management of patella fractures associated with central third bone-patella tendon-bone autograft ACL reconstructions. *Arthroscopy* 1996;12(6):756-9.
- 10 **Börnert K**, Fröhner G: Die sonographische Diagnostik bei Störungen des neuromuskulären Systems Kniegelenk nach Kreuzbandverletzungen. *Akt Traumatol* 1994;24:232-8.
- 11 **Brandsson S**, Faxén E, Kartus J, Jerre R, Eriksson BI, Karlsson J: A prospective four- to seven-year follow-up after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 2001;11(1):23-7.
- 12 **Breitfuss H**, Fröhlich R, Povacz P, Resch H, Wicker A: The tendon defect after anterior cruciate ligament reconstruction using the midthird patellar tendon - a problem for the patellofemoral joint? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;3(4):194-8.
- 13 **Brosius F**: SPSS FÜR DUMMIES®. Wiley-VCH, Weinheim, 2007, S. 171
- 14 **Buck BE**, Malinin TI, Brown MD: Bone transplantation and human immunodeficiency virus: An estimated risk of allograft anterior cruciate ligament replacement. *Clin Orthop* 1996;324:126-33.
- 15 **Centeno JM**, Woolf S, Reid JB 3rd, Lubowitz JH: Do anterior cruciate ligament allograft culture results correlate with clinical infections? *Arthroscopy* 2007;23(10):1100-3.
- 16 **Centers for Disease Control and Prevention (CDC)**: Invasive Streptococcus pyogenes After Allograft Implantation - Colorado, 2003. *Morb Mortal Wkly Rep* 2003;52(48):1173-6.

- 17 **Centers for Disease Control and Prevention (CDC):** Septic Arthritis Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Tendon Allografts - Florida and Louisiana, 2000. *Morb Mortal Wkly Rep* 2001;50(48):1081-3.
- 18 **Chang SK, Egami DK, Shaieb MD, Kan DM, Richardson AB:** Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Allograft Versus Autograft. *Arthroscopy* 2003;19(5):453-62.
- 19 **Chouliaras V, Ristanis S, Moraiti C, Stergiou N, Georgoulis AD:** Effectiveness of Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament With Quadrupled Hamstrings and Bone-Patellar Tendon-Bone Autografts: An In Vivo Study Comparing Tibial Internal-External Rotation. *Am J Sports Med* 2007;35(2):189-96.
- 20 **Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ:** Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7(3):138-145.
- 21 **Cole DW, Ginn TA, Chen GJ, Smith BP, Curl WW, Martin DF, Poehling GG:** Cost Comparison of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Autograft versus Allograft. *Arthroscopy* 2005;21(7):786-90.
- 22 **Corry IS, Webb JM, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA:** Arthroscopic Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: A Comparison of Patellar Tendon Autograft and Four-Strand Hamstring Tendon Autograft. *Am J Sport Med* 1999;27(3):444-54.
- 23 **Crawford MJ, Swenson CL, Arnoczky SP, O`Shea J, Ross H:** Lyophilization Does Not Inactivate Infectious Retrovirus in Systemically Infected Bone and Tendon Allografts. *Am J Sports Med* 2004;32(3):580-6.
- 24 **Dandy DJ:** Arthroscopic surgery of the knee. Churchill Livingstone, Edingburgh, London, New York, 1981, S. 67-8
- 25 **Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR:** Fate of the ACL-injured patient: A prospective outcome study. *Am J Sports Med* 1994;22(5):632-44.
- 26 **Daniel DM:** Reference, Maintenance & User`s Guide for the Knee Ligament Arthrometer®. MEDmetric® Corporation, 1993, San Diego
- 27 **Daniel DM, Stone ML, Riehl B, Moore RM:** A measurement of lower limb function: The one leg hop for distance. *Am J Knee Surg* 1988;1(4):212-4.
- 28 **Debrunner HU:** Orthopädisches Diagnostikum. 7. Aufl. Thieme, Stuttgart, 2004, S. 52-4
- 29 **Denti M, Lo Vetere D, Bait C, Schönhuber H, Melegati G, Volpi P:** Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 2008;36(10):1896-1902.
- 30 **Dick WF:** Evidence based emergency medicine. *Anaesthetist* 1998;47(12):957-67.
- 31 **Edgar CM, Zimmer S, Kakar S, Jones H, Schepsis AA:** Prospective Comparison of Auto and Allograft Hamstring Tendon Constructs for ACL Reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466:2238-46.
- 32 **Ejerhed L, Kartus J, Sernert N, Köhler K, Karlsson J:** Patellar Tendon or Semitendinosus Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction?: A Prospective Randomized Study with a Two-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 2003;31(1):19-25.
- 33 **Eriksson E:** Reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am* 1976;7(1):167-79.

- 
- 34 **Fahey M**, Indelicato PA: Bone Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. *Am J Sports Med* 1994;22(3):410-4.
- 35 **Feagin JA Jr**, Curl WW: Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *Am J Sports Med* 1976;4(3):95-100.
- 36 **Feller JA**, Webster KE, Gavin B: Early post-operative morbidity following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9(5):260-6.
- 37 **Fideler BM**, Vangsness CT Jr, Lu B, Orlando C, Moore T: Gamma irradiation: effects on biomechanical properties of human bone-patellar tendon-bone allografts. *Am J Sports Med* 1995;23(5):643-7.
- 38 **Fideler BM**, Vangsness CT, Moore T, Li Z, Rasheed S: Effects of gamma irradiation on the human immunodeficiency virus. A study in frozen human bone-patellar ligament-bone grafts obtained from infected cadavera. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76(7):1032-5.
- 39 **Fink C**, Zapp M, Benedetto KP, Hackl W, Hoser C, Rieger M: Tibial Tunnel Enlargement Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Patellar Tendon Autograft. *Arthroscopy* 2001;17(2):138-43.
- 40 **Fink C**, Hoser C, Benedetto KP: Development of arthrosis after rupture of the anterior cruciate ligament: A comparison of surgical and conservative therapy. *Unfallchirurg* 1994;97(7):357-61.
- 41 **Fox JA**, Pierce M, Bojchuk J, Hayden J, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr: Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Nonirradiated Fresh-Frozen Patellar Tendon Allograft. *Arthroscopy* 2004;20(8):787-94.
- 42 **Freyschmidt J**, Stäbler A, Vogl TJ, Euler E, Schmidt T, Balzer JO, Galanski M, Bankier A, Nicolas V: Handbuch diagnostische Radiologie: Muskuloskelettales System 1. Springer, Berlin, 2004, S. 347
- 43 **Friederich NF**, O'Brien WR: Gonarthrosis after injury of the anterior cruciate ligament: a multicenter, long-term study. *Z Unfallchir Versicherungsmed* 1993;86(2):81-9.
- 44 **Galway RD**, Beaupré A, MacIntosh DL: Pivot shift: a clinical sign of symptomatic anterior cruciate insufficiency. *J Bone Joint Surg Br.* 1972;54(4):763-4.
- 45 **Gerber BE**, Maenza F: Shift and Tilt of the bony patella in total knee replacement. *Orthopäde* 1998;27(9):629-36.
- 46 **Giannini S**, Buda R, Di Caprio F, Agati P, Bigi A, De Pasquale V, Ruggeri A: Effects of freezing on the biomechanical and structural properties of human posterior tibial tendons. *Int Orthop* 2008;32(2):145-51.
- 47 **Gillquist J**, Messner K: Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. *Sports Med* 1999;27(3):143-5.
- 48 **Gorschewsky O**, Klakow A, Pütz A, Mahn H, Neumann W: Clinical comparison of the Autologous Quadriceps Tendon (BQT) and the Autologous Patella Tendon (BPTB) for the reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15(11):1284-92.
- 49 **Gorschewsky O**, Klakow A, Riechert K, Pitzl M, Becker R: Clinical Comparison of the Tutoplast Allograft and Autologous Patellar Tendon (Bone-Patellar Tendon-Bone) for the Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: 2- and 6-Year Results. *Am J Sports Med* 2005;33(8):1202-9.

- 50 **Gorschewsky** O, Browa A, Vogel U, Stauffer E: Klinisch-histologischer Vergleich des allogenen und autologen Patellarsehndrittels (Bone-Tendon-Bone) zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands. *Unfallchirurg* 2002;105(8):703-14.
- 51 **Graham** SM, Parker RD: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Hamstring Tendon Grafts. *Clin Orthop* 2002;402:64-75.
- 52 **Grossman** MG, ElAttrache NS, Shields CL, Glousman RE: Revision anterior cruciate ligament reconstruction: three- to nine-year follow-up. *Arthroscopy* 2005;21(4):418-23.
- 53 **Guelich** DR, Lowe WR, Wilson B: The Routine Culture of Allograft Tissue in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 2007;35(9):1495-9.
- 54 **Hallfeldt** K KJ, Stützele H, Puhlmann M, Kessler S, Schweiberer L: Sterilization of Partially Demineralized Bone Matrix: The Effects of Different Sterilization Techniques on Osteogenetic Properties. *J Surg Res* 1995;59(5):614-20.
- 55 **Han** HS, Seong SC, Lee S, Lee MC: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Quadriceps Versus Patellar Autograft. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466(1):198-204.
- 56 **Harner** CD, Olson E, Irrgang JJ, Silverstein S, Fu FH, Silbey M: Allograft Versus Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction 3- to 5-Year Outcome. *Clin Orthop Relat Res* 1996;324:134-44.
- 57 **Harner** CD, Irrgang JJ, Paul J, Dearwater S, Fu FH: Loss of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1992;20(5):499-506.
- 58 **Harris** NL, Indelicato PA, Bloomberg MS, Meister K, Wheeler DL: Radiographic and Histologic Analysis of the Tibial Tunnel after Allograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Goats. *Am J Sports Med* 2002;30(3):368-73.
- 59 **Hart** AJ, Buscombe J, Malone A, Dowd GS: Assessment of osteoarthritis after reconstruction of the anterior cruciate ligament: a study using single-photon emission computed tomography at ten years. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(11):1483-7.
- 60 **Hefti** F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU: Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1(3):226-34.
- 61 **Hertel** P, Behrend H, Cierpinski T, Musahl V, Widjaja G: ACL reconstruction using bone-patellar tendon-bone press-fit fixation: 10-year clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005;13(4):248-55.
- 62 **Hiemstra** LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ: Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(8):1472-9.
- 63 **Higgins** LD, Taylor MK, Park D, Ghodadra N, Marchant M, Pietrobon R, Cook C: Reliability and validity of the International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Form. *Joint Bone Spine* 2007;74(6):549-99.
- 64 **Hogervorst** T, van der Hart CP, Rijcken THP, Taconis WK: Abnormal bone scans of the tibial tunnel 2 years after patella ligament anterior cruciate ligament reconstruction: correlation with tunnel enlargement and tibial graft length. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8(6):322-8.
- 65 **Höher** J, Möller HD, Fu FH: Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998;6(4):231-40.

- 66 **Insall** JN, Salvati E: Patella position in the normal knee joint. *Radiology* 1971;101(1):101-4.
- 67 **International Atomic Energy Agency**: Radiation Sterilization of Tissue Allografts: Requirements for Validation and Routine Control A Code of Practice International Atomic Energy Agency. IAEA, Vienna, 2007
- 68 **Irrgang** JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, Richmond JC, Shelborne KD: Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med* 2001;29(5):600-13.
- 69 **Irrgang** JJ, Ho H, Harner CD, Fu FH: Use of the International Knee Documentation Committee guidelines to assess outcome following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998;6(2):107-14.
- 70 **Irrgang** JJ, Harner CD: Loss of motion following knee ligament reconstruction. *Sports Med* 1995;19(2):150-9.
- 71 **Ito** MM, Tanaka S: Evaluation of tibial bone-tunnel changes with X-ray and computed tomography after ACL reconstruction using a bone-patella tendon-bone autograft. *Int Orthop* 2006;30(2):99-103.
- 72 **Jackson** DW, Grood ES, Goldstein JD, Rosen MA, Kurzweil PR, Cummings JF, Simon TM: A comparison of patellar tendon autograft and allograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in the goat model. *Am J Sports Med* 1993;21(2):176-85.
- 73 **Jackson** DW, Grood ES, Cohn BT, Arnoczky SP, Simon TM, Cummings JF: The effects of in situ freezing on the anterior cruciate ligament: An experimental study in goats. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(2):201-21.
- 74 **Jackson** DW, Windler GE, Simon TM: Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried, ethylene oxide-sterilized bone-patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 1990;18(1):1-11.
- 75 **Jäger** A, Welsch F, Braune C, Eberhardt C, Kappler C: 10-Jahres Kreuzbandergebnisse nach arthroskopisch versorgter Kreuzbandrekonstruktion mit dem Patellarsehnentransplantat. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2003;141(1):42-7.
- 76 **Jäger** M, Wirth CJ: Praxis der Orthopädie. Thieme, Stuttgart, New York, 2. Aufl. 1992, S. 952
- 77 **Jäger** M, Wirth CJ: Praxis der Orthopädie. Thieme, Stuttgart, New York, 2. Aufl. 1992, S. 264
- 78 **Jagodzinski** M, Foerstemann T, Mall G, Krettek C, Bosch U, Paessler HH: Analysis of forces of ACL reconstructions at the tunnel entrance: is tunnel enlargement a biomechanical problem? *J Biomech* 2005;38(1):23-31.
- 79 **Jakob** RP, Stäubli HU, Deland JT: Grading the pivot shift: Objective tests with implications for treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 1987;69(2):294-9.
- 80 **Järvelä** T, Kannus P, Järvinen M: Anterior knee pain 7 years after an anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-patellar tendon-bone autograft. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10(4):221-7.
- 81 **Jensen** MP, Karoly P, O'Riordan EF, Bland F Jr, Burns RS: The subjective experience of acute pain: An assessment of the utility of 10 indices. *Clin J Pain* 1989;5(2):153-9.
- 82 **Jiranek** WA, Machado M, Jasty M, Jeusevar D, Wolfe HH, Goldring SR, Goldberg MJ, Harris WH: Production of cytokines around loosened cemented acetabular components. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(6):863-79.



- 83 **Jo H**, Jun DS, Lee DY, Lee SH, Seong SC, Lee MC: Tibial tunnel area changes following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstructions with autogenous patellar tendon graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004;12(4):311-6.
- 84 **Johnson DL**, Swenson TM, Irrgang JJ †, Fu FH †, Harner CD †: Revision Anterior Cruciate Ligament Surgery: Experience From Pittsburgh. *Clin Orthop Relat Res* 1996;325:100-9.
- 85 **Johnson RJ**, Beynon BD, Nichols CE, Renstrom PA: The treatment of injuries of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74(1):140-51.
- 86 **Johnson RJ**: The anterior cruciate: A dilemma in sports medicine. *Int J Sports Med* 1982;3(2):71-9.
- 87 **Jomha NM**, Pinczewski LA, Clingeleffer A, Otto DD: Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament with patellar-tendon autograft and interference screw fixation: The Results At Seven Years. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(5):775-9.
- 88 **Karrer S**, Ascher G, Landthaler M, Szeimies RM: Mysterious disappearance of an allogenic anterior cruciate ligament graft - a case of allergy against altered collagen. *Allergy* 2006;61(9):1148-9.
- 89 **Kartus JT**, Russell VJ, Salmon LJ, Magnusson LC, Brandsson S, Pehrsson NG, Pinczewski LA: Concomitant partial meniscectomy worsens outcome after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 2002;73(2):179-85.
- 90 **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.
- 91 **Kartus J**, Magnusson L, Stener S, Brandsson S, Eriksson BI, Karlsson J: Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: A 2-5-year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7(1):2-8.
- 92 **Kartus J**, Stener S, Lindahl S, Eriksson BI, Karlsson J: Ipsi- or Contralateral Patellar Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Revision Surgery: A Comparison of Two Methods. *Am J Sports Med* 1998;26(4):499-504.
- 93 **Katthagen B-D**, Scheffler S, Becker R, Willkomm D, Mayr HO, Pruß A: Gewinnung, Prozessierung und Transplantation allogener muskuloskelettaler Gewebe. *Transfus Med Hemother* 2008;35(6):438-45.
- 94 **Katz LM**, Battaglia TC, Patino P, Reichmann W, Hunter DJ, Richmond JC: A retrospective comparison of the incidence of bacterial infection following anterior cruciate ligament reconstruction with autograft versus allograft. *Arthroscopy* 2008;24(12):1330-5.
- 95 **Kellgren JH**, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 1957;16(4):494-502.
- 96 **Kim SJ**, Kim TE, Lee DH, Oh KS: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Patients Who Have Excessive Joint Laxity. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(4):735-41.
- 97 **Kleipool AE**, Zijl JA, Willems WJ: Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone allograft or autograft: A prospective study with an average follow up of 4 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998;6(4):224-30.
- 98 **Kleipool AE**, van Loon T, Marti RK: Pain after use of the central third of the patellar tendon for cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 1994;65(1):62-6.
- 99 **Knaepler H**, Haas H, Püschel HU: Biomechanische Eigenschaften thermisch und radioaktiv behandelter Spongiosa. *Unfallchirurgie* 1991;17(4):194-9.

- 100 **Kocher** MS, Steadman JR, Briggs K, Zurakowski D, Sterett WI, Hawkins RJ: Determinants of Patient Satisfaction with Outcome After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(9):1560-72.
- 101 **Kohn** D: Das Knie. Thieme, Stuttgart, 2000, S. 37-38
- 102 **Kohn** D: Das Knie. Thieme, Stuttgart, 2000, S. 151
- 103 **Kummer** B, Yamamoto M: Funktionelle Anatomie der Kreuzbänder. *Arthroskopie* 1988;1:2-10.
- 104 **Kustos** T, Bálint L, Than P, Bárdos T: Comparative study of autograft or allograft in primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop* 2004;28(5):290-3.
- 105 **Labs** K, Hasart O, Perka C: Ergebnisse von Revisionsoperationen nach VKB-Ersatzplastik. *Zentralbl Chir* 2002;127(10):861-7.
- 106 **Laurin** CA, Lévesque HP, Dussault R, Labelle H, Peides JP: The abnormal lateral patellofemoral angle: a diagnostic roentgenographic sign of recurrent patellar subluxation. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(1):55-60.
- 107 **Laxdal** G, Sernert N, Ejerhed L, Karlsson J, Kartus JT: A prospective comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction in male patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15(2):115-25.
- 108 **Laxdal** G, Kartus J, Ejerhed L, Sernert N, Magnusson L, Faxén E, Karlsson J: Outcome and Risk Factors After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Follow-up Study of 948 Patients. *Arthroscopy* 2005;21(8):958-64.
- 109 **Lebel** B, Hulet C, Galaud B, Burdin G, Locker B, Vielpeau C: Arthroscopic Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament Using Bone-Patellar Tendon-Bone. A Minimum 10-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 2008;36(7):1275-82.
- 110 **Lidén** M, Sernert N, Rostgård-Christensen L, Kartus C, Ejerhed L: Osteoarthritic changes after anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone or hamstring tendon autografts: a retrospective, 7-year radiographic and clinical follow-up study. *Arthroscopy* 2008;24(8):899-908.
- 111 **Lidén** M, Ejerhed L, Sernert N, Laxdal G, Kartus J: Patellar Tendon or Semitendinosus Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized Study With a 7-Year Follow-up. *Am J Sports Med* 2007;35(5):740-8.
- 112 **Lin** CFJ, Wu JJ, Chen TS, Huang TF: Comparison of the Insall-Salvati ratio of the patella in patients with and without an ACL tear. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005;13(1):8-11.
- 113 **Lobenhoffer** P: Kniebandverletzungen: I. Anatomie, Biomechanik, Diagnostik, Indikationsstellung. *Chirurg* 1999;70(2):219-30.
- 114 **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.
- 115 **Mae** T, Shino K, Maeda A, Toritsuka Y, Horibe S, Ochi T: Effect of gamma irradiation on remodeling process of tendon allograft. *Clin Orthop Relat Res* 2003;414:305-14.
- 116 **Malinin** TI, Levitt RL, Bashore C, Temple T, Mnaymneh W: A study of retrieved allografts used to replace anterior cruciate ligaments. *Arthroscopy* 2002;18(2):163-70.

- 117 **Markolf** KL, Mensch JS, Amstutz HC: Stiffness and laxity of the knee - the contribution of the supporting structure. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(5):583-93.
- 118 **Mastrokalos** DS, Springer J, Siebold R, Paessler HH: Donor Site Morbidity and Return to the Preinjury Activity Level After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Ipsilateral and Contralateral Patellar Tendon Autograft: A Retrospective, Nonrandomized Study. *Am J Sports Med* 2005;33(1):85-93.
- 119 **Metak** G, Reeg S, Ascherl R, Gradinger R, Blümel G: Nicht erreichte Sterilisationstemperatur in großen Knochentransplantaten - eine Warnung bei der Verwendung autoklavierter Knochen. Zentraleuropäischer Unfallkongreß Budapest, 1994
- 120 **Miyasaka** KC, Daniel D, Stone ML, Hirshman P: The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg* 1991;4:3-9.
- 121 **Mohtadi** NG, Webster-Bogaert S, Fowler PJ: Limitation of motion following anterior cruciate ligament reconstruction: A case-controlled study. *Am J Sports Med* 1991;19(6):620-4.
- 122 **Nin** JRV, Leyes M, Schweitzer D: Anterior cruciate ligament reconstruction with fresh-frozen patellar tendon allografts: sixty cases with 2 years` minimum follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4(3):137-42.
- 123 **Noyes** FR, Barber-Westin SD: Revision Anterior Cruciate Ligament Surgery: Experience From Cincinnati. *Clin Orthop Relat Res* 1996;325:116-29.
- 124 **Noyes** FR, Barber-Westin SD: Reconstruction of the anterior cruciate ligament with human allograft: Comparison of early and later results. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(4):524-37.
- 125 **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.
- 126 **Ochi** M, Adachi N, Deie M, Kanaya A: Anterior cruciate ligament augmentation procedure with a 1-incision technique: anteromedial bundle or posterolateral bundle reconstruction. *Arthroscopy* 2006;22(4):463.e1-5.
- 127 **O'Neill** DB †: Arthroscopically Assisted Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: A Prospective Randomized Analysis of Three Techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(6):803-13.
- 128 **Oversight of Tissue Banking:** Department of Health and Human Services, Office of the Inspector General, Report No. OEI-01-00-00441, Rockville, January 2001 (<http://www.hhs.gov/oig/oei>; Download am 13. März 2009 9:48)
- 129 **Papageorgiou** CD, Kostopoulos VK, Moebius UG, Petropoulou KA, Georgoulis AD, Soucacos PN: Patellar fractures associated with medial-third bone-patellar tendon-bone autograft ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9(3):151-4.
- 130 **Petersen** W, Tillmann B: Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 2002;31(8):710-8.
- 131 **Peterson** RK, Shelton WR, Bomboy AL: Allograft Versus Autograft Patellar Tendon Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 5-Year Follow-up. *Arthroscopy* 2001;17(1):9-13.
- 132 **Peyrache** MD, Djian P, Christel P, Witvoet J: Tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction by autogenous bone-patellar tendon-bone graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4(1):2-8.

- 133 **Pinczewski** LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J: A 10-Year Comparison of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions With Hamstring Tendon and Patellar Tendon Autograft: A Controlled, Prospective Trial. *Am J Sports Med* 2007;35(4):564-74.
- 134 **Poehling** GG, Curl WW, Lee CA, Ginn TA, Rushing JT, Naughton MJ, Holden MB, Martin DF, Smith BP: Analysis of outcomes of anterior cruciate ligament repair with 5-Year follow-up: allograft versus autograft. *Arthroscopy* 2005;21(7):774-85.
- 135 **Prodromos** C, Joyce B, Shi K: A meta-analysis of stability of autografts compared to allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15(7):851-6.
- 136 **Prokoppis** PM, Schepisis AA: Allograft use in ACL reconstruction. *Knee* 1999;6:75-85.
- 137 **Pruss** A, Seibold M, Benedix F, Frommelt L, von Garrel T, Gürtler L, Dörffel Y, Pauli G, Göbel UB: Validation of the 'Marburg bone bank system' for thermodesinfection of allogenic femoral head transplants using selected bacteria, fungi, and spores. *Biologicals* 2003;31(4):287-94.
- 138 **Pruss** A, Kao M, von Garrel T, Frommelt L, Gürtler L, Benedix F, Pauli G: Virus inactivation in bone tissue transplants (femoral heads) by moist heat with the 'Marburg bone bank system'. *Biologicals* 2003;31(1):75-82.
- 139 **Pruss** A, Kao M, Gohs U, Koscielny J, von Versen R, Pauli G: Effect of Gamma Irradiation on Human Cortical Bone Transplants Contaminated with Enveloped and Non-enveloped Viruses. *Biologicals* 2002;30(2):125-33.
- 140 **Pruss** A, Baumann B, Seibold M, Kao M, Tintelnot K, von Versen R, Radtke H, Dörner T, Pauli G, Göbel UB: Validation of the Sterilization Procedure of Allogeneic Avital Bone Transplants Using Peracetic Acid-Ethanol. *Biologicals* 2001;29(2):59-66.
- 141 **Pruss** A, Kao M, Kiesewetter H, von Versen R, Pauli G: Virus Safety of Avital Bone Tissue Transplants: Evaluation of Sterilization Steps of Spongiosa Cuboids Using a Peracetic Acid-Ethanol Mixture. *Biologicals* 1999;27(3):195-201.
- 142 **Rappé** M, Horodyski M, Meister K, Indelicato PA: Nonirradiated Versus Irradiated Achilles Allograft. *Am J Sports Med* 2007;35(10):1653-8.
- 143 **Rasmussen** TJ, Feder SM, Butler DL, Noyes FR: The effects of 4 Mrad of gamma irradiation on the initial mechanical properties of bone-patellar tendon-bone grafts. *Arthroscopy* 1994;10(2):188-97.
- 144 **Rihn** JA, Irrgang JJ, Chhabra A, Fu FH, Harner CD: Does irradiation affect the clinical outcome of patellar tendon allograft ACL reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14(9):885-96.
- 145 **Risberg** MA, Holm I, Steen H, Beynnon BD: Sensitivity to changes over time for the IKDC form, the Lysholm score, and the Cincinnati knee score: A prospective study of 120 ACL reconstructed patients with a 2-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7(3):152-9.
- 146 **Roberts** TS, Drez D, McCarthy W, Paine R: Anterior cruciate ligament reconstruction using freeze-dried ethylene oxide-sterilized bone-patellar tendon-bone allografts. *Am J Sports Med* 1991;19(1):35-41.
- 147 **Rougraff** B, Shelbourne KD, Greth PK, Warner J: Arthroscopic and histologic analysis of human patellar tendon autografts used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1993;21(2):277-84.
- 148 **Rudolph** KS, Axe MJ, Buchanan TS, Scholz JP, Snyder-Mackler L: Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9(2):62-71.

- 149 **Sachs** RA, Daniel DM, Stone ML, Garfein RF: Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1989;17(6):760-5.
- 150 **Saddemi** SR, Frogameni AD, Fenton PJ, Hartman JA, Hartman W: Comparison of Perioperative Morbidity of Anterior Cruciate Ligament Autografts versus Allografts. *Arthroscopy* 1993;9(5):519-24.
- 151 **Sanders** B, Rolf R, McClelland W, Xerogeanes J: Prevalence of saphenous nerve injury after autogenous hamstring harvest: an anatomic and clinical study of sartorial branch injury. *Arthroscopy* 2007;23(9):956-63.
- 152 **Scheffler** SU, Schmidt T, Gangéy I, Dustmann M, Unterhauser F, Weiler A: Fresh-frozen free-tendon allografts versus autografts in anterior cruciate ligament reconstruction: delayed remodeling and inferior mechanical function during long-term healing in sheep. *Arthroscopy* 2008;24(4):448-58.
- 153 **Scheffler** SU, Gonnermann J, Kamp J, Przybilla D, Pruss A: Remodeling of ACL Allografts is Inhibited by Peracetic Acid Sterilization. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466:1810-8.
- 154 **Schimizzi** A, Wedemeyer M, Odell T, Thomas W, Mahar AT, Pedowitz R: Effects of a Novel Sterilization Process on Soft Tissue Mechanical Properties for Anterior Cruciate Ligament Allografts. *Am J Sports Med* 2007;10(10):1-5.
- 155 **Segawa** H, Omori G, Tomita S, Koga Y: Bone Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9(4):206-10.
- 156 **Seitz** H, Schlenz I, Müller E, Vécsei V: Anterior instability of the knee despite an intensive rehabilitation program. *Clin Orthop Relat Res* 1996;328:159-64.
- 157 **Seitz** H, Chrysopoulos A, Egkher E, Mousavi M: Long-term results of replacement of the anterior cruciate ligament in comparison with conservative therapy. *Chirurg* 1994;65(11):992-8.
- 158 **Shaieb** MD †, Kan DM, Chang SK, Marumoto JM, Richardson AB: A Prospective Randomized Comparison of Patellar Tendon Versus Semitendinosus and Gracilis Tendon Autografts for Anterior Cruciate Reconstruction. *Am J Sports Med* 2002;30(2):214-20.
- 159 **Shelton** WR, Papendick L, Dukes AD: Autograft Versus Allograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy* 1997;13(4):446-9.
- 160 **Siebold** R, Buelow JU, Bös L, Ellermann A: Primary ACL reconstruction with fresh-frozen patellar versus Achilles tendon allografts. *Arch Orthop Trauma Surg* 2003;123(4):180-5.
- 161 **Siebold** R, Buelow JU, Boes L, Ellermann A: Allogene Transplantate zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes bei Primär- und Revisionseingriffen. *Zentralbl Chir* 2002;127(10):850-4.
- 162 **Simonian** PT, Monson JT, Larson RV: Biodegradable interference screw augmentation reduces tunnel expansion after ACL reconstruction. *Am J Knee Surg* 2001;14(2):104-8.
- 163 **Stapleton** TR: Complications in anterior cruciate ligament reconstructions with patellar tendon grafts. *Sports Med Arthrosc Rev* 1997;5:156-162.
- 164 **Stein** DA, Hunt SA, Rosen JE, Sherman OH: The Incidence and Outcome of Patella Fractures After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthroscopy* 2002;18(6):578-83.
- 165 **Stringham** DR, Pelmas CJ, Burks RT, Newman AP, Marcus RL: Comparison of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions Using Patellar Tendon Autograft or Allograft. *Arthroscopy* 1996;12(4):414-21.

- 166 **Sun K**, Tian S, Zhang J, Xia C, Zhang C, Yu T: Anterior cruciate ligament reconstruction with BPTB autograft, irradiated versus non-irradiated allograft: a prospective randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;(Epub ahead of print).
- 167 **Svensson M**, Sernert N, Ejerhed L, Karlsson J, Kartus JT: A prospective comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction in female patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14(3):278-86.
- 168 **Tegner Y**, Lysholm J: Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 1985;198:43-9.
- 169 **Tifford CD**, Spero L, Luke T, Plancher KD: The relationship of the infrapatellar branches of the saphenous nerve to arthroscopy portals and incisions for anterior cruciate ligament surgery - an anatomic study. *Am J Sports Med* 2000;28(4):562-7.
- 170 **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.
- 171 **Tria AJ**, Alicea JA, Cody RP: Patella Baja in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction of the Knee. *Clin Orthop Relat Res* 1994;299:229-34.
- 172 **van der Hart CP**, van den Bekerom MPJ, Patt TW: The occurrence of osteoarthritis at a minimum of ten years after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Orthop Surg Res* 2008;3:24.
- 173 **Vangsnæs CT Jr.**, Garcia IA, Mills CR, Kainer MA, Roberts MR, TM Moore: Allograft Transplantation in the Knee: Tissue Regulation, Procurement, Processing, and Sterilization. *Am J Sports Med* 2003;31(3):474-81.
- 174 **Ververidis A**, Verettas D, Kazakos K, Xarchas K, Drosos G, Psillakis I: Anterior cruciate ligament reconstruction: outcome using a patellar tendon bone (PTB) autograft (one bone block technique). *Arch Orthop Trauma Surg* 2009;129:323-31.
- 175 **Victor J**, Bellemans J, Witvrouw E, Govaers K, Fabry G: Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction - prospective analysis of patellar tendon autografts compared with allografts. *Int Orthop* 1997;21(2):93-7.
- 176 **Viola R**, Vianello R: Three cases of patella fracture in 1,320 anterior cruciate ligament reconstructions with bone-patellar tendon-bone autograft. *Arthroscopy* 1999;15(1):93-7.
- 177 **Vorlat P**, Verdonk R, Arnauw G: Long term results of tendon allografts for anterior cruciate ligament replacement in revision surgery and in cases of combined complex injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999;7(5):318-22.
- 178 **Wang CJ**, Huang TW, Jih S: Radiographic Assessment of the Knee after Patellar Tendon Reconstruction for Chronic Anterior Cruciate Ligament Deficiency. *Chang Gung Med J* 2004;27(2):85-9.
- 179 **Weiler A**, Schmeling A, Stöhr I, Käab MJ, Wagner M: Primary Versus Single-Stage Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Autologous Hamstring Tendon Grafts. A Prospective Matched-Group Analysis. *Am J Sports Med* 2007;35(10):1643-52.
- 180 **Werlich T**, Brand H, Echtermeyer V, Pöhlmann J: Knie Arthrometer KT 1000: Stellenwert der instrumentellen Messung bei der Diagnose einer komplexen vorderen Knieinstabilität. *Aktuel Traumatol* 1993;23(1):43-9.

- 181 **Wilcke** A: Vordere Kreuzbandläsion: Anatomie, Pathophysiologie, Diagnose, Therapie, Trainingslehre, Rehabilitation. Steinkopff, Darmstadt, 2004, S. 95-7
- 182 **Wilson** TW, Zafuta MP, Zobitz M: A biomechanical analysis of matched bone-patellar tendon-bone and double-looped semitendinosus and gracilis tendon grafts. *Am J Sports Med* 1999;27(2):202-7.
- 183 **Woo** SLY, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S: Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex: The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med* 1991;19(3):217-25.
- 184 **Wright** RW: Knee injury outcomes measures. *J Am Acad Orthop Surg* 2009;17(1):31-9.
- 185 **Wroble** RR, van Ginkel LA, Grood ES, Noyes FR, Shaffer BL: Repeatability of the KT-1000 arthrometer in a normal population. *Am J Sports Med* 1993;18(4):396-9.
- 186 **Zantop** T, Petersen W: Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 2007;20(2):94-104.
- 187 **Zantop** T, Musahl V, Fu FH: Anatomische Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 2005;18(2):138-45.
- 188 **Zijl** JAC, Kleipool AEB, Willems WJ: Comparison of Tibial Tunnel Enlargement After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Patellar Tendon Autograft or Allograft. *Am J Sports Med* 2000;28(4):547-51.

## 8 Thesen

1. Vordere Kreuzbandrupturen treten häufig bei Kontaktsportarten und im alpinen Skisport auf.
2. Die Rekonstruktion der vorderen Kreuzbandruptur dient der Wiederherstellung der Stabilität und der Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes.
3. Durch Weiterentwicklungen des operativen Zugangs von der Arthrotomie über die Miniarthrotomie zur Arthroskopie ergaben sich für den Patienten bessere kosmetische und funktionelle Resultate.
4. Als Goldstandard der autogenen Bandersatzplastiken gelten das Hamstringsehnen-transplantat und an zweiter Stelle das Bone-Patella-Tendon-Bone Transplantat. Als Fremdtransplantat wird das Bone-Patella-Tendon-Bone Transplantat favorisiert.
5. Eigentransplantate verursachen Entnahmemorbidität.
6. Fremdtransplantate können erhöhte Bandlaxität, Graft-versus-Host Reaktionen und Krankheitsübertragungen verursachen.
7. Das Allograft ist in der Revisionschirurgie bei verbrauchten Ressourcen und bei komplexen Knieinstabilitäten das Mittel der Wahl. Es bietet eine kürzere Operationsdauer, schnellere und bessere kosmetische Resultate. Die Gefahr der Transmission von pathogenen Erregern kann durch heutige Reinigungsverfahren minimiert werden.
8. Die aktuelle forensische Situation ermöglicht in der Europäischen Union die Allograft-Verwendung in der Gelenkchirurgie derzeit nur bei fehlenden autogenen Alternativen.
9. In der aktuellen klinischen Studie zum Vergleich von autogenen und allogenen Patellar-sehnentransplantaten konnte über einen Zeitraum von 5,7 Jahren die Gleichwertigkeit belegt werden.
10. Ein Risiko der allogenen Transplantate, Bohrkanalerweiterungen signifikant häufiger zu verursachen, war zur ersten Nachuntersuchung nachweisbar.
11. Schmerzen beim Bergabgehen wurden signifikant häufiger zum zweiten Follow-up von den Allograftpatienten bestätigt.
12. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Eigen- und Fremdtransplantat-gruppe bezüglich der Stabilität.



13. Eigen- und Fremdtransplantate benötigen eine unterschiedliche Inkorporationsdauer um zu "ligamentisieren". Dies kann man am Zugewinn der manuell erfassten Stabilität ermitteln.
14. Bohrkanalerweiterungen sklerosieren nach einiger Zeit; unabhängig, ob die Revision mit autogenen oder allogenen zentralen Patellarsehndritteln erfolgte.
15. Auf Grund der ermittelten Ergebnisse ist das allogene mittlere Patellarsehndrittelttransplantat eine adäquate Alternative zum autogenen.
16. Die Transplantatwahl soll die operativen Fixierungsmöglichkeiten sowie den Beruf des Patienten berücksichtigen.
17. Eine erfolgreiche Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes beziehungsweise Revision mit Transplantaten wird durch die korrekte Transplantatgröße, anatomische Fixierung und frühzeitige Mobilisation bestimmt.

## Tabellarischer Lebenslauf

### PERSÖNLICHE ANGABEN

---

Name: Dörthe Willkomm  
Geburtsdatum: 4. November 1983  
Geburtsort: Karl-Marx-Stadt  
Nationalität: deutsch  
Familienstand: ledig

### STUDIUM

---

seit April 2009 Promotionsstudentin, Martin-Luther-Universität Halle/ Saale  
Dezember 2008 - März 2009 Immatrikulierte Studentin der Humanmedizin,  
Martin-Luther- Universität Halle/ Saale  
Oktober 2002 - Studium der Humanmedizin, Martin-Luther-Universität  
Dezember 2008 Halle/ Saale mit Erteilung der Approbation

### PRAKTISCHES JAHR

---

März 2008 - Juni 2008 Universitätsklinik für Anästhesiologie und Operative  
Intensivmedizin, Universitätsklinikum Halle, Halle/ Saale  
Dezember 2007 - März 2008 Gastroenterologie, Evangelisches Krankenhaus Paul Gerhardt  
Stift, Wittenberg  
August - Dezember 2007 Universitätsklinik für Plastische und Handchirurgie, Inselspital,  
Bern, Schweiz

### FAMULATUREN

---

September 2006 Traditional Chinese Medicine, Taipei Veterans General Hospital,  
Taipeh, Taiwan  
Februar - März 2006 Maveus Praxisklinik für Hand-, Fuss- und Gefäßchirurgie,  
Chemnitz  
August - September 2005 Geriatrie, Diakoniekrankenhaus, Halle/ Saale

### SCHULISCHE AUSBILDUNG

---

1994 - 2002 Gymnasium Oelsnitz, Oelsnitz/ Erzgebirge mit Abschluss der  
Allgemeinen Hochschulreife

## Publikationen von Ergebnissen dieser Arbeit

- Buchbeitrag:
  - Mayr HO, Willkomm D: Spendertransplantate zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes in Petersen W/ Zantop T: Das vordere Kreuzband: Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie. Deutscher Ärzte-Verlag, 2009 (in Druck)
  
- Originalarbeiten:
  - Katthagen B-D, Scheffler S, Becker R, Willkomm D, Mayr HO, Pruß A: Gewinnung, Prozessierung und Transplantation allogener muskuloskelettaler Gewebe. *Transfus Med Hemother* 2008;35(6):438-445.
  
  - Mayr HO, Becker R, Willkomm D, Pinz EM, Petersen W, Schäffler S, Bernstein A, Pruß A: Resultate der AGA-Instruktorenfrage 2006 zur Verwendung von Allografts in der intraartikulären Chirurgie. *Arthroskopie* 2007;3:246-7.

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die vorliegende Arbeit wurde weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Halle/ Saale, den 18. Mai 2009

Dörthe Willkomm