

Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
der Technischen Universität München
Klinikum rechts der Isar
(Vorstand: Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff)

Klinische und radiologische mittel- bis langfristige Ergebnisse nach posteriorem Kondylentransfer (PCT) und MegaOATS

Philipp Minzlaff

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier
Prüfer der Dissertation:
1. Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff
2. Priv.-Doz. Dr. A. Chr. Burkart

Die Dissertation wurde am 11.05.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 27.06.2007 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

I	Zielsetzung	6
II	Einleitung	7
II.1	Thematik	7
II.2	Allgemeine Grundlagen	9
II.2.1	Anatomie und Physiologie des Kniegelenkes.....	9
II.2.1.1	Mediales und laterales Femorotibialgelenk.....	10
II.2.1.2	Femoropatellargelenk.....	15
II.2.2	Biomechanik des Kniegelenkes.....	15
II.2.3	Aufbau und Funktion des Gelenkknorpels.....	16
II.2.4	Pathophysiologie von Gelenkknorpelschäden und Arthroseentstehung.....	19
II.2.5	Diagnostik und Klassifikation von Gelenkknorpelschäden.....	20
II.3	Behandlungsmöglichkeiten von Gelenkknorpelschäden	22
II.3.1	Konservative Therapie.....	22
II.3.2	Operative Therapie.....	22
II.3.2.1	Symptomatische Operationsverfahren.....	23
II.3.2.2	Verfahren zur Faserknorpelinduktion.....	24
II.3.2.3	Transplantation von Geweben mit potentieller chondrogener Differenzierung.....	25
II.3.2.4	Autologe Chondrozytentransplantation.....	25
II.3.2.5	Autologe Transplantation osteochondraler Zylinder.....	27
III	Material und Methode	30
III.1	Operationsverfahren	30
III.1.1	Indikationsstellung.....	30
III.1.2	Operationstechnik.....	31
III.1.2.1	MegaOATS.....	31
III.1.2.2	Posteriorer Kondylentransfer (PCT).....	35
III.2	Patienten	37
III.2.1	Festlegung des Studienkollektivs.....	37
III.2.2	Wiederfindungsrate.....	37
III.2.3	Beschreibung der Studienteilnehmer.....	38
III.3	Nachuntersuchung	44
III.3.1	Anamnese.....	44
III.3.2	Klinische Scores.....	44
III.3.2.1	Lysholm Score.....	44

III.3.2.2 IKDC Formblätter.....	45
III.3.3 Spezielle klinische Untersuchung.....	47
III.4 Bildgebende Verfahren.....	49
III.4.1 Röntgenuntersuchung	49
III.4.2 MRT-Untersuchung	50
III.5 Statistische Auswertung	51
IV Ergebnisse	52
IV.1 Ergebnisse nach Kondylentransfer.....	52
IV.1.1 Anamnese.....	52
IV.1.1.1 Postoperative Komplikationen.....	52
IV.1.1.2 Arztkonsultationen.....	52
IV.1.1.3 Folgeoperationen	53
IV.1.1.4 Schmerzen	54
IV.1.1.5 Sportfähigkeit.....	54
IV.1.1.6 Subjektive Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis.....	56
IV.1.2 Scores.....	56
IV.1.2.1 Lysholm Score	56
IV.1.2.2 Subjektiver IKDC Beurteilungsbogen	63
IV.1.2.3 IKDC Untersuchung	65
IV.1.2.4 Spezielle klinische Untersuchung.....	66
IV.1.3 Bildgebende Verfahren	70
IV.1.3.1 Röntgenuntersuchung.....	70
IV.1.3.2 MRT-Untersuchung.....	77
IV.2 Vergleich beider Operationstechniken.....	83
IV.2.1 Praeoperative Ausgangssituation	83
IV.2.2 Klinische Scores	84
IV.2.3 Bildgebende Verfahren	85
IV.2.3.1 Röntgenauswertung.....	85
IV.2.3.2 MRT-Auswertung	86
V Diskussion	87
VI Zusammenfassung.....	96
VII Literaturverzeichnis	98
VIII Abkürzungsverzeichnis	116
IX Anhang.....	117
X Danksagung.....	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation von Gelenkknorpelschäden nach Outerbridge ¹¹²	21
Tabelle 2: Klassifikation von osteochondralen Läsionen nach Imhoff und König ⁶⁵	21
Tabelle 3: PCT Patienten	42
Tabelle 4: MegaOATS Patienten.....	43
Tabelle 5: Lysholm Score praeoperativ und aktuell.....	62
Tabelle 6: Lysholm Score im Verlauf.....	63
Tabelle 7: Lysholm Score mit/ohne praeoperativer Arthrose	76
Tabelle 8: aktueller Lysholm Score mit/ohne Arthroseprogression	77
Tabelle 9: Kernspinstichprobe und Patienten ohne MRT	78
Tabelle 10: Lysholm Score der PCT Gruppe und der MegaOATS Gruppe.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk von vorne eröffnet; aus ¹¹⁶	9
Abbildung 2: Femur, distales Ende; aus ¹²³	10
Abbildung 3: Schemazeichnung Kniegelenk; aus ¹⁴³	10
Abbildung 4: Meniskus querschnitten; aus ¹⁴³	12
Abbildung 5: Hinteres Kreuzband; aus ¹³⁹	13
Abbildung 6: Trochlea femoris (Facies patellaris); aus ¹⁴³	15
Abbildung 7: Proteoglykanaggregat; aus ¹⁰⁸	17
Abbildung 8: Struktureller und zonaler Aufbau des Gelenkknorpels; aus ¹¹⁷	18
Abbildung 9: Röntgen: Osteochondrosis dissecans	30
Abbildung 10: markierter Osteochondrosis dissecans Herd (intraoperativ).....	31
Abbildung 11: Defektanbohrung.....	32
Abbildung 12: Fräse	32
Abbildung 13: Präpariertes Transplantatbett.....	33
Abbildung 14: Tiefenmessgerät.....	33
Abbildung 15: Entnahme des posterioren Femurkondylus.....	33
Abbildung 16: Workstation	34
Abbildung 17: Workstation mit Führungstunnel und Hohlbohrer	34
Abbildung 18: Transplantiertes MegaOATS Zylinder.....	35
Abbildung 19: Patientenkollektiv im festgelegten Beobachtungszeitraum.....	37
Abbildung 20: Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation	38
Abbildung 21: Lokalisation der osteochondralen Läsion	39
Abbildung 22: Ursache der osteochondralen Läsion.....	40
Abbildung 23: Patienten mit Knieoperationen vor dem Kondylentransfer	40

Abbildung 24: Art der Voroperationen vor dem Kondylentransfer	41
Abbildung 25: wichtige Kerndaten der Studienteilnehmer	42
Abbildung 26: Kategorien des Lysholm Scores	45
Abbildung 27: Aktivitätsgrad	55
Abbildung 28: aktuelle Schmerzregelmäßigkeit	58
Abbildung 29: Einzelergebnisse des Lysholm Scores bei der Nachuntersuchung	60
Abbildung 30: praeoperativer Lysholm Score	60
Abbildung 31: aktueller Lysholm Score	61
Abbildung 32: Lysholm Score praeoperativ und aktuell	62
Abbildung 33: Lysholm Score im Verlauf	63
Abbildung 34: Aktueller subjektiver IKDC Score	64
Abbildung 35: Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenks im Alltag	64
Abbildung 36: aktuelle IKDC Grade	65
Abbildung 37: IKDC praeoperativ und aktuell	66
Abbildung 38: Streckdefizit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung	68
Abbildung 39: Beugedefizit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung	69
Abbildung 40: Röntgen: scharfe Abschlagkante zwei Monate postoperativ	71
Abbildung 41: Röntgen: Defektauffüllung 82 Monate postoperativ	71
Abbildung 42: Röntgen: Abrundung der Abschlagkante 49 Monate postoperativ	72
Abbildung 43: praeoperativer Arthrosegrad	72
Abbildung 44: praeoperativer Arthrosegrad und Alter	73
Abbildung 45: Arthrosegrad praeoperativ und aktuell	73
Abbildung 46: Patienten mit Arthroseprogredienz	74
Abbildung 47: Röntgen (anterior posteriorer Strahlengang): Arthroseprogredienz	75
Abbildung 48: Röntgen (Patella Zielaufnahme): Arthroseprogredienz	75
Abbildung 49: Lysholm Score mit/ohne praeoperativer Arthrose	76
Abbildung 50: aktueller Lysholm Score mit/ohne Arthroseprogression	77
Abbildung 51: Kernspinstichprobe und Patienten ohne MRT	78
Abbildung 52: MRT: vitaler, kongruenter Zylinder 59 Monate postoperativ	79
Abbildung 53: MRT: subchondrale Zysten 59 Monate postoperativ	79
Abbildung 54: MRT: leichte Meniskusdegenerationen 72 Monate postoperativ	80
Abbildung 55: MRT: komplexe Innenmeniskusruptur 67 Monate postoperativ	81
Abbildung 56: MRT: osteochondraler Defekt drei Monate praeoperativ	82
Abbildung 57: MRT und Röntgen: Auffüllung des Spenderbereichs 77 Monate postoperativ	82
Abbildung 58: PCT versus MegaOATS Patienten praeoperativ	83
Abbildung 59: Lysholm Score: PCT Gruppe versus MegaOATS Gruppe	84

I Zielsetzung

Der posteriore Kondylentransfer sowie seine Weiterentwicklung, das MegaOATS Verfahren, stellen aufwendige Salvage-Operationen zur Behandlung großflächiger Knorpeldefekte im Kniegelenk dar. Durch das von Imhoff 1990 erstmals durchgeführte und 1996 in München standardisiert eingeführte Operationsverfahren kann ein frühzeitiger Kniegelenksersatz vor allem bei jüngeren Patienten verhindert oder zumindest um Jahre hinausgezögert werden. Das Ziel der Operation ist es, den Patienten wieder eine angemessene Mobilität im Alltag zu ermöglichen.

Zur Behandlung osteochondraler Defekte stehen verschiedene operative Verfahren zur Verfügung, wobei derzeit nur durch den Transfer von autologen Knorpel-Knochen-Zylindern hyaliner Gelenkknorpel in die Defektzone gebracht werden kann. Die Spenderzylinder werden dabei aus weniger belasteten Arealen des Kniegelenks entnommen und in den Defekt eingebracht. Sind die Defekte allerdings zu groß um sie in herkömmlicher OATS Technik zu decken, so kann mittels des in dieser Arbeit vorgestellten Operationsverfahrens eine Defektsanierung erzielt werden. Zu diesem Zweck erfolgt der Transfer des posterioren Femurkondylus in die femorale Belastungszone.

1999 konnten Imhoff et al.⁶⁴ erste klinische Erfahrungen mit dem Posterioren Kondylentransfer publizieren, weitere Ergebnisse zu MegaOATS sind in Veröffentlichungen von 2002^{1,24} dokumentiert. Das Hauptaugenmerk dieser Untersuchungen lag auf der Erläuterung der Operationstechnik und der Publikation klinischer Ergebnisse von Patienten mit einem kurzen Followup.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, erstmals klinische und radiologische Mittel- bis Langzeitergebnisse des Kondylentransfers zu erfassen und zu diskutieren. Dazu werden alle Patienten die bis einschließlich Dezember 2000 in München operiert wurden in die Studie aufgenommen. Es erfolgt eine standardisierte Nachuntersuchung unter Verwendung etablierter Scores sowie die Evaluation aktueller Röntgenaufnahmen und MRTs.

II Einleitung

II.1 Thematik

Die Behandlung von Schädigungen des Gelenkknorpels ist seit langem Gegenstand experimenteller Untersuchungen und klinischer Beobachtungen. Bereits vor über 260 Jahren beschrieb Hunter ⁶¹ detailliert die mangelnde Regenerationsfähigkeit des Knorpels, die schon seit Hippocrates (460-375 v. Chr.) bekannt ist.

Knorpelgewebe ist weder innerviert noch vaskularisiert, zudem ist es alymphatisch. Diese Tatsache und die geringe mitotische Aktivität der immobilisierten hochdifferenzierten Chondrozyten unterscheiden die Reaktion von Knorpelgewebe auf Schädigung grundsätzlich von anderen Geweben. So zeigen Knorpelläsionen von über 3 mm keine Heilungstendenz ³⁴. Es entwickelt sich im weiteren Verlauf eine Arthrose ^{66,125}.

Bei schweren degenerativen Knorpelerkrankungen älterer Patienten ist heute die endoprothetische Versorgung großer Gelenke ein anerkanntes Mittel der Wahl. Dabei sollten jedoch stets alle konservativen und operativen Behandlungsmöglichkeiten ausgeschöpft worden sein und vor allem das Alter und der Aktivitätsgrad des Patienten in Überlegungen zur Indikationsstellung mit einbezogen werden. Gerade bei jungen und aktiven Patienten haben Kniegelenksprothesen keine gute Prognose hinsichtlich der Lockerungshäufigkeit ⁷⁹. Sie sollten deshalb so lange wie möglich hinausgezögert werden. Die untere Altersgrenze zur Implantation wird von einigen Autoren mit 55 Jahren angegeben ¹³⁰. Zwar nimmt die Knochenqualität mit dem Alter ab, das geringere Aktivitätslevel verringert jedoch Kleinstbewegungen der Prothese im Knochen und damit die Rate an Lockerungen. Das Alter ist ein signifikanter Prädiktor für die Überlebensrate der Prothese ¹³². Bei jungen Patienten müssten im Laufe der Zeit multiple Revisionsoperationen durchgeführt werden ³⁵, wobei die Anzahl der Wechseloperationen limitiert ist.

Die Klinik des Knorpelschadens besteht vor allem in Schmerzen, anfangs belastungsabhängig und im fortgeschrittenen Stadium auch in Ruhe. Des Weiteren können Schwellungen, Gelenkergüsse, Überwärmung, Krepitationen und Blockaden mit Bewegungseinschränkung nicht selten zu einschneidenden Veränderungen im Alltag führen. Die Unfähigkeit Sport auszuüben oder eine berufliche Umorientierung können die Folge sein. Damit bestehen an die Therapie großer osteochondraler Defekte im gewichtstragenden Bereich des Kniegelenks umfassende Anforderungen. Einerseits sollen die Symptome gelindert werden und andererseits eine rasche Entwicklung der Arthrose verhindert werden.

Die ideale Knorpeltherapie ist äußerst komplex. Das Ersatzgewebe sollte hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften wie Belastbarkeit, Reibung und Haltbarkeit dem gesunden hyalinen Gelenkknorpel möglichst gleichen und außerdem die Kongruenz der Gelenkpartner wiederherstellen. Bei osteochondralen Läsionen muss darüber hinaus der defekte subchondrale Knochen ersetzt werden ¹⁸. Zusätzliche Begleitpathologien wie Meniskus- oder Kreuzbandrisse bzw. Achsfehlstellungen müssen ebenfalls stets in ein Behandlungskonzept miteinbezogen werden ³².

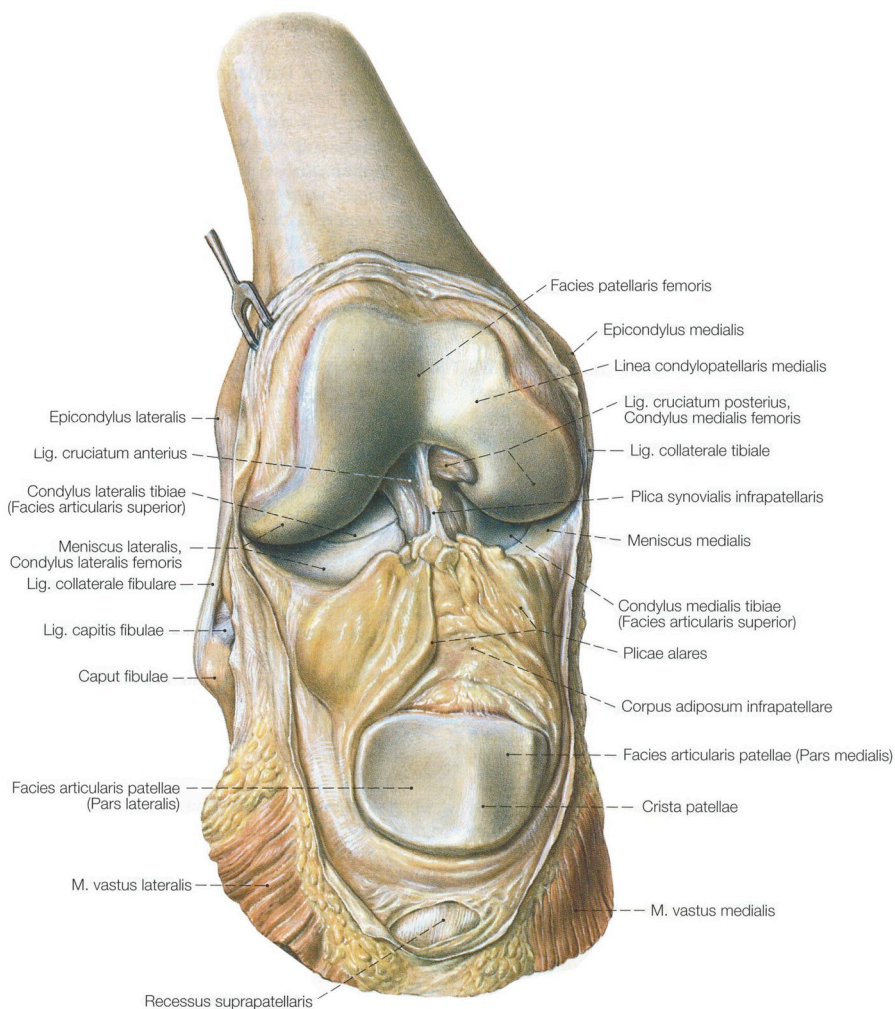
II.2 Allgemeine Grundlagen

II.2.1 Anatomie und Physiologie des Kniegelenkes

Das Kniegelenk (Abb. 1) ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers und wird als Roll-Gleit-Gelenk bezeichnet, wobei für diese Erkenntnis das Werk „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“ der Brüder Weber von 1836 von wesentlicher Bedeutung war. So beschrieben sie, dass der Oberschenkel bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der tibia zugleich rollt und schleift und dass das Kniegelenk kein reines Scharniergelenk ist, da es keine feststehende Achse hat ¹⁴⁹.

Funktionell wird das Gelenk in drei Einzelgelenke untergliedert, die alle in einer gemeinsamen Gelenkkapsel eingeschlossen sind. Es können das mediale und laterale Femorotibialgelenk sowie das Femoropatellargelenk unterschieden werden ^{95,102}.

Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk von vorne eröffnet; Vorderwand der Gelenkkapsel und Patella nach unten geklappt; aus ¹¹⁶

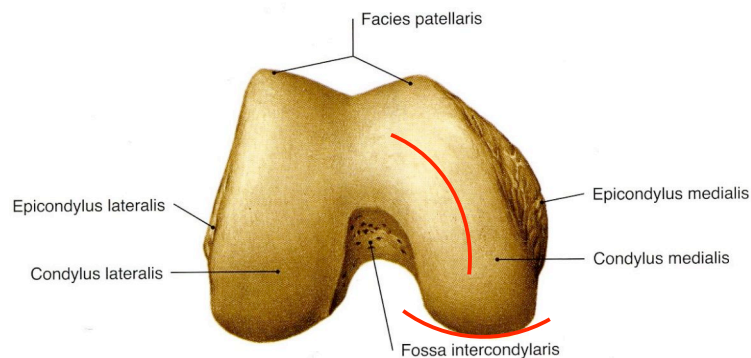


II.2.1.1 Mediales und laterales Femorotibialgelenk

Artikulierende Gelenkflächen

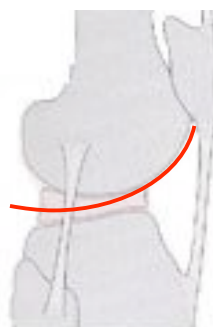
Als Gelenkflächen des Femorotibialgelenks dienen proximal die beiden walzenförmigen Femurkondylen sowie distal die zwei ovalen Kondylen der Tibia (Schienbeinpfannen). Die Gelenkflächen der Oberschenkelrollen artikulieren dabei direkt oder über die Menisken mit den beiden Gelenkflächen des Tibiaplateaus. Die Form der beiden Femurkondylen ist verschieden (Abb. 2). Der laterale Kondylus ist vorne breiter als hinten, der mediale dagegen ventral und dorsal annähernd gleich breit. Des Weiteren besitzt der Condylus medialis eine Rotationskrümmung um eine vertikale Achse.

Abbildung 2: Femur, distales Ende, von distal; aus ¹²³



In der Sagittalebene zeigt sich im Bereich der Belastungszone der lateralen Femurkondyle ein nahezu planer Bereich, der nach vorne und hinten in einen konvexen Bogen übergeht. Der mediale Kondylus ist durchwegs konvex gekrümmt ¹⁴³. Der hintere Krümmungsradius beider Femurkondylen ist kleiner als der vordere (Abb. 3). Das heißt, dass die Kondylen posterior stärker gekrümmt sind als anterior ³⁶. Die korrespondierenden Gelenkflächen des Schienbeins sind medial und lateral ebenfalls unterschiedlich. Der sagittale Durchmesser der äußeren Gelenkfacette ist kleiner als der auf der inneren Seite und die Oberfläche ist nahezu plan - im Gegensatz zur leicht konkaven Facies articularis superior des Condylus medialis tibiae ¹⁴⁴.

Abbildung 3: Schemazeichnung des rechten Kniegelenks; aus ¹⁴⁴



Bewegungsmöglichkeiten

In diesen beiden Teilgelenken, die auch als Kondylengelenk (*Articulatio bicondylaris*) zusammengefasst werden können, sind Bewegungen um alle drei Achsen möglich. Die größte Beweglichkeit wird auf Grund der anatomischen Gegebenheiten in der Sagittalebene erreicht. So kann bei gebeugtem Hüftgelenk und damit vorgedehnter ischiokruraler Muskulatur aus der Neutral-Null-Stellung bis ca. 140° aktiv gebeugt werden. Passiv beträgt die Flexion wenige Grade mehr, außerdem ist das Knie oftmals 5-10° überstreckbar. Für die Streckung ist der *M. quadriceps femoris* zuständig und der *M. tensor fasciae latae* fixiert das Knie in Streckstellung. Beugend wirken der *M. biceps femoris*, *M. semitendinosus*, *M. semimembranosus*, *M. sartorius*, *M. gracilis* und *M. gastrocnemius*. Ist das Knie flektiert, so sind die Seitenbänder entspannt. Dadurch ist eine Rotationsbewegung möglich, nach außen um etwa 30° und nach innen nur um ca. 10°, da sich bei dieser Bewegung die beiden Kreuzbänder umeinander wickeln. Ab- und Adduktion sind auf Grund der straffen Kollateralbänder nur um wenige Grade und nur passiv möglich³⁶.

Menisci

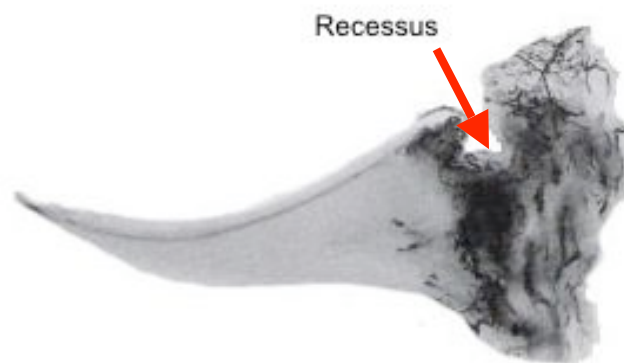
Zwischen Femurkondylen und Tibiaplateau liegt medial und lateral je ein Meniskus. Als inkomplette Zwischenscheiben (*disci*) gleichen sie die Inkongruenzen der femorotibialen Gelenkflächen aus. In der Aufsicht sind sie C-förmig, der mediale Meniskus ist dabei eher halbmondförmig und der laterale mehr kreisförmig. Ihr Querschnitt ist keilförmig, wobei der Rücken des Keils (*Meniskusbasis*) außen liegt. Die untere zur Tibia gelegene Fläche ist plan, die Oberfläche dagegen so geformt, dass die konvexen Oberschenkelrollen kongruent sind³⁶. Die ventralen und dorsalen Pole der Menisci werden als Vorder- und Hinterhörner bezeichnet und sind beidseits im knorpelfreien Bereich zwischen den beiden tibialen Gelenkflächen, der *Area intercondylaris*, über kurze Bänder fixiert. Die Vorderhörner von medialem und lateralem Meniskus können durch ein variabel vorkommendes Band, das *Lig. transversum genus*, miteinander verbunden sein. Der mediale Meniskus, bei dem Vorder- und Hinterhorn weiter entfernt voneinander liegen als beim lateralen, überdeckt ungefähr die Hälfte der medialseitigen Tibiakondyle¹⁴⁴. Er ist mit der Gelenkkapsel verwachsen und durch feste Verbindungen mit den posterioren tiefen Anteilen des *Lig. collaterale tibiale* sowie durch einen ligamentären Kontakt zur Tibiavorderseite (*Lig. meniscotibiale*) in seiner Verschieblichkeit gegenüber dem Außenmeniskus gehemmt. Dieser ist nicht mit dem von der Gelenkkapsel abgesetzten Außenband verwachsen und damit, trotz in unterschiedlicher Stärke vorkommender Verbindungen zum vorderen und hinteren Kreuzband (*Ligg. meniscofemoralia anterius et posterius*), verschieblicher als der Innenmeniskus³⁶.

Medialer und lateraler Meniskus können über patellomeniskale Bänder mit der Kniescheibe verbunden sein.

Der gesunde Meniskus des Erwachsenen besteht zu 72% aus Wasser, zu 22% aus Kollagen (vorwiegend Typ I) und zu knapp 1% aus Glykosaminoglykanen (v.a. Chondroitinsulfat) ⁵⁸. Die kollagenen Fasern sind vorwiegend circumferent angeordnet und durch radiäre Fasern verbunden ³⁰, wodurch sie dem Meniskus seine mechanische Festigkeit verleihen. Die Blutversorgung des adulten Meniskus erfolgt durch einen perimeniskalen Kapillarplexus ⁸, wobei das äußere Drittel (Basis) gut und der innere Bereich gar nicht durchblutet sind. Zwischen beiden Bereichen finden sich vereinzelt Blutgefäße, wie in Abbildung 4 zu sehen. Demnach kann eine rote, eine rot-weiße und eine weiße Zone unterschieden werden.

Die arterielle Gefäßversorgung wurde in Abbildung 4 nach Injektion mit Tusche-Gelatine dargestellt. Der Pfeil markiert einen physiologischen Recessus zwischen Gelenkkapsel und Meniskusbasis.

Abbildung 4: hinterer Bereich eines medialen Meniskus querschnitt; aus ¹⁴⁴



Kreuzbänder

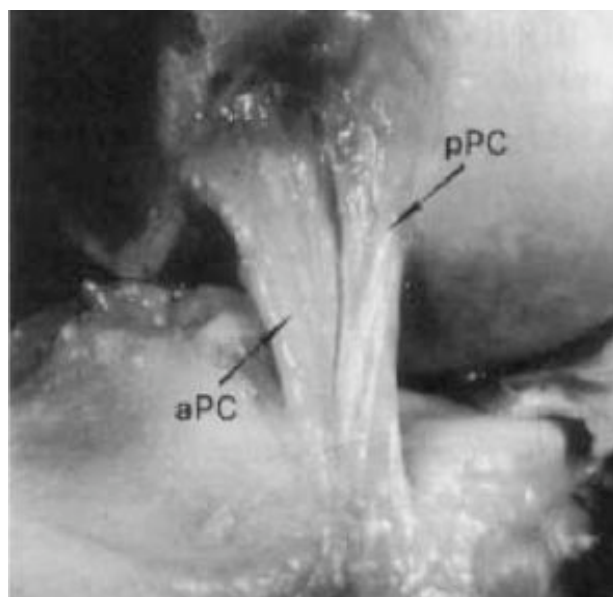
Vorderes und hinteres Kreuzband stellen einen Bandapparat dar, der von dorsal in die fossa intercondylaris eingetreten und nur ventral von Synovialmembran überzogen ist ³⁶. Demzufolge liegen die beiden Kreuzbänder zwar außerhalb der Gelenkhöhle, stellen aber dennoch die zentralen Stützen des Kniegelenks dar ¹⁴⁴ und sind als passive Führungselemente wichtig für den Ablauf der physiologischen Roll-Gleit-Bewegung ¹⁵¹. Das Lig. cruciatum anterius verläuft von der Innenfläche (hinterer Anteil) des lateralen Femurkondylus zur area intercondylaris anterior tibiae, das Lig. cruciatum posterius von der lateralen Fläche (vorderer Anteil) des medialen Femurkondylus zur area intercondylaris posterior des Schienbeinplateaus ³⁶.

Das vordere Kreuzband kann funktionell in zwei Teile untergliedert werden, so dass ein kleineres anteriomediales und ein größeres posterolaterales Bündel unterschieden werden ⁴⁵. Ist das Kniegelenk voll durchgestreckt, so sind beide Faserbündel gleichmäßig gespannt. Wird das Knie gebeugt, so nimmt ab ca. 30°

Flexion die Spannung beider, vor allem aber des posterolateralen Bündels ab. Mit zunehmender Beugung werden dann beide Bündel wieder angespannt, das anteriomediale bereits ab 30°, das posterolaterale dagegen erst ab ca. 90°⁶.

Das hintere Kreuzband ist das stärkste Band des Kniegelenks¹⁴⁴. Analog zum vorderen Kreuzband können auch hier zwei funktionelle Hauptbündel unterschieden werden (Abb. 5), ein anteriolaterales (Hauptanteil des hinteren Kreuzbandes) und ein posteromediales¹²⁴. Das erst Genannte spannt sich hauptsächlich in Flexion an, das Posteromediale dagegen vor allem in Extension¹⁴⁴.

Abbildung 5: Hinteres Kreuzband; aPC = anteriolaterales Bündel, pPC = posteromediales Bündel; aus¹³⁹



Beide Kreuzbänder stabilisieren das Kniegelenk hauptsächlich in der Sagittal-, sekundär aber auch in der Frontalebene¹⁴⁴, des Weiteren wird die Innenrotation durch beide Bänder limitiert, da sie sich hierbei umeinander wickeln. Reißt ein Kreuzband, so wird die fehlende Stabilisation besonders deutlich. Bei Ruptur des vorderen Kreuzbandes kann die tibia vermehrt nach vorne gezogen (vordere Schublade) und bei gerissenem hinterem Kreuzband nach hinten geschoben werden (hintere Schublade)³⁶.

Häufig treten Kombinationsverletzungen von vorderem oder hinterem Kreuzband sowie von medialem oder lateralem Kollateralligament (siehe Kapselbandapparat) und zusätzlich von Innen- bzw. Außenmeniskus auf. Diese Kombinationsverletzungen führen zur Rotationsinstabilität. Je nach beteiligten Strukturen kann eine AMRI (anteromediale Rotationsinstabilität), eine ALRI (anterolaterale Rotationsinstabilität) und eine PLRI (posterolaterale Rotationsinstabilität) unterschieden werden⁶⁰.

Kapselbandapparat

Die pars fibrosa der Gelenkkapsel spannt sich zwischen Tibia- und Femurkondylen aus. Die Kniescheibe und die Quadricepsstrecksehne sind in den ventralen Anteil des Kapselbandapparates eingewoben, die Basis des medialen Meniskus ist fest mit der Gelenkkapsel verwachsen. Die Synovialmembran zieht vorne von der Knorpelknochengrenze des Tibiaplateaus zum Unterrand der Menisken und weiter von deren Oberrand zur Knorpelknochengrenze der Femurkondylen und zum Oberrand der facies patellaris femoris. Im hinteren Bereich überzieht die membrana synovialis die Vorderseite der Kreuzbänder, des Weiteren geht sie kontinuierlich in die mit der Gelenkhöhle in Verbindung stehenden Bursen über. Als kommunizierende Schleimbeutel sind der Recessus subpopliteus und der Recessus suprapatellaris zu nennen. Oftmals steht ebenfalls die Bursa subtendinea M. gastrocnemii medialis mit dem Kniegelenk in Verbindung, selten dagegen die Bursa subtendinea M. gastrocnemii lateralis sowie die Bursa infrapatellaris. Der fibröse Teil der Kapsel wird durch Bänder und Sehnen verstärkt ¹⁴⁴:

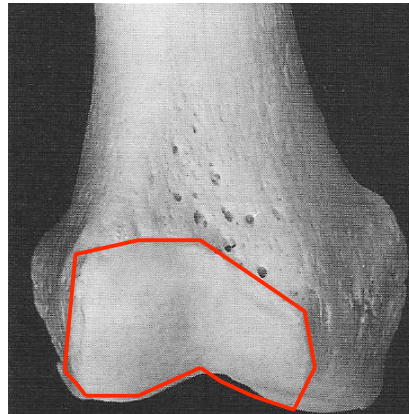
- Vorne: Lig. patellae und Retinacula patellae longitudinalia mediale et laterale sowie meniskopatelläre Bänder; variabel: Retinacula patellae transversalia mediale et laterale
- Seitlich: Kollateralbänder
- Hinten: Ursprungssehnen der zwei Gastroknemiusköpfe, Lig. popliteum obliquum, Lig. popliteum arcuatum und M. popliteus; variabel: Fabella mit Lig. fabellofibulare

Der kollaterale Bandapparat mit dem Lig. collaterale tibiale (Innenband) und dem Lig. collaterale fibulare (Außenband) stabilisieren das Kniegelenk primär in der Frontalebene. Beide Bänder sind in Extensionsstellung angespannt und in Flexionsstellung entspannt (Ausnahme: tiefer Teil des medialen Seitenbandes). Somit sind Rotationsbewegungen im Kniegelenk nur im gebeugten Zustand möglich ³⁶. Das Innenband zieht vom medialen Femurepikondylus breitflächig nach schräg vorne zur Facies medialis tibiae. Der hintere tiefe Anteil des Lig. collaterale tibiale ist mit dem Meniskus verwachsen (Lig. meniscofemorale und Lig. meniscotibiale = Lig. coronarium), der vordere Anteil hat dagegen keine feste Verbindung mit der Gelenkkapsel. Das Außenband zieht als wesentlich dünnerer Strang vom Epicondylus lateralis ossis femoris nach distal hinten zum Caput fibulae, wird von der Ursprungssehne des M. popliteus unterkreuzt und hat in der Regel keine Verbindung zur Kniegelenkscapsel ¹⁴⁴.

II.2.1.2 Femoropatellargelenk

Als Gelenkflächen dieses Gelenkes dienen die Facies articularis patellae sowie die Trochlea femoris (Abb. 6), die medial und lateral jeweils durch eine Kondylenwanne begrenzt wird. Lateral reicht die Facies patellaris in der Regel etwas weiter nach proximal als medial.

Abbildung 6: rechtes distales Femurende; die Umrahmung markiert die Trochlea femoris (Facies patellaris); aus ¹⁴⁴



Die Kniescheibe gleitet als Sesambein im patellären Gleitlager des Femurs und vergrößert so den Hebelarm des Quadricepsmuskels, in dessen Sehne sie eingelagert ist. Ihre maximale Kontaktfläche mit der Trochlea wird bei 90° Flexionsstellung erreicht und beträgt dann ca. 3,5 cm² ³⁶.

II.2.2 Biomechanik des Kniegelenkes

Galileo Galilei (1564-1642) gilt zum heutigen Zeitpunkt als erster „Biomechaniker“ ⁹. Sein Schüler Borelli (1608-1679) führte im Rahmen seiner 1679 veröffentlichten Arbeit „De motu animalium“ erstmals eine Ganganalyse durch. 1836 legten die Brüder Wilhelm und Eduard Weber in ihrer Arbeit „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“ ¹⁴⁹ die ersten detaillierten anatomischen Betrachtungen und Darstellungen über das Bewegungsverhalten des menschlichen Kniegelenkes dar.

Die Arbeit der beiden Wissenschaftler hat die heutige Vorstellung von der polyzentrischen Kinematik (Bewegungsgeometrie) des Kniegelenkes begründet. 1853 verfasste der Anatom Hermann v. Meyer aus Zürich seine Betrachtungen über die Mechanik des menschlichen Kniegelenkes und gliederte das Gelenk erstmals in drei funktionelle Einzelgelenke ⁹⁵. Langer legte sich 1858 und Albert 1878 auf einen möglichen dreidimensionalen Verlauf der Drehachsen des Kniegelenkes fest ^{3,80}. Menschik schrieb in seiner Arbeit „Mechanik des Kniegelenkes“, dass das Kniegelenk nach „genialen mathematischen und geometrischen Gesetzmäßigkeiten“

konstruiert ist und dass die von den Brüdern Weber postulierte Rollgleitbewegung nach zwingenden kinematischen Gesetzmäßigkeiten abläuft⁹².

Nach heutigen Vorstellungen verändert sich das Verhältnis der Rollgleitbewegung von 1 : 2 (Rollen : Gleiten) zu Beginn der Beugung bis auf ein Verhältnis von 1 : 4 bei maximaler Kniegelenksbeugung. Bis ca. 10 - 15° rollt der mediale Kondylus und bis ca. 20° der laterale Femurkondylus nach dorsal ab. Ab dann setzt ein wachsendes Gleitmoment ein, das dem Rollen zunehmend überwiegt. Gegen Ende der Flexion bis zum Erreichen der vollen Beugung findet ausschließlich eine Gleitbewegung nach anterior statt, da ein weiteres Zurückrollen durch das angespannte vordere Kreuzband verhindert wird^{29,36,72}. Würde das Femur auf dem Tibiaplateau ausschließlich rollen, so würde es nach posterior luxieren, da die Zirkumferenz des Kondylus doppelt so lang ist wie die tibiale Gelenkfläche. Die sog. Schlussrotation ist automatisch an Beuge- und Streckbewegung gekoppelt. So wird die Tibia in der letzten Phase der Extension etwas nach außen gedreht und bei Beginn der Beugung entsprechend nach innen⁷².

Die Kinematik des Kniegelenks wird durch eine von den beiden Kreuzbändern gebildete Viergelenkskette beschrieben. Die Kreuzbänder sind an Femur und Tibia beweglich aufgehängt und steuern durch ihre Position und ihre vorgegebene Länge die Bewegungsmöglichkeiten von Femur und Tibia⁹². Durch das Prinzip der überschlagenen Viergelenkskette wird das Verschmelzen von Rollen und Gleiten zum sog. Rollgleiten möglich⁴⁷. Die Bewegung im Kniegelenk ist also entscheidend an die Form der Gelenkpartner sowie die Integrität der Kreuzbänder gebunden.

Den Kreuzbändern soll neben der Steuerung der Kinematik eine Aufgabe als eine Art Sinnesorgan zukommen. In ihnen sind viele Mechanorezeptoren zu finden. Die Kreuzbänder sind demnach in einen Steuerungskreis integriert, der die Position der Resultierenden so steuert, dass Grenzwerte der Gelenks- und Gewebelastung nicht überschritten werden¹²².

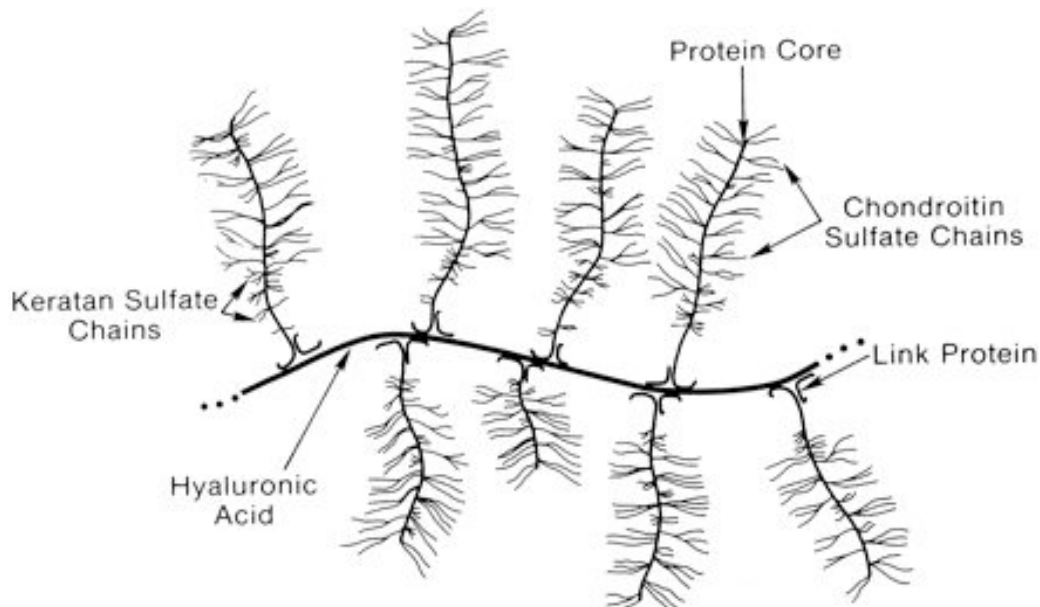
II.2.3 Aufbau und Funktion des Gelenkknorpels

Der hyaline Gelenkknorpel wird während der Embryonalentwicklung durch mesenchymale Vorläuferzellen (Precursorzellen) direkt an der späteren Knorpel-Knochengrenze angelegt. Adhärent wachsende und proliferierende Chondrozyten von fibroblastischer Morphologie bilden eine extrazelluläre Matrix. Später nehmen die adhärennten Chondrozyten ihre typische sphärische Morphologie an und es bilden sich Zellnester (Cluster) mit umgebenden Kollagenfasern. Durch zunehmende Matrixsynthese ergeben sich schließlich endgültige Form und Lage der Zellen im Kollagennetzwerk sowie Aufbau und Struktur des Gelenkknorpels³⁹.

Der hyaline Knorpel des Erwachsenen ist weder innerviert noch vaskularisiert, außerdem ist er alymphatisch. Seine Nährstoffversorgung erfolgt durch Diffusion aus

den Kapillarnetzen des subchondralen Knochens bzw. der Synovialflüssigkeit. Lokale Druckschwankungen bei Belastung bewirken dabei eine gewisse Durchwalkung und fördern die Diffusion³⁷. Der Gelenkknorpel besteht aus extrazellulärer Matrix und Chondrozyten. Jene sind hochdifferenziert und machen als einzig vorkommender Zelltyp nur ca. 1% des Gewebsvolumens aus. Die extrazelluläre Matrix setzt sich zu 60 - 80% aus Wasser und zu 20 - 40% aus festen Bestandteilen zusammen. Letztere können in Kollagen (ca. 60%), Proteoglykane (ca. 25 - 35%) und nichtkollagene Proteine (ca. 15 - 20%) unterteilt werden. Es kommen Typ II, V, VI, IX, X, XI, XII und XIV Kollagen vor, es überwiegt jedoch mit 90 - 95% Typ II^{4,28}. Die Kollagene organisieren sich zu Fibrillen und bilden so das „Endoskelett“ des Knorpels. Hauptbestandteile dieser Fibrillen sind Kollagen Typ II und Typ IX. Typ IX Fasern sind dabei einerseits kovalent an die Oberfläche der Typ II Fasern gebunden und andererseits mit anderen Typ IX Molekülen vernetzt¹²¹. Dadurch ergibt sich ein kollagenes Netzwerk, das durch Typ XI Kollagene im Inneren stabilisiert wird²⁸. Das bedeutendste und größte chondrale Strukturmolekül aus der Gruppe der Proteoglykane ist das Aggrecan¹¹⁰, das fest in das Kollagenfasernetz eingebunden ist. Über ein zentrales „core Protein“ sind über 100 Chondroitin- und Keratansulfatketten verbunden und über „link Proteine“ bindet dieser Komplex an Hyaluronsäure. Dadurch entstehen große anionische Aggregate (Abb. 7) mit enormer Wasserbindungskapazität, die dem Knorpel seine pralle Elastizität verleihen¹²¹.

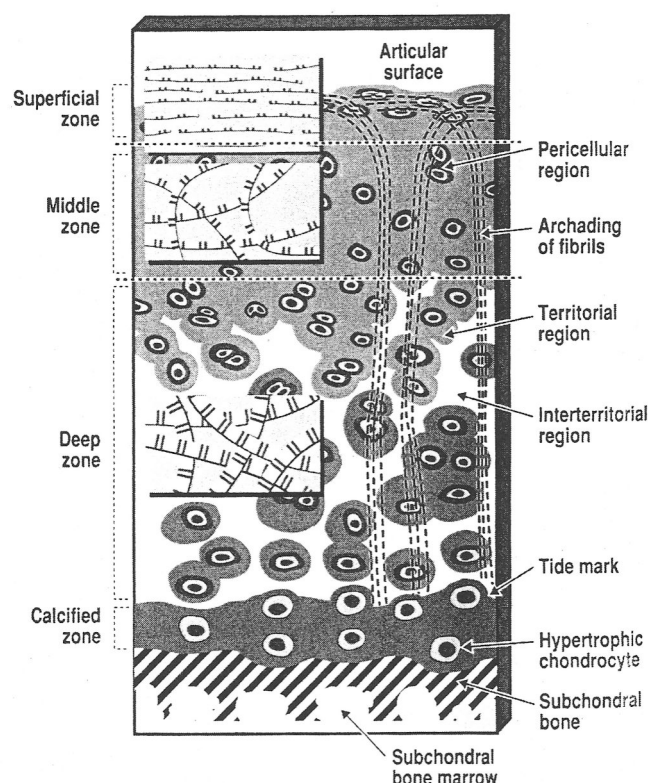
Abbildung 7: Proteoglykanaggregat; aus¹⁰⁸



Entsprechend den funktionellen Anforderungen ist der Gelenkknorpel zonal organisiert (Abb. 8).

Es kann eine oberflächliche Tangential-, eine mittlere Übergangs-, eine tiefe Radialzone sowie eine kalzifizierende Knorpelzone unterschieden werden ¹²¹. In der oberflächlichen Zone sind die Chondrozyten abgeflacht und analog den Kollagenfasern parallel zur Oberfläche angeordnet. Diese Schicht besitzt die höchste Zugfestigkeit die im Gelenkknorpel gefunden wird ^{2,74}. Sie kann somit besonders gut Zug-, Druck- und Scherkräften, wie sie bei der Bewegung auftreten, standhalten. Die darunter liegende Übergangszone ist dicker als die Tangentialschicht, die Chondrozyten dieser Schicht sind rundlicher und produzieren eine ausgedehnte extrazelluläre Matrix mit großen Kollagenfibrillen, einer hohen Konzentration an Aggrecan und einer niedrigen Wasserkonzentration. Die sich anschließende Radialzone zeigt eine säulenartige Anordnung von Knorpelzellen und Kollagenfasern. Die Zelldichte ist hier am geringsten, der Fibrillendurchmesser und die Konzentration an Aggrecan am höchsten und der Wassergehalt am niedrigsten. Als unterste Schicht ist eine schmale kalzifizierte Zone zu finden, die den subchondralen Knochen mit dem unverkalkten Knorpel verbindet ²⁸.

Abbildung 8: Struktureller und zonaler Aufbau des Gelenkknorpels; aus ¹¹⁷



Der Gelenkknorpel ist gegenüber Druck- und Scherkräften stabil und bildet als „organspezifische“ Struktur eine nahezu abriebs- und reibungsfreie Oberfläche. Er ist damit für den Funktionserhalt des Gelenkes essentiell ¹¹¹. Auf Grund seiner Viskoelastizität ist er in der Lage, die bei einer Belastung auftretende Energie

aufzunehmen und wieder abzugeben. Energieaufnahme und Abgabe erfolgen dabei unter Verformung, ähnlich wie bei einer Feder. Ermöglicht wird dies durch das Zusammenspiel von Kollagengerüst, Proteoglykanen (v.a. Aggrekan) und Wasser. Die stark hydrophilen Proteoglykane mit ihren kovalent gebundenen Hyaluronsäuren binden Wasser und üben dadurch einen starken hydrodynamischen Druck aus, dem das kollagene Netzwerk entgegenwirkt. Unter Belastung wird auf diese Weise dem auftretenden Flüssigkeitsstrom Einhalt geboten ¹⁰¹.

II.2.4 Pathophysiologie von Gelenkknorpelschäden und Arthroseentstehung

Wegen der Avaskularität des Knorpelgewebes und der Immobilität und verminderten Proliferation von Chondrozyten führt jede Schädigung des adulten hyalinen Knorpels zu einem bleibenden Defekt ⁸⁹. Knorpelläsionen, die nur die oberflächlichen Zonen betreffen und die subchondrale Grenzlamelle nicht durchbrechen zeigen keine Heilungstendenz ^{27,34,40}, führen aber auch nicht obligat zur Arthrose ¹⁴². Geht die Läsion tiefer, so dass der subchondrale Knochen mitbeteiligt ist, so kommt es durch Eröffnung von Blutgefäßen zum Einwandern von mesenchymalen Zellen aus Blut und Knochenmark und zur Defektheilung durch Ausbildung eines mechanisch minderwertigen Faserknorpels ^{26,131,148}. Dieser Regeneratknorpel enthält vor allem Kollagen Typ I und weniger Proteoglykane, ein zonaler Aufbau wie im hyalinen Gelenkknorpel fehlt. Außerdem findet keine Verbindung mit dem Fasergerüst des angrenzenden gesunden Gewebes statt ^{20,38,41,131}. Eine verminderte Expression von Kollagen Typ II sowie von Aggrekan wurden darüber hinaus auch im periläsionalen Knorpel im Rahmen einer Studie mit drei bis fünf Jahre alten Pferden gesehen ³⁸. Der gebildete minderwertige Faserknorpel ist weniger belastbar und zeigt nach einiger Zeit einen Verschleiß, was das erneute Auftreten klinischer Beschwerden zur Folge hat ^{41,48,89,103,131}.

Als Schädigungsmechanismen des Kniegelenkknorpels kommen neben einem Trauma, einer Osteochondrosis dissecans oder einem M. Ahlbäck auch biomechanische Fehlbelastungen, chronische Bandinstabilitäten und Meniskusläsionen vor. Außerdem werden endogene und entzündliche Ursachen beobachtet. Bei posttraumatischen Läsionen oder der Osteochondrosis dissecans spielen mechanische Aspekte eine besondere Rolle. Durch eine pathologische Lastumverteilung kommt es zur lokalen Drucksteigerung in den Bereichen neben dem osteochondralen Schaden und mit zunehmender Defektgröße zur weiteren Knorpeldegeneration ^{23,128}. Im Rahmen der Arthroseentstehung führt eine chronische und fortschreitende Degeneration des Gelenkknorpels zum Funktionsverlust des Gelenksystems ^{98,99}. Es kommt zur Degradation molekularer Komponenten und zur Zerstörung supramolekularer Strukturen, wie des Kollagennetzwerks oder der Knorpelgrundsubstanz. Beides führt zur mikroskopischen Matrixzerstörung und

später zum makroskopisch sichtbaren Knorpelabrieb. Neben den direkten Veränderungen im Knorpelgewebe kommt es zu drei weiteren pathologisch relevanten Veränderungen im Gelenkgewebe ⁸⁶:

- Bildung von Knorpelregeneraten: Bildung eines mechanisch minderwertigen Faserknorpels im Bereich der totalen Knorpelzerstörung mit Freilegung des subchondralen Knochens bzw. in dessen Randbereich.
- Subchondrale Knochenveränderungen: im Rahmen der Osteoarthrose kommt es frühzeitig zu Knochenum- und Knochenanbauvorgängen im Sinne einer radiologisch sichtbaren subchondralen Knochensklerose und zur Bildung osteophytärer Anbauten der Gelenkflächen.
- Synoviale Reaktion: Neben Knorpel und Knochenveränderungen kommt es bei der Arthrose auch zur Mitreaktion von Synovialmembran und Gelenkkapsel. Diese wird im Frühstadium durch molekulare Degradationsprodukte und im Spätstadium durch Knorpel- und Knochenabriebprodukte initiiert und in Gang gehalten ⁹⁸. Sie ist für einen Großteil der klinischen Symptome verantwortlich. Schmerz, Schwellung und Steifigkeit können als Korrelate der Entzündung der Synovialmembran, der Synovialzellaktivierung und der Gelenkkapselfibrose angesehen werden.

Allgemeine Risikofaktoren für die Entstehung der Arthrose sind das weibliche Geschlecht, Übergewicht, sowie das zunehmende Alter ¹⁴⁰. Des Weiteren wird das Arthroserisiko im Kniegelenk entscheidend durch Begleitverletzungen weiterer Gelenkstrukturen beeinflusst. So konnten Gillquist und Messner in einer Übersichtsarbeit zeigen, dass Meniskus- oder vordere Kreuzbandverletzungen zu einem 10 fach höheren Arthroserisiko führen, im Vergleich zu einer gleichaltrigen Vergleichsgruppe ohne Verletzungen ⁴⁴. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der natürliche Verlauf von isolierten osteochondralen Defekten nicht präzise definiert ist ^{87,93,94}, die klinische Erfahrung aber zeigt, dass unbehandelte Läsionen, die einen größeren Bereich betreffen, fortschreiten und zu einer symptomatischen Degeneration des Gelenks führen ²⁷.

II.2.5 Diagnostik und Klassifikation von Gelenkknorpelschäden

Die klinische Diagnostik von Gelenkknorpelschäden ist bis heute unzuverlässig ¹⁶. Röntgenaufnahmen gehören deshalb zur Basisdiagnostik und MRT Aufnahmen sind auf Grund des hohen Wasser- und Proteoglykangehalts des Gelenkknorpels besonders gut geeignet, Knorpelschäden darzustellen. So wird die Sensitivität, mit der Knorpelläsionen kernspintomographisch festgestellt werden können mit 87%, die Spezifität mit 94% und die Genauigkeit mit 92% angegeben ¹¹⁸. Insbesondere neuere

Techniken wie Fettunterdrückung, 3D-Gradientenecho und schnelle Spinecho-Sequenzen stellen selbst kleine intrachondrale und Oberflächenläsionen dar⁵⁵. Das hilfreichste diagnostische Werkzeug ist jedoch in den meisten Fällen die arthroskopische Exploration durch einen erfahrenen Operateur. Handelt es sich z.B. um eine Knorpelerweichung, als erstes Anzeichen für einen degenerativen Prozess, so kann diese mit einem kleinen Tasthaken arthroskopisch befundet werden¹⁶. Zur Klassifikation von chondralen Läsionen ist die Einteilung nach Outerbridge (Tab. 1) am weitesten verbreitet¹¹². Des Weiteren findet die Einteilung nach Bauer und Jackson¹¹ Anwendung, die die Knorpeloberflächenläsion in Bezug auf das Rissmuster beschreibt. Typ I entspricht einem linearen Riß, Typ II einem sternförmigen, Typ III einem Lappen, Typ IV einem Krater, Typ V einer Auffaserung und Typ VI einer Degeneration. Unter Einbezug der Knochen vitalität ist die Klassifikation nach Imhoff und König (Tab. 2)⁶⁵ insbesondere für die Entscheidung über das therapeutische Vorgehen bei einer osteochondralen Läsion hilfreich.

Tabelle 1: Klassifikation von Gelenkknorpelschäden nach Outerbridge¹¹²

Grad 0	Normaler Gelenkknorpel
Grad 1	Leichte Knorpelerweichung und -verdickung
Grad 2	Oberflächliche Rißbildung; Länge < 1,3 cm (0,5 Inch)
Grad 3	Tiefe Rißbildung, bis zum subchondralen Knochen reichend; Länge > 1,3 cm (0,5 Inch)
Grad 4	Freiliegender subchondraler Knochen

Tabelle 2: Klassifikation von osteochondralen Läsionen nach Imhoff und König⁶⁵

Grad I		Knorpelerweichung, Knochenkontusion
Grad II	a	Intakter Knorpel, Demarkation ohne Sklerose
	b	Intakter Knorpel, Demarkation mit Sklerose
Grad III	a	Partielle Ablösung bei vitalem Fragment ohne Sklerose
	b	Partielle Ablösung bei avitalem Fragment mit Sklerose
Grad IV	a	Vitales freies Fragment ohne Sklerose
	b	Avitales freies Fragment mit deutlicher Sklerose
Grad V	a	Zystenbildung ohne Sklerose
	b	Zystenbildung mit Sklerose

II.3 Behandlungsmöglichkeiten von Gelenkknorpelschäden

Knorpelschäden im Kniegelenk können Schmerz, Schwellung oder Bewegungseinschränkung verursachen und so die Lebensqualität des Patienten minimieren. Insbesondere bei jungen Patienten stellen osteochondrale Läsionen ein Problem dar, da es zu einer frühzeitigen Arthrose kommen kann ^{88,89}.

II.3.1 Konservative Therapie

Die konservativen Therapiemöglichkeiten beschränken sich auf die symptomatische Anwendung von Antiphlogistika oder Analgetika, die Einnahme von Knorpelaufbaupräparaten oder die intraartikuläre Injektion von Hyaluronsäure ^{33,76}. Die physikalische und krankengymnastische Behandlung bzw. die orthopädische Versorgung mit Orthesen, Schuhzurichtungen oder Gehhilfen kann hilfreich sein. Bei allen konservativen Therapieoptionen darf zwar eine Schmerzlinderung, aber keine Heilung erwartet werden.

II.3.2 Operative Therapie

Die operative Therapie des Knorpelschadens muss als oberstes Ziel die Defektdeckung mit einem Gewebe haben, das funktionell hyalinem Gelenkknorpel möglichst gleicht. Je näher das mit verschiedenen Therapieoptionen erreichte Reparationsgewebe dem gesunden hyalinen Knorpel kommt, desto besser ist die Funktion des geschädigten Gelenks und das Fortschreiten der Arthrose wird verlangsamt ⁶⁴. Zur Wiederherstellung von tragfähigen Gelenkflächen bei umschriebenen Knorpeldefekten des jüngeren Patienten stehen heute grundsätzlich zwei Strategien zur Verfügung. Einerseits können die intrinsischen Regenerationsmechanismen initiiert und gefördert werden und andererseits kann die Gelenkoberfläche durch Zell- und/oder Gewebstransplantation wieder hergestellt werden. Im Einzelnen stehen folgende Techniken zur Verfügung:

- Verfahren zur Faserknorpelinduktion
- Transplantation von Geweben mit potentieller chondrogener Differenzierung (Periost/Perichondrium)
- Transplantation von autologen Chondrozyten
- Transplantation von osteochondralen Zylindern

Außerdem werden symptomatische Operationsverfahren angewendet, die aber weder ein Regenerationsgewebe bilden, noch die weitere Arthroseentwicklung

beeinflussen ³². Zu diesen gehören Gelenklavage, Gelenk-Debridement und "Shaving". Sie sind arthroskopisch durchführbar und finden auch bei der manifesten Gonarthrose Anwendung ⁷.

Ganz entscheidend bei der operativen Therapie von Gelenkknorpelschäden ist neben der Wiederherstellung der Gelenkfläche die Behandlung etwaiger Zusatzpathologien. So haben knorpelregenerative Maßnahmen nur dann Erfolg, wenn bestehende Varus- und Valgusdeformitäten oder Bandinstabilitäten mitbehandelt werden ¹³⁷.

II.3.2.1 Symptomatische Operationsverfahren

Gelenklavage

Die Lavage dient der Gelenkausspülung von arthrose- und entzündungsfördernden Mediatoren und erzielt einer Studie von Jackson zufolge eine Symptombesserung bei 45% der Patienten über bis zu 3,5 Jahre. Bei 20% der Patienten konnte dagegen keine Verbesserung erzielt werden ^{68,69}.

Gelenk-Debridement

Im Rahmen des Debridements werden freie und instabile Knorpelfragmente bzw. Gelenkkörper mit Faszangern und Shavern entfernt, Knorpelränder und Knorpeloberfläche geglättet sowie störende Osteophyten abgetragen. Außerdem können eine Teilsynovektomie oder Eingriffe an Meniskusrissen durchgeführt werden. Magnuson und Haggart berichteten, dass alleine durch die Entfernung freier Knorpelfragmente und die Resektion degenerativer Meniskusrisse 70% der Patienten eine zeitweise Besserung des funktionellen Befundes und der Symptomatik hatten ^{50,85}. Auch Jackson fand bei 80 bis 85% seiner 202 Studienpatienten eine signifikante temporäre Besserung nach Lavage plus Debridement ⁶⁸. Durch das Debridement wird allerdings weder die Regeneration der Gelenkflächen gefördert, noch das Fortschreiten der Degeneration aufgehalten ^{75,97}. So entwickelten einer prospektiven Studie von Messner zufolge fast 50% von 28 jungen Patienten mit isolierten traumatischen dritt- bzw. viertgradigen Knorpeldefekten 14 Jahre nach Debridement und Lavage eine Arthrose im betroffenen Kompartiment ⁹⁴. Schneider stellte 1999 fest, dass nur noch 5,5% seiner Studienteilnehmer mit femorotibialen Knorpelschäden Grad III oder Grad IV auch zehn Jahre nach Kniegelenksdebridement von der Operation profitiert hatten ¹²⁹.

Shaving

Beim chondralen Shaving werden abgescherte Knorpelteile, die für Reizergüsse und Schmerzen verantwortlich sind, entfernt. Der therapeutische Nutzen ist nur vorübergehend. Im Tierexperiment wurden vier bzw. zwölf Wochen postoperativ Auffaserungen und Nekrosen um den ursprünglichen Defekt gesehen. Keine der Läsionen füllte sich mit Reparationsgewebe auf ⁷⁵.

II.3.2.2 Verfahren zur Faserknorpelinduktion

Durch die Eröffnung der Blutgefäße des subchondralen Knochens kommt es zur lokalen Bildung eines Blutkoagels. Anschließend differenzieren sich mesenchymale Stammzellen aus Knochenmark ^{32,131,153} und Synovia ⁶² zu Faserknorpel. Diese Tatsache machen sich alle Techniken zur Faserknorpelinduktion zu Nutze. Durch mechanische Penetration des subchondralen Knochens wird die Vaskularisationszone erreicht und eröffnet. Es kommt zur Bildung eines Fibrinclots, der die gewünschten pluripotenten Stammzellen enthält. Der gebildete Regeneratknorpel besitzt im Vergleich zum hyalinen Gelenkknorpel (Typ II Kollagen) vorwiegend Typ I Kollagen und zeigt eine deutlich verminderte Belastbarkeit ^{113,138}. Der Ersatzknorpel ist folglich den alltäglichen Belastungen im Kniegelenk nicht gewachsen und es kommt bei entsprechender Defektgröße zur Arthrose ⁶⁶.

Die im Folgenden aufgeführten Verfahren dienen der Knochenmarkstimulation.

Abrasionschondroplastik

Bei der Abrasionschondroplastik nach Johnson wird der Knorpeldefekt bis zum benachbarten gesunden Knorpel debridiert und der subchondrale Knochen mit einem Bohrer oberflächlich eröffnet. Durch dieses rein palliative Verfahren kommt es nach vier bis sechs Monaten zur Ausbildung von Faserknorpel, wodurch einer Studie von Johnson zufolge 33% der Patienten zwei Jahre postoperativ schmerzfrei sein können ⁷¹.

Pridie Bohrung

Bei der Bohrung nach Pridie ¹²⁰ wird der subchondrale Knochen in der Regel mit einem Bohrer oder Kirschner-Draht arthroskopisch oder offen mehrmals antegrad bis in die tieferen Zonen aufgebohrt. Auch hier kommt es zu keiner Restitutio ad integrum, vielmehr entsteht im Bereich der Bohrkanäle ein weniger belastbarer Faserknorpel, der zur Reduktion der Beschwerden führen kann ¹⁰³. Menche verglich 1996 den Erfolg der Abrasionschondroplastik mit dem der Pridiebohrung bei

Kaninchen mit Knorpeldefekten am medialen Femurkondylus und kam zu dem Ergebnis, dass 24 Monate nach Pridie Bohrung der Defekt bei allen Tieren aufgefüllt war, sich jedoch bereits bei 43% degenerative Veränderungen fanden. Dagegen war in der Abrasionschondroplastik-Gruppe die Knorpelregeneration schlechter und 60% zeigten ein Fortschreiten der chondralen Degeneration⁹¹.

Mikrofrakturierung

Bei der Mikrofrakturierung nach Steadman werden mit einer arthroskopischen Aale mehrfach Löcher (Mikrofrakturen) in den subchondralen Knochen eingebracht, um das Knochenmark zu stimulieren¹³⁶. In einer Followup Studie konnte Steadman an Hand von 72 Patienten mit posttraumatischen tiefen Knorpelschäden im Knie zeigen, dass sich nach durchschnittlich 11,3 Jahren die Kniefunktion verbessert hatte und die Schmerzen reduziert waren¹³⁵. Auch durch dieses Verfahren wird ein Kollagen Typ I reicher Ersatzknorpel gebildet, der Druck- und Scherkräften deutlich schlechter standhalten kann als hyaliner Knorpel⁵.

II.3.2.3 Transplantation von Geweben mit potentieller chondrogener Differenzierung

Zu den Geweben mit potentieller chondrogener Differenzierung werden das Periost und das Perichondrium gezählt³². Die chondrozytären Vorläuferzellen des Periosts sind dabei in der inneren Kambiumschicht lokalisiert⁶⁷ und sollen genau wie die perichondralen chondrozytären Vorläuferzellen die Fähigkeit haben, nach Transplantation eines entsprechenden Lappens, die Knorpeldefektzone mit Ersatzknorpel zu füllen²⁵. Diese Therapie findet jedoch keine breite Anwendung bei fokalen Knorpelschäden mehr.

II.3.2.4 Autologe Chondrozytentransplantation

Einen weiteren Ansatz zur Therapie von Gelenkknorpelschäden stellt die Transplantation von in vitro vermehrten autologen Chondrozyten dar, die nichtmatrixgebunden oder matrixgebunden angewendet werden können. Grundlage dieser Therapie ist die Möglichkeit, Chondrozyten enzymatisch aus ihrer extrazellulären Matrix herauszulösen⁷⁷ und in vitro anzuzüchten.

Bei der klassischen autologen Chondrozytentransplantation wird der Knorpelschaden in einem ersten Schritt arthroskopisch evaluiert und ein gesundes hyalines Knorpelstück aus der Trochlea femoris entnommen, um daraus im Labor autologe Chondrozyten anzuzüchten. In einem zweiten Schritt kann dann nach etwa sechs Wochen die Chondrozytensuspension in den Defekt eingebracht werden. Dazu wird

über eine Arthrotomie die Knorpelläsion bis zum angrenzenden gesunden Knorpel debridiert, ohne dabei den subchondralen Knochen zu eröffnen. Anschließend wird die Suspension unter einen am medialen Tibiakopf entnommenen und dem Defekt aufgenähten Periostlappen injiziert^{5,32}. Die Kultivierung der Knorpelzellen erfolgt bei der klassischen ACT in der so genannten Monolayerkultur (2D-Kultur), in einer flachen Kulturschale. Dies hat zur Folge, dass die Chondrozyten dabei dedifferenzieren und einen fibroblastischen Phänotyp annehmen^{126,138} und anstatt des knorpeltypischen Aggrecans vermehrt Versican¹⁴ produzieren. Es werden also zunächst dedifferenzierte Chondrozyten implantiert, die dann unter dem Periostlappen redifferenzieren¹³⁸. Allerdings konnte noch nicht eindeutig geklärt werden woher die Zellen im Regeneratknorpel stammen. Einerseits ist die Bildung des Ersatzknorpels durch die mesenchymalen Zellen der Kambiumzellschicht des Periosts und andererseits durch die Injektion der angezüchteten Zellen möglich¹³⁷. Fraglich bleibt aber, ob die Zellen des Periostgrafts nach Zurechtschneiden und der damit verbundenen Unterbrechung der Blutzufuhr vital bleiben. 1984 gelang es erstmals, fokale patelläre Defekte von Hasen mit kultivierten Chondrozyten zu decken¹¹⁴, die erste klassische ACT wurde 1987 durchgeführt und die ersten klinischen Ergebnisse veröffentlichten Mats Brittberg und Mitarbeiter 1994¹⁹. Sie führten bei 23 Patienten mit osteochondralen Femurkondylen- oder Patelladefekten eine autologe Chondrozyten Transplantation durch und erzielten bei 14 der 16 Patienten mit kondylären Defekten gute bis sehr gute Ergebnisse. Deutlich schlechter waren dagegen die Ergebnisse der sieben Patienten mit patellären Läsionen¹⁹. In einer anderen Langzeitstudie konnte gezeigt werden, dass 51 von 61 Patienten mit Knorpelschäden im Knie nach fünf bis elf Jahren gute und sehr gute Ergebnisse hatten¹¹³.

Unter der Annahme, dass die Hauptfunktion des Periostlappens die Bildung einer bioaktiven, stabilen und geschlossenen Kammer ist, wurden verschiedene Biomaterialien erforscht und entwickelt. Vor allem Kollagene zeichnen sich dabei durch ihre Biokompatibilität und vielfach belegte Verträglichkeit aus¹³⁷. In einem Tierversuch wurden bei 18 adulten Schafen 7mm² große osteochondrale Defekte in die Trochlea gesetzt und drei Gruppen gebildet. Eine Gruppe wurde nicht behandelt und die anderen beiden Gruppen bekamen eine ACT, wobei bei der zweiten Gruppe der Defekt mit einem Periostlappen und bei der dritten Gruppe mit einer Membran aus porcinem Kollagen Typ I/III gedeckt wurde. Nach einem Jahr zeigte sich histologisch und biomechanisch kein signifikanter Unterschied zwischen der zweiten und der dritten Gruppe, bei beiden Gruppen war eine vollständige Defektauffüllung nachweisbar¹²⁷. Ein entscheidender Vorteil der verwendeten Kollagenmembranen ist es, dass Gewebshypertrophien, wie sie in bis zu 20% bei Periostlappen auftreten und oft arthroskopisch behandelt werden müssen, vollständig vermieden werden können.

Derzeit verfügt nur die klassische ACT mit Periostlappendeckung über mittel- bis langfristige Ergebnisse ¹³⁷.

Die Weiterentwicklung der ACT sind die matrixassistierten Verfahren, wobei die ex vivo kultivierten Knorpelzellen mit Hilfe eines Biomaterials in die Defektzone transplantiert werden. Die Zellen werden dabei auf die Matrix aufgezüchtet und im Verbund in den Defekt transplantiert ¹⁰⁷. Durch die Kultivierung auf einer dreidimensionalen Matrix kann eine Dedifferenzierung der Chondrozyten verhindert werden und es wird frühzeitig eine knorpelspezifische Matrix gebildet. Außerdem ist die Zelldichte besser steuerbar und damit im Rahmen der Transplantation eine gleichmäßige Defektdeckung möglich ^{104,105}. Am Häufigsten werden derzeit das Kollagenvlies sowie die Hyaluronmatrix verwendet, mit letzterer wurden kürzlich Dreijahresergebnisse publiziert. Es wurden 36 Patienten mit Knorpeldefekten am Knie operiert und zwölf, 24 und 36 Monate postoperativ evaluiert. Dabei zeigte sich ein signifikanter Anstieg des Lysholmscores ⁸³ von 57,5 praeoperativ auf 80,8 Punkte nach drei Jahren ¹⁰⁶.

Ein deutlicher Nachteil der autologen Chondrozytentransplantation sind derzeit die hohen Kosten ³² sowie die Notwendigkeit von zwei operativen Eingriffen mit den möglichen anästhesiologischen und operativen Komplikationen. Als spezifische Komplikation der ACT ist die Periosthypertrophie zu nennen, die in der Regel sieben bis neun Monate postoperativ auftritt und arthroskopisch behandelt werden kann ²¹. Eine Delamination des Transplantats ist selten, wird aber bei tiefen osteochondralen Läsionen gesehen ¹¹⁵.

II.3.2.5 Autologe Transplantation osteochondraler Zylinder

Bis heute stellt die Transplantation von Knorpel-Knochen-Zylindern die einzige Möglichkeit dar, die Defektzone einer bestehenden Gelenkknorpelläsion mit intaktem hyalinem Knorpel zu decken. Bereits vor gut vierzig Jahren berichtete Wagner über die autologe Transplantation osteochondraler Zylinder zur Deckung von Gelenkknorpeldefekten bei der Osteochondrosis dissecans ¹⁴⁷. In den folgenden Jahren wurden autologe und allogene Transplantationen in offener Technik vor allem am Knie durchgeführt ^{43,146,152}. 1993 publizierten Matsusue ⁹⁰, später Bobic ¹⁵ und Hangody ⁵⁴ über die arthroskopische autologe Transplantation von Knorpel-Knochen-Zylindern am Knie. Heute stellen fokal begrenzte osteochondrale Läsionen in der Hauptbelastungszone die Kernindikationen dar, wobei vor allem Defekte an Femurkondylen, Patella oder Talus Schulter sehr gut versorgt werden können. Nach individueller Abwägung kann aber auch das Hüft-, Ellenbogen- und Schultergelenk therapiert werden ¹⁸. Die idealen Indikationen sind symptomatische osteochondrale Läsionen in der Belastungszone der distalen Femurkondyle (Bsp. Osteochondrosis dissecans, M. Ahlbäck, posttraumatischer Knorpelschaden), bei intakter tibialer

Gelenkfläche und unbeschadeten Menisci in einem insgesamt nicht degenerativ veränderten Gelenk ohne mechanischem Malalignment⁵. Selten sind alle diese Voraussetzungen erfüllt, so dass Zusatzeingriffe wie z.B. eine Umstellungsosteotomie zur Korrektur der Beinachse notwendig sind.

Die Knorpel-Knochen-Zylinder werden aus wenig belasteten Bereichen des Kniegelenks, vor allem der proximalen anteromedialen bzw. anterolateralen Trochlea oder der interkondylären Notch entnommen^{5,18}. Simonian konnte an sieben Kadaverknien zeigen, dass zwischen 0 und 110° Beugung im Bereich der proximalen anterolateralen Femurkondyle und der medialen Wange der Notch die niedrigsten Anpressdruckwerte auftraten, wenngleich keine der zehn von ihm getesteten Spenderareale vollständig ohne Belastung waren¹³⁴. Garretson sah die mediale Trochlea als idealen Spenderbereich für Zylinder, die kleiner als 5 mm sind⁴². Auch wenn niedrigere Anpressdrücke eine verminderte Morbidität des Donorareals suggerieren, so muss stets das Oberflächenrelief in Überlegungen zur Graft Gewinnung mit einbezogen werden. So entspricht z.B. das leicht konkave Relief der proximalen lateralen und medialen Trochlea eher der Belastungszone der Femurkondylen als das der konvexen zentralen interkondylären Notch¹⁰. Die Spenderzylinder werden mit einem Stanzmeißel entnommen und in den präparierten Defektbereich eingebracht. Damit das Transplantat in press fit Technik eingebracht werden kann, sollte der Durchmesser um 1 mm größer als der des zu deckenden Bereichs gewählt werden¹⁸. Zur Schaffung einer kongruenten Oberfläche sind im Wesentlichen zwei Konzepte etabliert. Bei der Mosaikplastik nach Hangody⁵¹ wird die Läsion durch viele kleine Zylinder remodelliert, alternativ können auch ein einzelner oder mehrere größere Zylinder transplantiert werden^{16,66}. Ganz essentiell für den Erfolg dieser Transferverfahren ist die Vitalität der transplantierten Zylinder. Eine Integration ist nur im spongiösen Knochen und nicht im benachbarten Knorpel möglich¹³³. Im Bereich zwischen transplantiertem und intaktem Knorpel findet sich in einigen Fällen Faserknorpel, im Spenderbereich wird der Entnahmedefekt ebenfalls durch Faserknorpel aufgefüllt. Histologisch konnte vitales hyalines Knorpelgewebe im transplantierten Zylinder nachgewiesen werden⁵⁴.

Zehn Jahre nach Mosaikplastik konnten bei 92% der Patienten mit Defekten an den Femurkondylen gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt werden, außerdem konnte bei 83% arthroskopisch ein kongruenter Zylinder gesehen werden, der histologisch als vital und hyalin beurteilt wurde⁵³.

Vorteile des Transfers von autologen osteochondralen Zylindern sind die direkte Verfügbarkeit ohne das Risiko der Übertragung von Infektionen, die geringen Kosten und die Notwendigkeit nur einer einzigen oft arthroskopisch durchführbaren Operation. Limitiert ist das Verfahren allerdings durch die begrenzte Möglichkeit zur Entnahme und eine potentielle Morbidität im Spenderbereich. Osteochondrale Defekte mit einem Durchmesser von über 20 - 25 mm sind für die klassische OATS

oder Mosaikplastik nicht geeignet. Einerseits ist der Spenderbereich in der Regel nicht groß genug und andererseits ist eine stabile press fit Verankerung vieler kleiner benachbarter Zylinder nicht mehr gewährleistet¹. Eine Erweiterung der Indikation auf deutlich größere fokale Defekte ist der in dieser Arbeit vorgestellte Transfer des posterioren Femurkondylus. Dabei wird ein einzelner sehr großer, so genannter MegaOATS Zylinder transplantiert^{1,24,64}.

III Material und Methode

III.1 Operationsverfahren

III.1.1 Indikationsstellung

Indiziert ist die Operation zur Deckung sehr großer fokaler osteochondraler Defekte im Bereich der gewichtstragenden Areale der Femurkondylen, die mit herkömmlichen OATS Zylindern nicht mehr gedeckt werden können. Osteochondrale Schäden Grad IV Typ Outerbridge¹¹², Osteochondrosis dissecans (Abb. 9) mit avitalen Fragmenten Typ Imhoff Grad III und IV⁶⁵ oder fokale Osteonekrosen mit einem Durchmesser von mehr als 20 - 25 mm stellen die Hauptindikationen zur MegaOATS dar.

Abbildung 9: Osteochondrosis dissecans Stadium IIIB (medialer Femurkondylus; Patient Nr. 18)



Das Operationsverfahren findet vor allem bei jüngeren Patienten Anwendung. Das Wachstum der Patienten sollte zum Zeitpunkt der Operation abgeschlossen sein. Sofern die Epiphysenfuge - entsprechend der Lokalisation der Läsion - geschont werden kann, ist dies allerdings keine zwingende Bedingung. Die Altersobergrenze liegt bei ca. 55 Jahren, sie kann aber bei guter Knochenqualität und jüngerem biologischen Alter nach individueller Abwägung überschritten werden. Als wichtigste Kontraindikation wird eine generalisierte Kniegelenksarthrose angesehen.

In verschiedenen Situationen können neben dem Kondylentransfer weitere Zusatzeingriffe erforderlich sein. Liegt zusätzlich zum Knorpelschaden eine

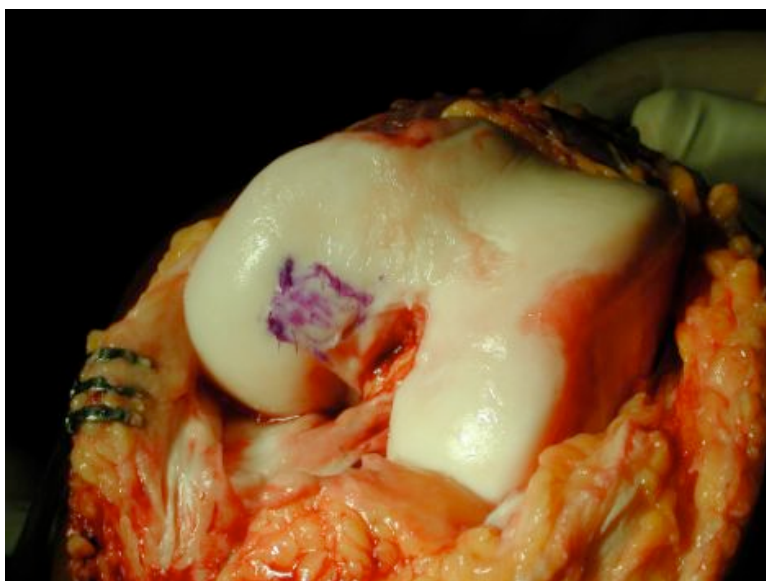
Fehlstellung der Beinachse vor, muss diese korrigiert werden. Handelt es sich dabei um eine Defektlokalisierung am medialen Femurkondylus bei ausgeprägter Varusfehlstellung, wird eine valgusierende Umstellungsosteotomie (HTO) durchgeführt, um das mediale Kompartiment zu entlasten und dadurch ein gutes Einheilen des Transplantats zu gewährleisten. Eine funktionelle ligamentäre Instabilität des betroffenen Kniegelenks erfordert eine entsprechende operative Stabilisierung. Bei sehr tief gehenden Knorpelknochendefekten ist eine Spongiosaplastik notwendig, um das Transplantat mit ausreichend vitalem Knochen zu unterfüttern. Weitere Knorpelschäden neben dem Hauptdefekt im betroffenen Kniegelenk müssen entsprechend mit geeigneten Techniken mitversorgt werden.

III.1.2 Operationstechnik

III.1.2.1 MegaOATS

Während der Operation liegt der Patient in Rückenlage. Nach sterilem Abjodieren und steriler Abdeckung des Beins wird eine Oberschenkelblutsperre angelegt. Der operative Zugang erfolgt zunächst über einen zentralen Längsschnitt, der weitere Zugangsweg ist von der Defektlokalisierung abhängig. Ist der osteochondrale Defekt am medialen Femurkondylus lokalisiert, führt man eine anteromediale Arthrotomie durch und luxiert die Patella nach lateral. Befindet sich die Läsion am lateralen Kondylus wird entsprechend anterolateral arthrotomiert und die Kniescheibe nach medial luxiert. Das so sichtbar gewordene Defektareal wird im folgenden Schritt markiert und ausgemessen (Abb. 10).

Abbildung 10: markierter Osteochondrosis dissecans Herd (li med Fc)



Anschließend wird das Transplantatbett vorbereitet. Dazu wird ein Kirschnerdraht orthograd in das Zentrum des Defekts gebohrt (Abb. 11). Dieser dient dann als Führung für die Fräse (Abb. 12) mit der die Läsion aufgebohrt wird. Je nach Größe des Schadens werden Fräsen mit Durchmessern von 20 bis 35 mm (in 5 mm Abständen) verwendet.

Abbildung 11: Defektanbohrung

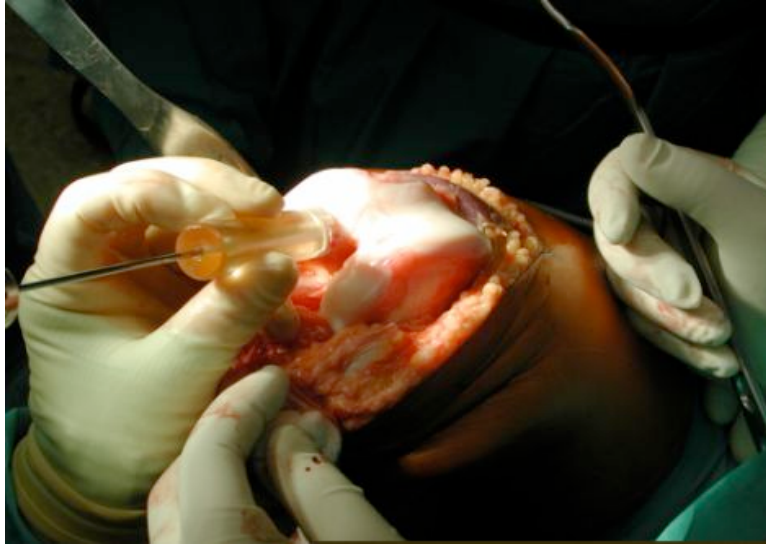


Abbildung 12: Fräse



Die Bohrung sollte stets so tief gehen bis gesunder blutender Knochen vorgefunden wird, da nur bei vitalem Knochen die Einheilung des MegaOATS Zylinders möglich ist. Bei sehr tief gehender Knochensklerose bzw. Nekrose kann auf Grund der benötigten Bohrtiefe eine unterfütternde Spongiosaplastik notwendig werden. Die dafür benötigte Spongiosa wird z.B. an Schienbeinkopf oder Beckenkamm entnommen. Nach Ausfräsen des Defektareals (Abb. 13), werden erneut Durchmesser und Tiefe des Transplantatbettes genau ausgemessen. Dazu können sowohl die Markierungen auf der Fräse, als auch ein spezieller Messzylinder (Abb. 14) verwendet werden. Die primäre Bohrtiefe sollte ca. 1 mm geringer als die

Gesamtzylinderhöhe sein, da dieser mit einem Stößel unter leichter Kompression der Spongiosa von Zylinder und Transplantatbett eingebracht wird.

Abbildung 13: Präpariertes Transplantatbett

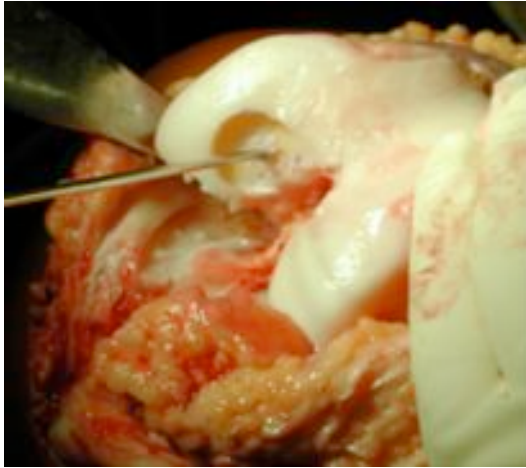


Abbildung 14: Tiefenmessgerät



Die Gewinnung des Transplantats erfolgt durch Entnahme des zur Knorpelläsion in der Regel ipsilateral gelegenen posterioren Femurkondylus. Dazu befindet sich das Kniegelenk in ca. 130 Grad Flexionsstellung und die Patella ist zur kontralateralen Seite luxiert. Die Entnahme des Kondylus erfolgt durch Meißel-Osteotomie, wobei der scharfe Meißel idealerweise in direkter Verlängerung zur Achse der hinteren Femurkortikalis angesetzt wird (Abb. 15), um so einen gleichmäßig tiefen Spenderzylinder zu erhalten. Das gewonnene Transplantat muss dem aufgefrästen Defekt entsprechend tief genug sein.

Abbildung 15: Entnahme des posterioren Femurkondylus



Während der Osteotomie werden die hintere Gelenkkapsel, die Kreuzbänder und der kollaterale Bandapparat durch zwei Hohmann Haken geschützt. Aus dem entnommenen Kondylus kann durch weitere Präparation beim Erwachsenen ein Zylinder mit einem Durchmesser von max. 35 mm und einer Tiefe von bis zu 20 mm gewonnen werden. Bei Jugendlichen sind entsprechend kleinere Maxima zu erwarten. Die Kondylenpräparation erfolgt auf einer speziell entwickelten Workstation

(Firma Arthrex; Naples, USA und Karlsfeld, Deutschland) (Abb. 16). Dazu wird der Kondylus mit sechs Schrauben fixiert, die - um iatrogene Läsionen der Knorpeloberfläche im Zylinderbereich zu vermeiden - seitlich angebracht werden. Mit einem Hohlbohrer wird anschließend entlang eines speziellen Führungstunnels (Abb. 17) der Zylinder gewonnen. Der Führungstunnel gewährleistet eine orthograde Bohrung, um eine symmetrische Transplantatoberfläche zu erhalten. Sollte sich der Defekt am medialen bzw. lateralen Rand der femoralen Belastungszone befinden, darf der Zylinder nicht streng orthograd präpariert werden. Durch die Asymmetrie des Transplantats kann eine genauere anatomische Rekonstruktion der defekten Knorpeloberfläche erreicht werden. Etwaige Knochensinterungen im Defektbereich und dessen Umgebung sind bei der Planung zu berücksichtigen.

Abbildung 16: Workstation

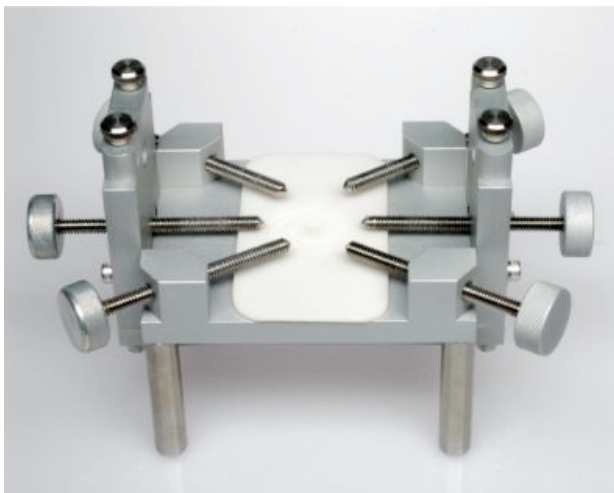


Abbildung 17: Workstation mit Führungstunnel und Hohlbohrer

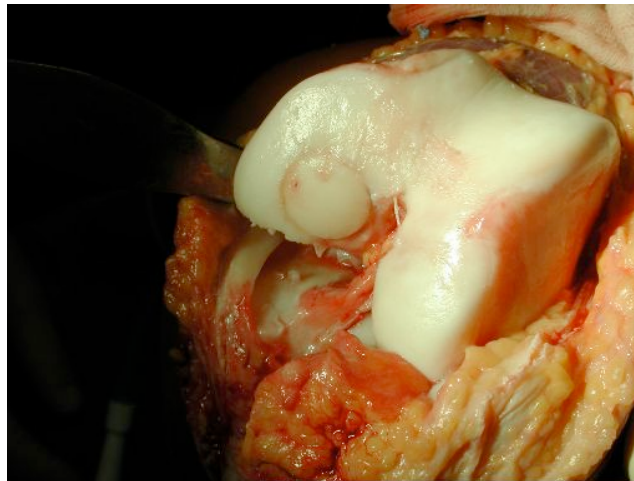


Der Durchmesser des gewonnenen Transplantats wird durch das Instrumentarium um 0,3 mm größer vorgegeben als der entsprechende Durchmesser des präparierten Defektareals. Auf diese Weise wird eine spätere Press-fit-Verankerung mit Hilfe eines speziellen Stößels erreicht. Voraussetzung ist eine ausreichende knöcherne Umrandung (mindestens 270°) der Empfängerzone. Ist diese auf Grund der Defektlokalisation nicht gegeben (Bsp. Defekt in der dorsalen Belastungszone nahe der Osteotomiegrenze), kann eine Transplantatfixation mit einer Kleinfragmentschraube erforderlich sein, die in der Regel nach sechs Wochen Entlastung arthroskopisch entfernt wird.

Bei der Zylindertransplantation müssen die unterschiedlichen Krümmungsradien von hinterer Femurkondyle und vorderer Belastungszone berücksichtigt werden. Eine möglichst genaue anatomische Rekonstruktion der Knorpeloberfläche wird am besten erreicht, wenn der Zylinder vor dem Einklopfen um 90° um seine Längsachse

rotiert wird. Der Radius im hinteren Kondylenbereich ist geringer als im vorderen Belastungsbereich und die Krümmung des posterioren Femurkondylus im transversalen Durchmesser entspricht eher als in sagittaler Richtung dem sagittalen Krümmungsradius der Belastungszone (Abb. 2 und 3). Gelingt eine annähernde anatomische Rekonstruktion der Krümmungsverhältnisse auf Anhieb nicht, wird der Zylinder entweder mit Hilfe eines speziellen Retraktors wie mit einem Korkenzieher oder durch seitliches schräges Anbohren mit einem K-Draht unter Schonung der Knorpeloberfläche nochmals entfernt. Anschließend kann das Transplantat zum Beispiel in anderer Rotationsstellung oder nach weiterer Präparation des Zylinders bzw. des Transplantatbettes erneut eingebracht werden. Nach dem Transfer des Kondylus (Abb. 18) wird das Operationsgebiet schichtweise verschlossen. Es werden zwei Redon Drainagen, intraartikulär und subkutan, eingelegt.

Abbildung 18: Transplantiertes MegaOATS Zylinder



III.1.2.2 Posteriorer Kondylentransfer (PCT)

Der posteriore Kondylentransfer war das Vorläuferverfahren der MegaOATS Technik und wird seit Juli 1999 in dieser Form nicht mehr durchgeführt. Die Operation erfolgte ohne das oben beschriebene Instrumentarium. Der Kondylus wurde mittels Meißel-Osteotomie entnommen und daraus Freihand ein Zylinder auf die Größe des Defektbettes zurechtpräpariert. Das Transplantat wurde mit Kirschnerdrähten provisorisch und mit ein bis zwei Kleinfragmentschrauben (z.B. 2,7 mm x 28 mm) endgültig fixiert. Mit einer Kopfraumfräse wurden Vertiefungen im Transplantatknorpel erzeugt, um den Schraubenkopf plan einbringen zu können. Dadurch sollte auch bei inzidentieller Belastung der Extremität ein Kontakt am korrespondierenden Knorpel des Tibiaplateaus vermieden werden. Die arthroskopische Schraubentfernung erfolgte in der Regel sechs Wochen nach der Operation.

III.1.3 Nachbehandlung

Das postoperative Regime sieht eine vollständige Entlastung des Beins für einen Zeitraum von 6 Wochen vor, allerdings ist eine Tipp-Belastung erlaubt. Ab der siebten postoperativen Woche kann mit einer Teilbelastung begonnen werden. Das Belastungsgewicht sollte dabei bis zur Vollbelastung um ca. 20 kg pro Woche gesteigert werden. Ungefähr ab dem vierten Monat post operationem kann mit einem gezielten Muskelaufbautraining begonnen werden, so dass nach ca. sechs bis neun Monaten ein teilweises Wiedererreichen der spezifischen Sportfähigkeit möglich ist.

Die Mobilisation des Kniegelenks beginnt unmittelbar nach Entfernung der Redon Drainagen mit einer Continuous Passive Motion Schiene und soll während den ersten sechs Wochen eine Maximalbeugung von 90° nicht überschreiten. Der Bewegungsumfang wird nach diesen sechs Wochen zunehmend gesteigert, um nach ca. drei Monaten die volle Beweglichkeit zu erreichen.

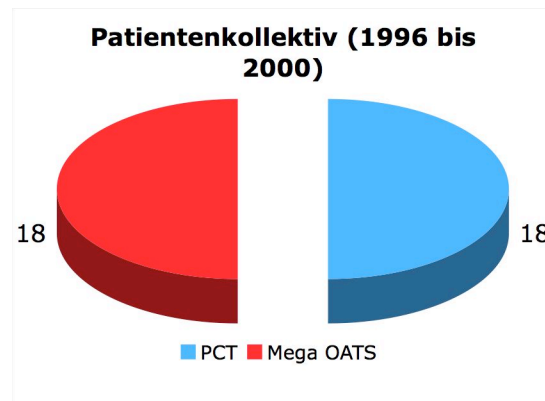
III.2 Patienten

III.2.1 Festlegung des Studienkollektivs

In der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar sind seit Juli 1996 bis März 2006 insgesamt 100 Patienten (Quelle: OP Bücher der Jahre 1996 bis 2006) operiert worden. Bis Juli 1999 erfolgte die Operation als Posteriorer Kondylentransfer, ab dann als MegaOATS. In beiden Gruppen wurde jeweils ein Patient an beiden Kniegelenken operiert. Somit fand bei 17 Patienten 18 mal eine PCT und bei 83 Patienten in 84 Fällen eine MegaOATS statt (Stand 03/2006). Der Einfachheit halber wird im Folgenden die Anzahl der Patienten der Anzahl der zu betrachtenden Operationen gleichgesetzt. Um den Textfluss nicht zu stören, wird die grammatikalisch maskuline Form gewählt.

Bislang gab es klinische Studien mit einem kurzen Nachbeobachtungszeitraum^{1,24,64}, es fehlten jedoch mittel- bis langfristige Ergebnisse. In die vorliegende Studie wurden alle Patienten aufgenommen, deren Operationszeitpunkt zwischen Einführung des Verfahrens in München (Juli 1996) und Dezember 2000 (einschließlich) lag. Es ergab sich dadurch ein Kollektiv von 36 Patienten (Abb. 19). Eine tabellarische Übersicht über diese Patienten findet sich am Ende des Kapitels III.2 (Tab. 3; Tab.4).

Abbildung 19: Patientenkollektiv im festgelegten Beobachtungszeitraum



III.2.2 Wiederfindungsrate

Die Kontaktaufnahme zu den Patienten erfolgte telefonisch. Die Reihenfolge der Anrufe war zufällig. Im Telefonat wurden Fragen zur Befindlichkeit gestellt und ein Termin zur Nachuntersuchung in der Poliklinik vereinbart. Die Gespräche wurden kurz protokolliert. Der Beginn der Studie war für August 2004 festgelegt und für alle Nachuntersuchungen ein Zeitraum von sechs Monaten vorgesehen.

Insgesamt können Aussagen zu 33 der 36 operierten Patienten gemacht werden. Dies entspricht einer Wiederfindungsrate von 91,7%. Die Patienten Nr. 7, 25 und 31

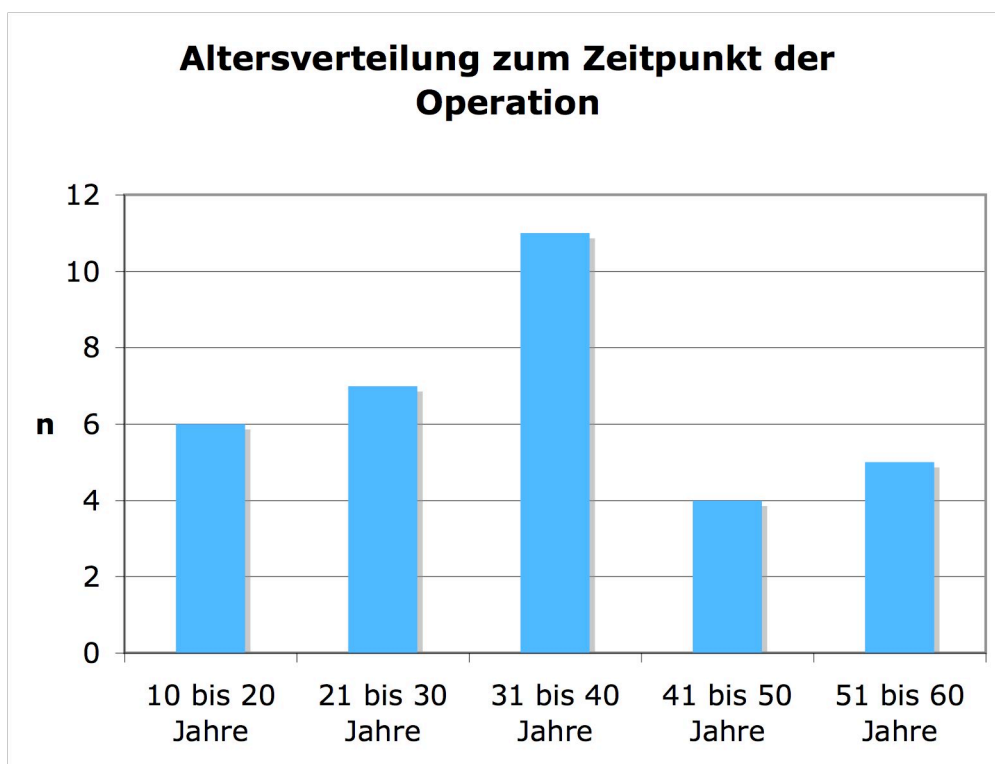
nahmen nicht an der Studie teil. Patientin Nr. 7 lag auf einer Apallikerstation im Koma, Patient Nr. 25 war trotz intensiver Recherche - unter zu Hilfenahme verschiedener Einwohnermeldeämter - nicht auffindbar und Patient Nr. 31 war über frühere Nachuntersuchungen enttäuscht und deshalb nicht motivierbar.

Der Lysholm Score sowie der subjektive IKDC Kniebeurteilungsbogen (siehe Kapitel III.3.2) konnten von allen 33 Studienteilnehmern ermittelt werden. Vier Patienten (Nr. 3, 5, 29, 32) mussten aufgrund zu weiter Fahrtstrecken telefonisch evaluiert werden. 29 Patienten kamen zur Nachuntersuchung und wurden klinisch und radiologisch evaluiert. Zusätzlich war es möglich, von 16 der nachuntersuchten Patienten (Nr. 1, 2, 4, 6, 8, 12, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 28, 30, 35, 36) aktuelle MRTs anzufertigen.

III.2.3 Beschreibung der Studienteilnehmer

Unter den 33 Patienten waren 10 Frauen und 23 Männer. Das Durchschnittsalter der Frauen lag zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 44,4 Jahren (Minimum [Min] 26 Jahre, Maximum [Max] 63 Jahre, Standardabweichung [SD] 12,1 Jahre), das der Männer bei 37,9 Jahren (Min 20 Jahre, Max 64 Jahre, SD 12,4 Jahre). Geschlechtsunabhängig betrug das Alter zum Zeitpunkt der OP im Durchschnitt 34,3 Jahre (Min 15 Jahre, Max 59 Jahre, SD 12,7 Jahre). Die folgende Abbildung (Abb. 20) zeigt die Verteilung des Kollektivs auf die vorkommenden Lebensjahrzehnte.

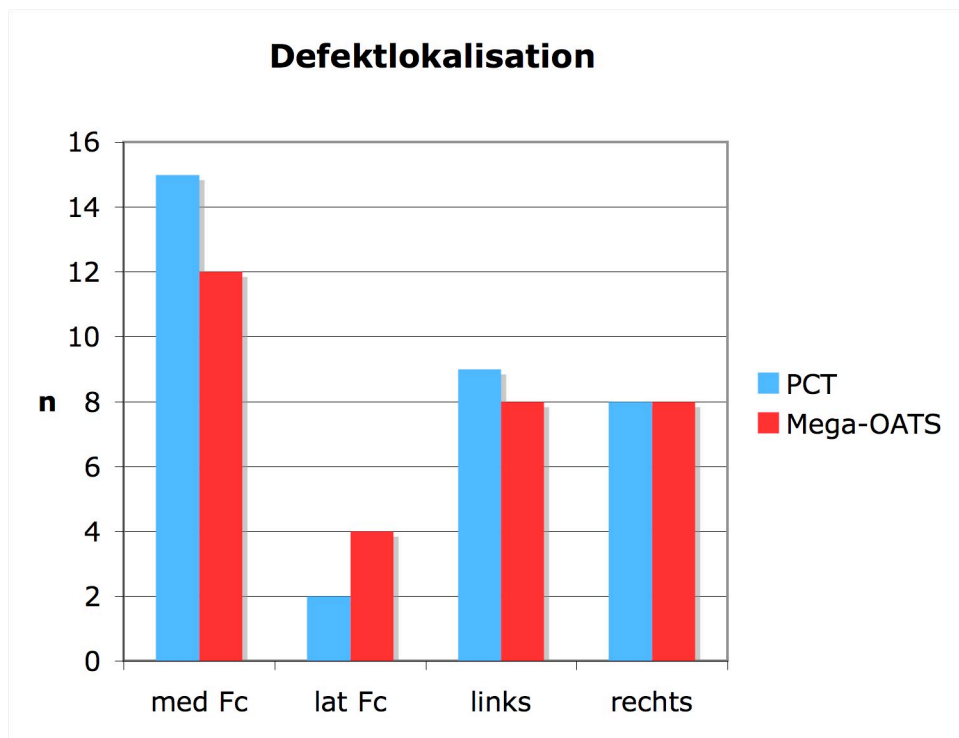
Abbildung 20: Altersverteilung zum Zeitpunkt der Operation



Bei den Frauen wurden sechs Operationen als PCT und vier Eingriffe als MegaOATS durchgeführt, bei den Männern erfolgten elf PCTs und zwölf MegaOATS. Die erste PCT am Klinikum rechts der Isar war am 05.07.1996, die letzte am 23.06.1999. Die erste MegaOATS fand am 22.07.1999 statt.

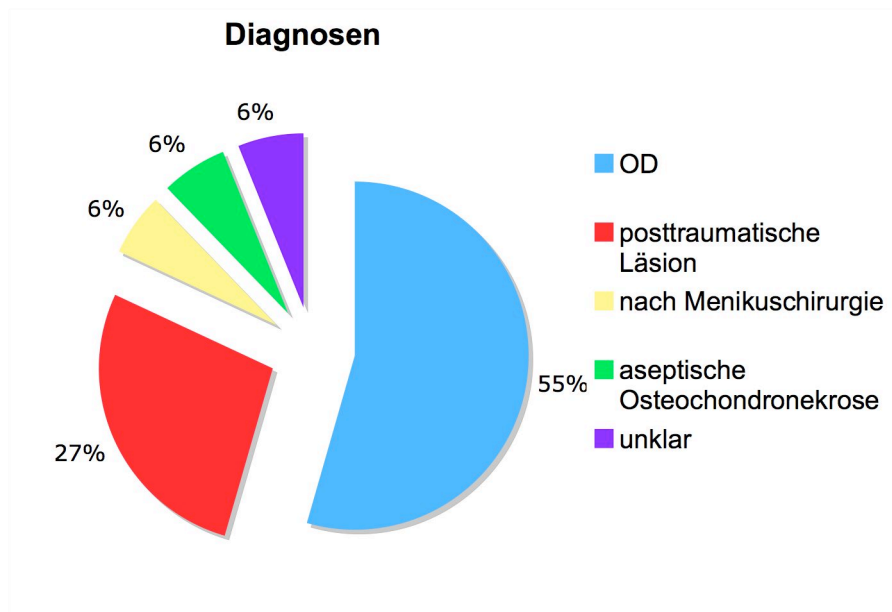
Der Nachbeobachtungszeitraum der Studienteilnehmer betrug im Durchschnitt 66,4 Monate (Min 46 Monate, Max 98 Monate, SD 13,2 Monate), das Followup der PCT Patienten war mit durchschnittlich 77 Monaten (Min 62 Monate, Max 98 Monate, SD 9,3 Monate) entsprechend länger als das der MegaOATS Patienten mit 55,2 Monaten (Min 46 Monate, Max 62 Monate, SD 4,9 Monate). Der zu behandelnde osteochondrale Defekt maß durchschnittlich 6,2 cm² (Min 2 cm², Max 10,5 cm², SD 1,8 cm²). Die Defektgröße der PCT Patienten war mit 6,9 cm² (Min 2 cm², Max 10,5 cm², SD 1,9 cm²) im Mittel größer als die der MegaOATS Patienten mit 5,3 cm² (Min 3,1 cm², Max 7,1 cm², SD 1,4 cm²). In 27 Fällen war der mediale Femurkondylus und in sechs Fällen der Laterale betroffen. Die Läsion befand sich 17mal im linken Kniegelenk und 16mal im rechten (Abb. 21).

Abbildung 21: Lokalisation der osteochondralen Läsion



Die Ursachen für die tiefgehenden und großen osteochondralen Schäden waren zu 82% die Folge eines Traumas oder einer nicht ausgeheilten Osteochondrosis dissecans (Abb. 22).

Abbildung 22: Ursache der osteochondralen Läsion



Bei den Patienten Nr. 4 und 28 war die Knorpelläsion letztendlich unklarer Genese. Nr. 4 entwickelte bereits eineinhalb Jahre nach arthroskopischer Innenmeniskus-teilresektion einen großen Schaden am medialen Femurkondylus und bei Patient Nr. 28 trat 15 Monate nach arthroskopischer Abrasionschondroplastik und Innenmeniskuschirurgie eine große osteochondrale Läsion am medialen Kondylus auf. Alle Patienten hatten eine meist längere Krankheitsgeschichte hinter sich und größtenteils unmittelbar vor der Operation erhebliche Probleme mit belastungsabhängigen Schmerzen und Schwellneigung des betroffenen Kniegelenks. Insgesamt 24 Patienten und damit 72,73 Prozent waren zum Teil mehrfach voroperiert (Abb. 23 und 24). Im Durchschnitt ergibt dies 1,5 Voroperationen pro Patient (Min 0 Voroperationen, Max 6 Voroperationen, SD 1,4 Voroperationen).

Abbildung 23: Patienten mit Knieoperationen vor dem Kondylentransfer

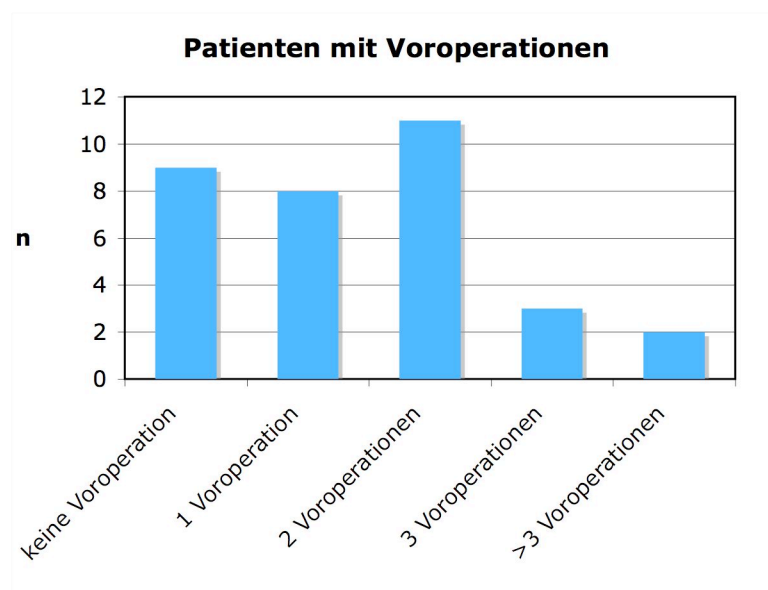
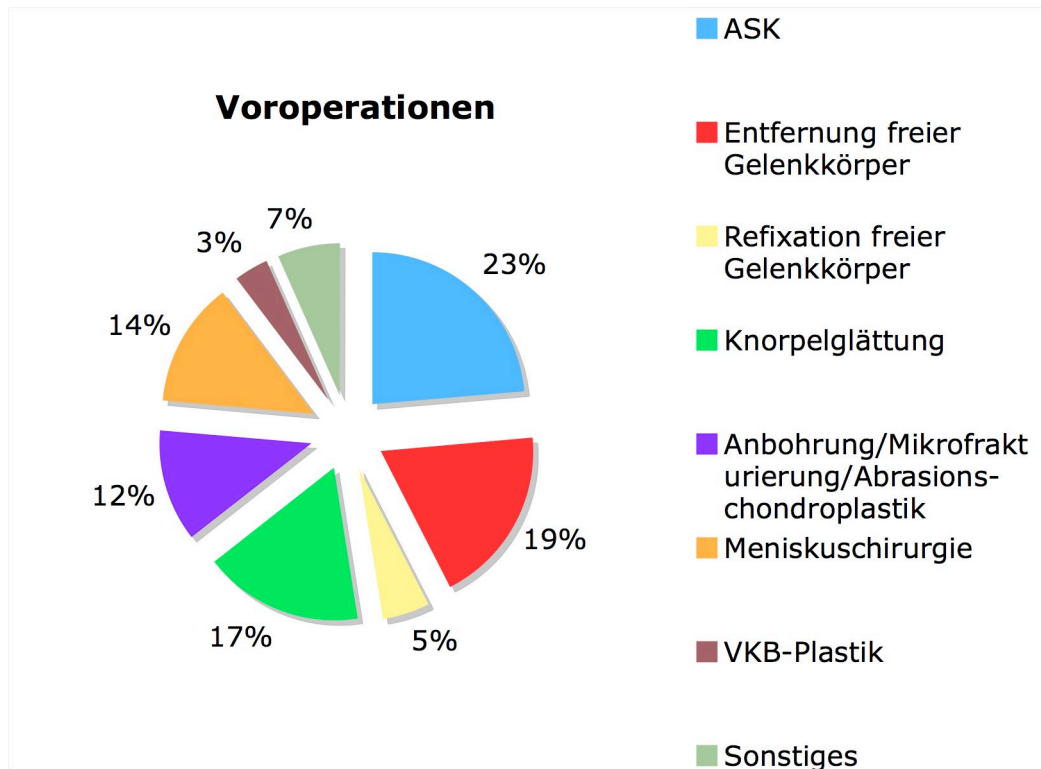


Abbildung 24: Art der Voroperationen vor dem Kondylentransfer



Neben dem Transfer des posterioren Femurkondylus fanden in 29 Fällen Zusatzeingriffe statt (Tab. 3 und 4).

Bei 15 Patienten wurde eine valgisierende Tibiakopfumstellungsosteotomie (HTO) zur Korrektur einer pathologischen Beinachse und zur Transplantatentlastung durchgeführt (Nr. 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 19, 21, 23, 28, 29, 32, 33, 35). In acht Fällen war aufgrund der Defekttiefe eine Spongiosaplastik notwendig (Nr. 2, 6, 10, 12, 16, 18, 24, 36). Zweimal waren eine Meniskus chirurgie (Nr. 11, 19) und einmal eine Rekonstruktion des Vorderen Kreuzbandes (Nr. 11) indiziert und wurden durchgeführt. In vier Fällen (Nr. 1, 8, 17, 34) erfolgte die Korrektur eines Malalignements oder Maltrackings der Patella. Zur Deckung weiterer osteochondraler Defekte im Kniegelenk mussten in sieben Fällen OATS Zylinder transplantiert werden [einmal lateraler Femurkondylus (Nr. 3), viermal Trochlea femoris (Nr. 4, 14, 27, 28) und zweimal Patella (Nr. 17, 26)]. Ein Patient, der sowohl am linken als auch am rechten Kniegelenk operiert wurde, erhielt beidseitig eine autologe Chondrozytentransplantation zur Deckung besonders großer und flächenhafter Defekte (Nr. 14, 15). Bei vier Patienten erfolgte begleitend eine Synovektomie (Nr. 15, 26, 27, 34). Patient Nr. 28 wurde ventral und dorsal des Transplantats mit einer Mikrofrakturierung behandelt und bei Patient Nr. 16 erfolgte intraoperativ eine Arthrolyse.

Die folgende Abbildung (Abb. 25) fasst die wichtigsten Kerndaten der Studienteilnehmer zusammen. Eine Übersicht über alle Patienten geben die Tabellen Nr. 3 und 4.

Abbildung 25: wichtige Kerndaten der Studienteilnehmer

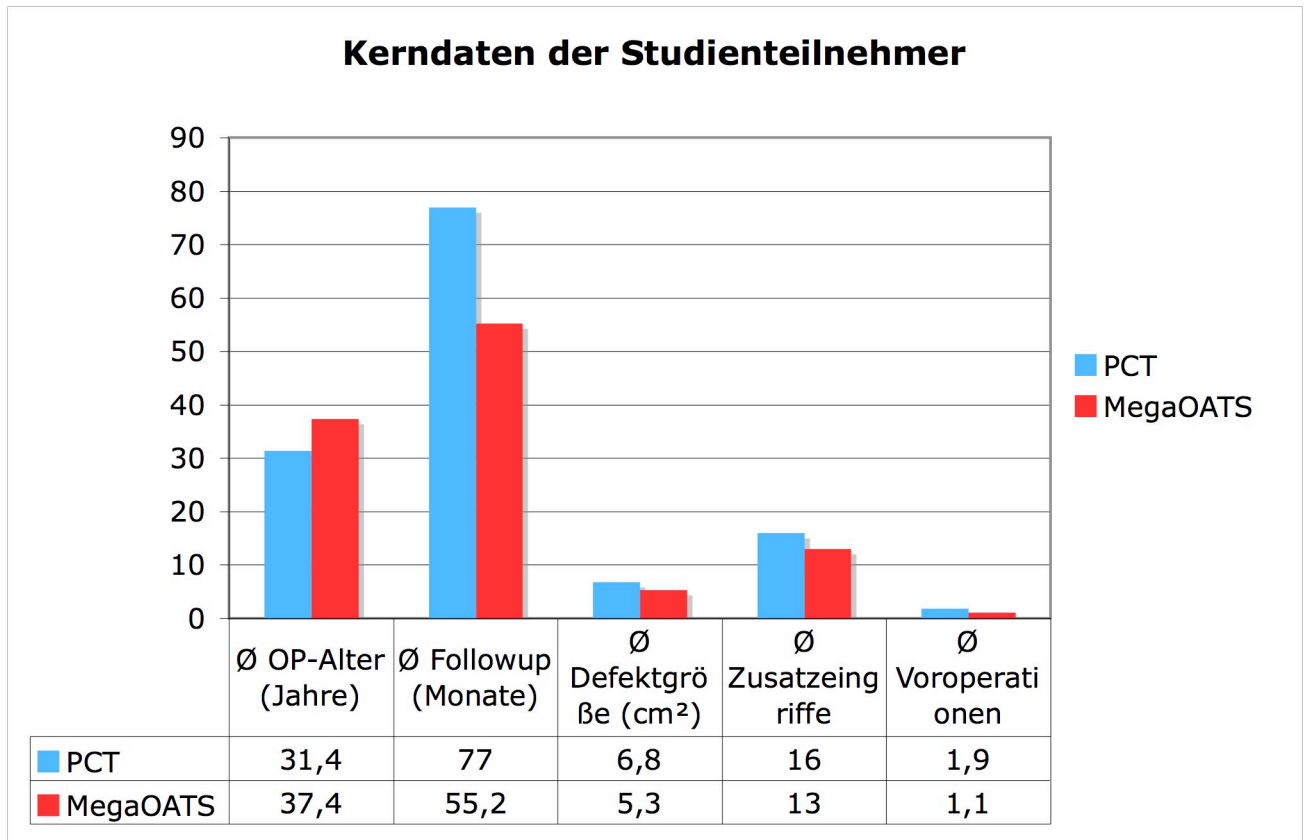


Tabelle 3: PCT Patienten

Nr.	Geschlecht, Alter bei OP [Jahre]	Ursache der osteochondralen Läsion	Defekt-lokalisierung	Defekt-größe [cm ²]	Voroperationen		Zusatzeingriffe	MRT
					Anzahl	Art		
1	w, 39	posttraumatisch	med Fc	6	2	B, C, J	d, e	ja
2	m, 21	OD	med Fc	10,5	2	F, K	a, b	ja
3	m, 28	posttraumatisch	med Fc	7,1	3	A, B, E, L,	c	nein
4	m, 38	unklar	med Fc	8	2	A, D	a, c	ja
5	m, 37	posttraumatisch	med Fc	7,1	1	A, M	a	nein
6	w, 20	OD	med Fc	7,5	2	E, F	a, b	ja
7	w, 41	unklar; multiple Voroperationen	med Fc	4	12	A, B, C, E, N, O, P, Q	c, f	nein
8	m, 21	posttraumatisch	lat Fc	2	0		f	ja
9	m, 19	OD	med Fc	8,75	2	A, B, C, D	a	nein
10	m, 18	OD	med Fc	7,1	0		a, b	nein
11	w, 32	IM Teilresektion & multiple Voroperationen	med Fc	8	6	C, D, G	a, g, h	nein
12	w, 34	OD	med Fc	9	0		b	ja
13	m, 35	aseptische Osteochondronekrose	lat Fc	7,1	5	A, B, C, D, E	i	nein
14	m, 33	OD	med Fc	7,1	2	A, B, E	c, i, j	nein
15	m, 34	OD	med Fc	7,1	1	A, B	i, j, k	nein
16	w, 56	posttraumatisch	med Fc	6	1	C, H, I,	b, l	nein
17	w, 42	posttraumatisch	med Fc	6	3	A, C, D, G	c, f	ja
18	m, 26	OD	med Fc	3,75	1	B, C, E	b	ja

A=Arthroskopie, B=Entfernung freier Gelenkkörper, C=Knorpelglättung, D=Meniskus chirurgie, E= Anbohrung/Abrasionschondroplastik/Mikrofrakturierung, F=Refixation eines Knorpelknochenfragments, G=VKB Plastik, H=Fremdkörperentfernung, I=mediale Kapselbandrekonstruktion, J=Tuberositasversetzung, K=Spongiosaplastik, L=Bursektomie, M=Meniskusglättung, N=Kapselraffung, O=Plicaresektion, P=Synoviaresektion, Q=Operation nach Roux-Blauth
a=HTO, b=Spongiosaplastik, c=OATS, d=Tuberositasrückversetzung, e=Ossikelenentfernung f=Eingriffe an der Patella zur Behebung eines Maltracking oder eines Malalignment, g=Meniskus chirurgie, h=VKB Plastik, i=Knorpelentnahme für ACI, j=ACI, k=Synovektomie, l=Arthrolyse

Tabelle 4: MegaOATS Patienten

Nr.	Geschlecht, Alter bei OP [Jahre]	Ursache der osteochondralen Läsion	Defekt- lokalisierung	Defekt- größe [cm ²]	Vorooperationen		Zusatz- eingriffe	MRT
					Anzahl	Art		
19	m, 55	OD	med Fc	7,1	0		a, g	nein
20	m, 42	AM Teilresektion	lat Fc	4,9	2	C, Q		nein
21	w, 47	OD	med Fc	4,9	0		a	ja
22	m, 17	posttraumatisch	med Fc	4,9	2	C, D, R		ja
23	m, 31	OD	med Fc	4,9	2	A, B	a	ja
24	m, 34	OD	lat Fc	4,9	0		b	ja
25	m, 31	OD	med Fc	7,1	3	B, C, E	a	nein
26	m, 59	posttraumatisch	lat Fc	3,1	0		c, k	nein
27	m, 59	posttraumatisch	lat Fc	4,9	0		c, k	nein
28	m, 44	unklar	med Fc	4,9	1	A, E, D	a, c, m	ja
29	m, 15	OD	med Fc	7,1	1	E	a	nein
30	w, 23	OD	med Fc	3,1	1	A, B		ja
31	m, 51	aseptische Osteochondronekrose	lat Fc	3,1	0		c, f	nein
32	w, 57	aseptische Osteochondronekrose	med Fc	4,9	1	D	a	nein
33	m, 28	OD	med Fc	7,1	1	A, B, C	a	nein
34	w, 40	OD	med Fc	4,9	0		f, k	nein
35	m, 28	OD	med Fc	7,1	2	B, E	a	ja
36	m, 20	OD	med Fc	7,1	3	A, F	b	ja

A=Arthroskopie, B=Entfernung freier Gelenkkörper, C=Knorpelglättung, D=Meniskus chirurgie, E=Anbohrung/Abrasionschondroplastik/Mikrofrakturierung, F=Refixation eines Knorpelknochenfragments, G=VKB Plastik, H=Fremdkörperentfernung, I=mediale Kapselbandrekonstruktion, J=Tuberositasversetzung, K=Spongiosaplastik, L=Bursektomie, M=Meniskusglättung, N=Kapselraffung, O=Plicaresektion, P=Synoviaresektion, Q=Operation nach Roux-Blauth, R=Entfernung einer Zyste, S=Knochenbiopsie

a=HTO, b=Spongiosaplastik, c=OATS, d=Tuberositasrückversetzung, e=Ossikelentfernung f= Eingriffe an der Patella zur Behebung eines Maltracking oder eines Malalignment, g=Meniskus chirurgie, h=VKB Plastik, i=Knorpelentnahme für ACL, j=ACL, k=Synovektomie, l=Arthrolyse, m=Mikrofrakturierung

III.3 Nachuntersuchung

Die Patienten wurden mit Hilfe eines dafür entwickelten Untersuchungsbogens (siehe Anhang) standardisiert nachuntersucht. Um interindividuelle Unterschiede bei der Erhebung der Befunde zu vermeiden, erfolgte die Nachuntersuchung - mit Ausnahme von drei Patienten (Nr. 2, 9, 33) - durch denselben Untersucher.

III.3.1 Anamnese

Die allgemeine Anamnese begann bereits im Telefongespräch während der ersten Kontaktaufnahme.

Eine ausführliche Anamnese fand dann zum eigentlichen Zeitpunkt der Nachuntersuchung statt. Es wurde nach postoperativen Komplikationen, der subjektiven Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis, etwaigen Schwierigkeiten im Alltag und dem allgemeinen Aktivitätsgrad bzw. der wieder erlangten Sportfähigkeit gefragt. Außerdem war das Auftreten von Schmerzen und die Einnahme bzw. Anwendung von Schmerzmitteln von Interesse und wurde dokumentiert. Das gleiche galt für Arztkonsultationen bzw. Folgeoperationen am operierten Knie.

III.3.2 Klinische Scores

Es fanden der Lysholm Score⁸³ in seiner modifizierten Form¹⁴¹ und Teile der IKDC Formblätter^{56,57} in der Version von 2000 Anwendung (siehe Anhang).

III.3.2.1 Lysholm Score

Der Lysholm Score ist ein subjektives Beurteilungssystem zur Evaluierung der Kniefunktion, der vor allem im Bereich der Knieinstabilitäten eingesetzt wird. Er findet aber auch nach knorpelchirurgischen Eingriffen Anwendung^{59,78,113,135} und wurde in der PCT Studie von 1999⁶⁴ und in den MegaOATS Veröffentlichungen von 2002^{1,24} bereits verwendet.

Der modifizierte Score umfasst die Kriterien Hinken, Gehstützen, Blockaden, Schwellung, Treppensteigen, Hockstellung, Instabilitätsgefühl und Schmerzen. Innerhalb jeder einzelnen Kategorie werden verschiedene Leistungsstufen unterschieden und entsprechend Punkte verteilt. In der Kategorie Schmerzen werden z.B. für „niemals“ 25 und für „ständig“ null Punkte vergeben.

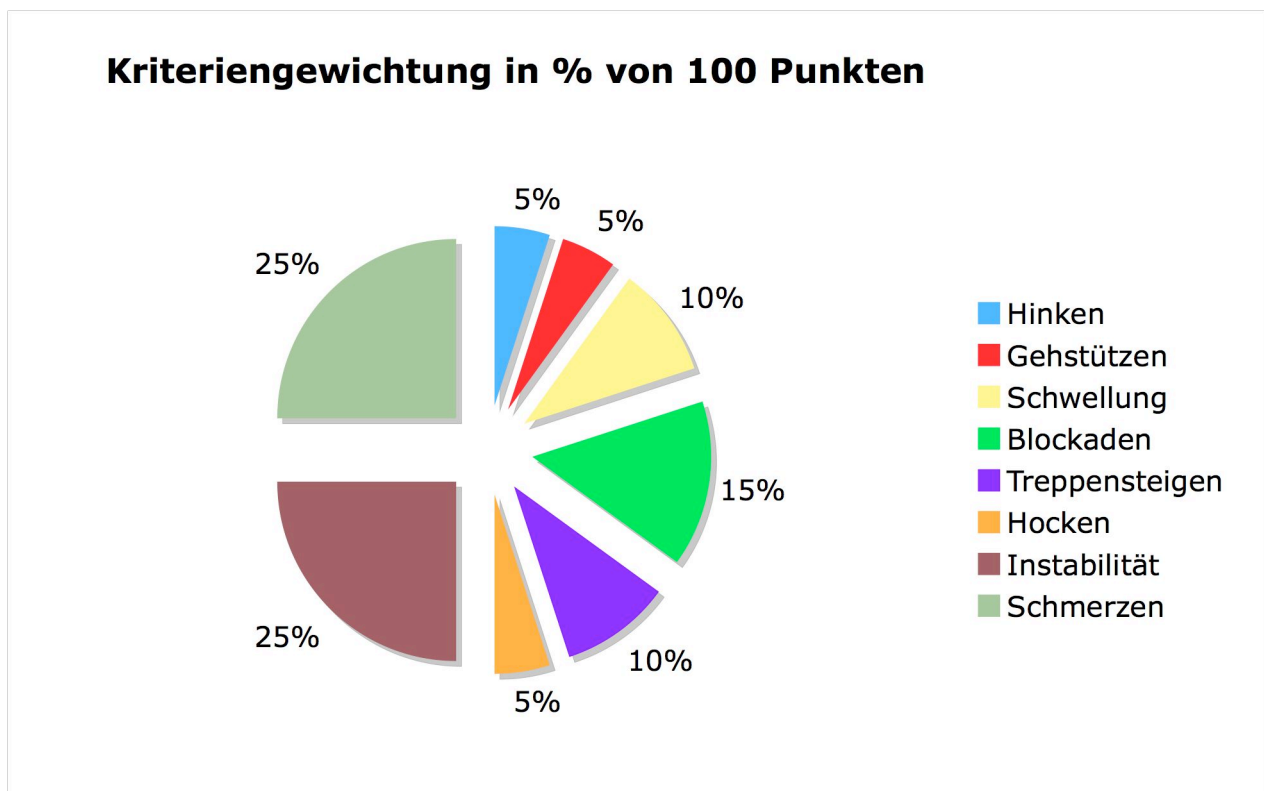
Die Auswertung des Ergebnisses erfolgt durch Addition aller in den verschiedenen Kategorien erreichten Punkte. Es ergibt sich ein Wert zwischen null und maximal

100. Je höher der Score ist, desto besser ist die Kniefunktion. Die Interpretation des Ergebnisses kann wie folgt vorgenommen werden (nach Lysholm ⁸⁴):

- ≤ 65 Pkt. „schlecht“
- 66 - 81 Pkt. „passabel“
- 82 - 92 Pkt. „passabel“ bis „gut“
- 93 - 97 Pkt. „gut“ bis „sehr gut“
- 98 - 100 Pkt. „sehr gut“

Die Maximalwerte der oben genannten Kriterien sind unterschiedlich gewichtet (z.B. fünf Punkte bei „Hinken“ und zehn bei „Treppensteigen“) und nehmen dadurch prozentual einen verschieden starken Einfluss auf das Endergebnis (Abb. 26).

Abbildung 26: Gewichtung der einzelnen Kategorien des Lysholm Scores



III.3.2.2 IKDC Formblätter

Das IKDC wurde 1987 von bekannten amerikanischen und europäischen Kniechirurgen gegründet. Im IKDC Ausschuss sind Mitglieder des Verbands der amerikanischen Sportorthopäden AOSSM, der Europäischen Kniegesellschaft ESSKA sowie der APOSSM (Asia Pacific Orthopaedic Society for Sports Medicine). Gemeinsam entwickelte man einen Dokumentationsbogen, der ähnlich dem Lysholm Score hauptsächlich zur Evaluation von Kniebandläsionen dient, aber auch im Bereich von Knorpelschäden Anwendung findet ^{22,64,106}. Der IKDC Dokumentations-

bogen in der Version von 2000 besteht aus verschiedenen Formblättern. In der vorliegenden Studie kamen das Formblatt zur Untersuchung des Knies und das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies zur Anwendung (siehe Anhang).

Formblatt zur Untersuchung des Knies

Dieser Teil berücksichtigt sowohl klinische Untersuchungsbefunde wie Erguss, Beuge-/Streckdefizit, Ligamentuntersuchung und Kompartimentbefunde, als auch aktuelle Röntgenaufnahmen und einen Funktionstest. Innerhalb jeder Kategorie wird ein Einzelergebnis vergeben, wobei A=„normal“, B=„fast normal“, C=„abnormal“ und D=„stark abnormal“ bedeutet. Das jeweils schlechteste Einzelergebnis bestimmt den Gruppengrad. So wird z.B. in der Kategorie „passives Bewegungsdefizit“ ein Beuge- und ein Streckdefizit unterschieden. Hat der Patient ein Streckdefizit von kleiner 3° , so erhält er als Einzelergebnis Grad „A“. Besitzt er aber zugleich ein Beugedefizit von $16 - 25^{\circ}$, so erhält er als zweites Einzelergebnis dieser Kategorie Grad „C“. Dadurch wird insgesamt der Gruppengrad der Kategorie „passives Bewegungsdefizit“ mit „C“ angegeben.

Bei der Gesamtbeurteilung ist wiederum der schlechteste Gruppengrad Ausschlaggebend. Hat der Patient des obigen Beispiels z.B. in allen Kategorien normale, also mit „A“ zu klassifizierende Befunde und als einziges ein Beugedefizit das mit „C“ klassifiziert wird, so erhält er als Gesamtergebnis Grad „C“.

Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies

Dieser Dokumentationsbogen berücksichtigt das Auftreten von Schmerzen, das Anschwellen und das Sperren/Schnappen des Knies. Außerdem werden Punkte wie Gangunsicherheit, sportliche Betätigung, verschiedene Alltagsaufgaben (Bsp. Treppensteigen, normal sitzen, geradeaus gehen, etc.) und die subjektive aktuelle Funktionsfähigkeit berücksichtigt.

Die Auswertung geschieht durch Umwandlung eines Rohergebnisses. Dieses wird durch Addition der Einzelergebnisse ermittelt. Für jede Antwort werden Punkte vergeben, je nach Fragentyp unterschiedlich viele. In der Frage nach Anschwellen des operierten Knies sind dies z.B. minimal ein und maximal sechs Punkte. In der Frage nach Schmerzen werden dagegen elf Punkte für niemals und ein Punkt für ständige Schmerzen vergeben. Ähnlich wie beim Lysholm Score nehmen auch hier verschiedene Fragen einen unterschiedlich starken Einfluss auf die erreichbare Anzahl an Punkten. Eine Besonderheit dieses Beurteilungsbogens ist es, dass neben der Verwendung von klassischen Multiple Choice Fragen zusätzlich Fragen mit einer

zehnstufigen Skala verwendet werden. Der Patient kann dann z.B. für die aktuelle Funktionsfähigkeit des Knies einen Wert zwischen null und zehn angeben. Er ist also nicht immer an eine vorgefertigte Antwortmöglichkeit gebunden.

Das erzielte Rohergebnis wird anschließend in eine Skala von 0 bis 100 umgewandelt.

Zur Umwandlung wird folgende Formel verwendet:

$$\text{IKDC-Ergebnis} = \frac{\text{Rohergebnis} - \text{Niedrigstmögliche Punktzahl}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100$$

Die niedrigstmögliche Punktzahl ist 18 und der Bereich möglicher Punktzahlen beträgt 87.

Das so umgewandelte Ergebnis kann als Maßstab für die Funktionsfähigkeit des Knies verwendet werden, wobei eine höhere Punktzahl für eine bessere Funktionsfähigkeit steht. Das maximal erreichbare IKDC-Ergebnis von 100 bedeutet, dass sowohl im Alltag als auch während sportlicher Betätigung keinerlei Symptome auftreten und keine Einschränkungen bestehen.

Das IKDC Ergebnis kann auch berechnet werden wenn Daten fehlen, sofern mindestens 90 Prozent der Fragen beantwortet wurden. Zur Berechnung des Rohergebnisses werden alle vorhandenen Einzelergebnisse addiert und anstelle der fehlenden Einzelergebnisse wird der Durchschnittswert aller beantworteten Fragen verwendet. Das so errechnete Rohergebnis wird wie oben beschrieben transformiert.

III.3.3 Spezielle klinische Untersuchung

Die spezielle klinische Untersuchung - als Ergänzung zum IKDC Untersuchungsbogen - diente im Wesentlichen der Beantwortung folgender Fragen:

- Besteht der Verdacht auf eine Meniskusschädigung auf der Seite des entnommenen Kondylus?
- Ist das operierte Kniegelenk im Vergleich zur Gegenseite instabiler?
- Ist der Bewegungsumfang eingeschränkt?
- Bestehen Probleme beim tiefen Hocken/Gehen im Entengang?

Zur Prüfung von Meniskuszeichen wurden die Tests nach Steinmann und Payr durchgeführt und zur Beurteilung einer möglichen Instabilität kamen der vordere und hintere Schubladentest, der Lachman- und Pivot shift Test sowie Valgus- und Varusstress zur Anwendung. Die Dokumentation des Bewegungsumfanges erfolgte gemäß der Neutral Null Methode.

III.4 Bildgebende Verfahren

III.4.1 Röntgenuntersuchung

Die Kniegelenke aller Patienten, die sich zur Nachuntersuchung vorstellten, wurden in drei Ebenen geröntgt. Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte nach Abschluss der klinischen Untersuchungen unter Einbezug aller verfügbaren Voraufnahmen (siehe Anhang).

Bei der Befundung waren vor allem zwei Punkte von Interesse:

- Beurteilung der Osteotomiekannte und des Entnahmebereichs des Spenderkondylus
- Suche nach Arthrosezeichen

Bei der Beurteilung von Osteotomiekannte und Entnahmebereich des Spenderkondylus galt es zu prüfen, ob sich die scharfe Kannte im Verlauf abrundet und ob sich röntgendichtes Gewebe im Bereich der durchgeführten Kondylektomie formiert. Bei der Arthrosebeurteilung interessierten das erstmalige Auftreten von Arthrose nach der Operation und die Progression einer bereits praeoperativ vorhandenen bzw. einer sich im Verlauf entwickelnden Gelenkdegeneration. Es fanden die Arthrosekriterien nach Jäger und Wirth¹⁵⁰ Anwendung, die vier Grade unterscheiden:

- Grad I Initiale Gonarthrose
angedeutete Ausziehungen der Eminentia intercondylaris
angedeutete Ausziehungen der gelenkseitigen Patellapole
- Grad II Mäßige Gonarthrose
Ausziehungen an den Tibiakonsolen
mäßige Verschmälerung des Gelenkspaltes
beginnende Abflachung der Femurkondylen
mäßige subchondrale Sklerosierung
- Grad III Mittelgradige Gonarthrose
häufige Verschmälerung des Gelenkspaltes
deutliche Entrundung der Femurkondylen
osteophytäre Randwulstbildung an:
 Tibiakonsolen und
 Eminentia intercondylaris und
 Innenkanten der Femurkondylen und
 gelenkseitigen Patellepolen

- ausgeprägte subchondrale Sklerosierung
- Grad IV Ausgeprägte Gonarthrose
 - ausgeprägte Gelenkdestruktion
 - deutliche Verschmälerung des Gelenkspaltes oder
 - Aufhebung des Gelenkspaltes
 - unruhige Randkontur
 - Zystische Veränderungen
 - an Tibiakopf und
 - an Femurkondylen und
 - an Patella
- Subluxationsstellung des Femurs gegenüber der Tibia

III.4.2 MRT-Untersuchung

Aus dem festgelegten Patientenkollektiv wurde eine Stichprobe gezogen, um MRTs des operierten Kniegelenks anzufertigen. Dazu wurden die ersten 15 nachuntersuchten Patienten in die Abteilung für Radiologie des Klinikums rechts der Isar einbestellt.

Alle Kernspinaufnahmen erfolgten mit demselben Gerät (Philips ACS-NT mit Intera Upgrade). Die Magnetfeldstärke betrug 1,5 Tesla. Es wurden koronare, sagittale und transversale Schnitte in einer protonengewichteten Spir (Spectral Presaturation with Inversion-Recovery = frequenzselektive Fettunterdrückung) Sequenz und sagittale und transversale Schnitte in einer Drive Impuls T1 Sequenz angefertigt. Die Schichtdicke der verwendeten Kniespule betrug 3 mm. Des Weiteren erfolgte die Anfertigung sagittaler Schnitte unter Verwendung einer C4 Spule. Die Aufnahmen erfolgten wiederum unter Verwendung einer protonengewichteten Spir Sequenz, die Schichtdicke betrug 2 mm.

Zusätzlich wurde noch ein MRT in die Auswertung miteinbezogen, das für die Studie im Krankenhaus der barmherzigen Schwestern in Linz angefertigt worden war.

Die Auswertung aller 16 MRTs erfolgte - wie die der Röntgenbilder - nach Abschluss der Nachuntersuchungen in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Radiologie am Klinikum rechts der Isar. Um bei der Analyse der Aufnahmen standardisiert vorgehen zu können, wurde ein eigenes MRT-Protokoll erstellt (siehe Anhang). Bei der Beurteilung der Bilder kam es auf folgende Punkte an:

- Vitalität und Knorpelverhältnisse des transplantierten Zylinders
- subchondraler Knochen im Bereich des Transplantats
- Knorpel und subchondraler Knochen des restlichen Kniegelenks
- Anzeichen für Meniskusläsionen
- Auffüllung des Spenderbereichs

III.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Microsoft Word und Excel 2004 sowie SPSS für Apple Macintosh in der Version 11.0.3.

Um Zusammenhänge zwischen zwei ordinal skalierten Variablen zu untersuchen, fand der Korrelationskoeffizient nach Spearman Anwendung. Zur Testung auf Signifikanz diente der Wilcoxon Test für verbundene bzw. für unverbundene Stichproben.

Das Signifikanzniveau α war bei allen Tests mit $p < 0,05$ vorgegeben.

IV Ergebnisse

IV.1 Ergebnisse nach Kondylentransfer

Zunächst werden die Ergebnisse beider Operationsverfahren gemeinsam präsentiert. Im Gliederungspunkt IV.2 folgt ein Vergleich von PCT und MegaOATS. Eine gemeinsame Betrachtung erscheint sinnvoll, da das Operationsergebnis in beiden Fällen der transferierte posteriore Femurkondylus ist. Das MegaOATS Verfahren ist eine Optimierung, aber keine grundlegende Veränderung der Operationstechnik.

IV.1.1 Anamnese

IV.1.1.1 Postoperative Komplikationen

In insgesamt drei Fällen traten postoperativ Komplikationen auf. Alle heilten folgenlos aus.

Patient Nr. 1 entwickelte fünf Wochen postoperativ eine Muskelvenenthrombose am rechten proximalen dorsalen Unterschenkel, die durch Kompression und vorübergehende Marcumarisierung behandelt wurde. Patient Nr. 18 stürzte zwei Wochen nach der Operation auf das operierte Knie. Es bildete sich ein Kniegelenkserguss, der punktiert werden musste. Bei Patient Nr. 24 trat vier Wochen nach MegaOATS eine Infektion des distalen Wundrandes auf. Diese wurde antibiotisch und durch Stichinzision therapiert.

IV.1.1.2 Arztkonsultationen

Elf Patienten suchten außerhalb der im Rahmen der Nachsorge vorgesehenen Kontrolluntersuchungen einen Orthopäden auf. Patient Nr. 36 war in zwei Autounfälle verwickelt. Zehn Monate nach dem Kondylentransfer wurde er von einem Auto am operierten Knie angefahren und es galt die Transplantatvitalität im MRT zu überprüfen. 2,5 Jahre nach MegaOATS kam es bei einem Auffahrunfall zum Zusammenstoß von Knie und Armaturenbrett. Im Röntgenbild zeigten sich unauffällige knöcherne Verhältnisse, klinisch bestand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ein Streckdefizit im operierten Kniegelenk von 15°.

Fünf Patienten (Nr. 11, 13, 19, 22, 23,) ersuchten wegen intermittierend auftretender Schmerzen ärztlichen Rat. Weitere fünf Patienten (Nr. 1, 10, 8, 32, 34) mussten sich einer nochmaligen Operation unterziehen (siehe Kapitel IV.1.1.3).

IV.1.1.3 Folgeoperationen

Im Folgenden werden alle außerplanmäßigen operativen Eingriffe nach dem Kondylentransfer aufgeführt. Geplante Operationen zur Metallentfernung werden hier nicht erwähnt.

Fünf Patienten mussten im Followup Zeitraum ein weiteres Mal operiert werden, einer davon zweimal:

- Bei Patient Nr. 1 kam es zwei Jahre und vier Monate nach dem Kondylentransfer zu einer lokalen Osteonekrose der Trochlea femoris und zu einer Aufweichung des Knorpels im Zentrum des Transplantats. Beide Defekte konnten durch jeweils zwei 7 mm OATS Zylinder (aus dem proximalen lateralen Femurkondylus) gedeckt werden. Begleitend wurde peripatellär eine hypertrophe Synovialis entfernt.

Den Zeitraum zwischen dem Kondylentransfer und der OATS beschrieb der Patient als beschwerdefrei. Es sei ein hoher Grad an Aktivität (Bsp. Tennis spielen) wieder erlangt worden.

Neun Monate nach der ersten Folgeoperation war ein weiterer operativer Eingriff notwendig. Es bestanden auf physikalische Therapie resistente Beschwerden im medialen Kniegelenkskompartiment und ein Beugedefizit von ca. 30 Grad. Es folgte die Durchtrennung einer intraartikulären Vernarbung und die Teilresektion eines horizontalen Innenmeniskuslappenrisses. Der mediale Meniskus war bereits vor dem posterioren Kondylentransfer im MRT als degeneriert beschrieben worden.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung traten nur unregelmäßig geringe Schmerzen bei schwerer Anstrengung auf. Der Patient war im Stande Tennis zu spielen, gemäßigigt Alpinski zu fahren und regelmäßig am Fitnessstraining teilzunehmen. Es bestand ein Beugedefizit von 10°.

- Bei Patient Nr. 10 wurden 5,5 Jahre post PCT drei OATS Zylinder transferiert (2 x 11 mm und 1 x 9 mm aus dem proximalen lateralen Femurkondylus in den medialen Femurkondylus dorsal des Transplantats). In gleicher Sitzung erfolgten eine Arthrolyse und eine Teilsynovektomie. Der Patient hatte während der fünf Jahre nach dem Kondylentransfer intensiv Sport (Joggen, Beach Volleyball, etc.) betrieben. Er entwickelte dorsal des Transplantats eine 2 x 2 cm große Knorpelläsion Grad IV, die durch die osteochondralen Zylinder gedeckt wurde. Die Synovektomie erfolgte wegen ausgeprägter Synovialitis, die Arthrolyse wegen peripatellärer, anteromedialer und anterolateraler Adhäsionen. Bei der Nachuntersuchung gab der Patient an, regelmäßig

moderaten Sport auszuüben, wobei unregelmäßig geringe Schmerzen aufgetreten sind.

- Patient Nr. 18 benötigte vier Jahre und neun Monate nach dem Kondylen-transfer eine weitere Operation. Er hatte intensiv Fußball gespielt (3x pro Woche) und einen Tag nach dem Training akute Schmerzen im Bereich des operierten Kniegelenks verspürt. Ein Trauma war nicht erinnerlich. Bei Beschwerdepersistenz folgte die Vorstellung bei einem niedergelassenen Orthopäden, der klinisch den Verdacht auf eine Innenmeniskusläsion stellte. Diese wurde arthroskopisch verifiziert und durch Teilresektion therapiert. Als Nebenbefund musste während dieser Arthroskopie ein insuffizientes vorderes Kreuzband festgestellt werden. Es erfolgte keine Kreuzbandplastik. Aktuell ist der Patient wieder gut sportfähig. Er kann regelmäßig Fußball spielen, hat dabei aber geringe Schmerzen.
- Patient Nr. 32 wurde 5 Jahre nach MegaOATS eine Kniegelenksprothese implantiert. Der Patient war mit dem Operationsergebnis nie zufrieden (siehe Kapitel IV.1.1.6) und hatte im Alltag ständig Probleme. Er war zum Zeitpunkt des Kondylentransfers 57 Jahre alt und nach Einsetzen des künstlichen Kniegelenks im Alltag nahezu beschwerdefrei.
- Bei Patient Nr. 34 trat fünf Monate nach Mega OATS eine Arthrofibrose auf. Es folgten eine arthroskopische Arthrolyse und Teilsynovektomie, die dem Patienten eine deutliche Verbesserung der Beweglichkeit brachten.

IV.1.1.4 Schmerzen

Präoperativ hatten alle Patienten Schmerzen. Diese waren größtenteils belastungsabhängig, teilweise traten sie persistierend in Ruhe oder nachts auf.

Die Schmerzsituation zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wird in Kapitel IV.1.2.1.1 behandelt.

IV.1.1.5 Sportfähigkeit

Vor dem Kniegelenksschaden:

Fast alle Patienten waren vor dem Kniegelenksschaden sportlich aktiv. Zwei betrieben Leistungssport (Nr. 2, 11) und 16 gaben an, über dreimal pro Woche Sport auszuüben. 13 übten ein bis dreimal pro Woche Sport aus und ein Patient, der an beiden Knien operiert worden war (Nr. 14, 15), berichtete, noch nie regelmäßig Sport betrieben zu haben. Kein Patient beschrieb seinen allgemeinen Aktivitätsgrad als niedrig.

Kurz vor der Operation:

Unmittelbar vor der Operation übten 29 Patienten und damit 87,9 % keinerlei Sport aus. Vier gaben an, auch bis kurz vor der Operation sportlich aktiv gewesen zu sein. Die Patienten Nr. 8 und Nr. 11 schwammen regelmäßig und fuhren 1 - 3x pro Woche Fahrrad. Patient Nr. 13 berichtete, noch am Fußballtraining der Reservemannschaft teilgenommen zu haben und Patient Nr. 30 trainierte regelmäßig auf einem Heimtrainer.

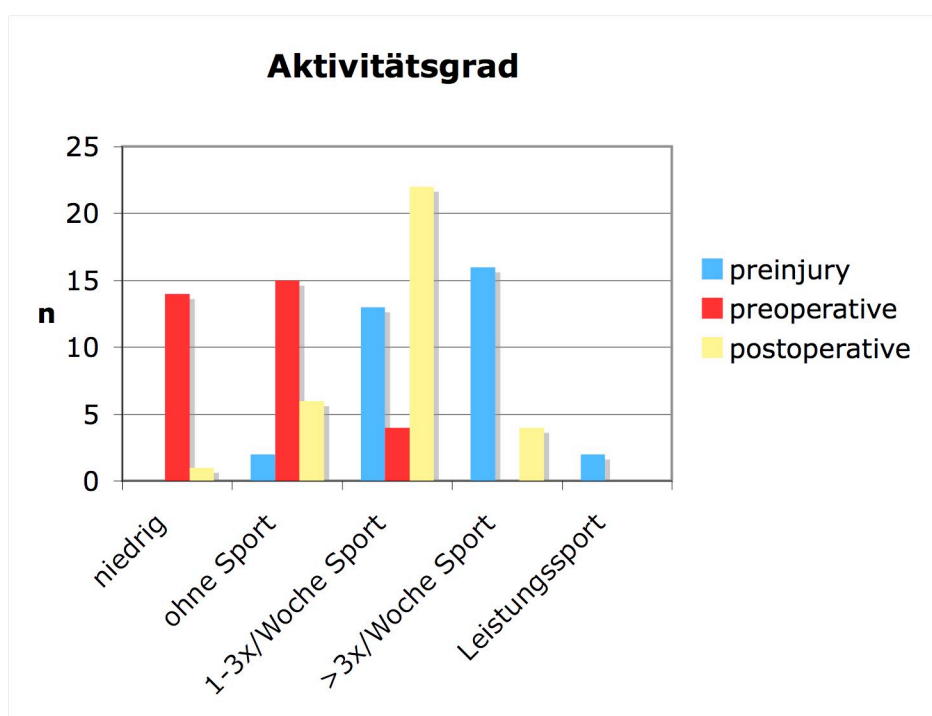
Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung:

27 Patienten waren wieder in der Lage, regelmäßig Sport zu betreiben. Fünf Patienten (Nr. 3, 9, 29, 32, 34) übten - obwohl sie dies vor dem Kniegelenksschaden regelmäßig getan hatten - keinen Sport mehr aus. Der Patient, der zuerst am rechten (Nr. 14) und später am linken Knie (Nr. 15) operiert worden war, hatte sich noch niemals sportlich betätigt. Er konnte wieder schmerzfrei spazieren gehen.

Die praktizierten Sportarten hatten sich teilweise verändert. Nach der Operation wurden Schwimmen und Radfahren als die am häufigsten praktizierten Sportarten angegeben. Knie belastende Sportarten wie Fußball, Squash oder Alpinski wurden selten ausgeübt. Das Sportverhalten hatte sich in einigen Fällen geändert. Es wurde z.B. von Joggen auf Nordic walking umgeschwenkt oder anstatt Alpinski Langlauf ausgeübt.

Die folgende Abbildung (Abb. 27) vergleicht den Aktivitätsgrad zu den Zeitpunkten „vor dem Kniegelenksschaden“ (preinjury), „kurz vor der Operation“ (preoperative) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung“ (postoperative).

Abbildung 27: Aktivitätsgrad



IV.1.1.6 Subjektive Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis

31 Patienten und damit 93,9 Prozent waren mit dem Ergebnis des Kondylentransfers sehr zufrieden und berichteten, dass sie von der Operation profitiert haben und dass sie sich in der gleichen Situation wieder operieren lassen würden. Sie gaben dabei, gemessen in Zehnerschritten auf einer Skala von 0 - 100%, eine Verbesserung der subjektiven Kniefunktion um durchschnittlich 89% (Min 70%, Max 100%, SD 10,7%) an.

Zwei Patienten (Nr. 11, Nr. 32) konnten keine Verbesserung der Kniefunktion feststellen. Sie waren mit dem Ergebnis nicht zufrieden und würden sich in der gleichen Situation nicht wieder operieren lassen.

IV.1.2 Scores

IV.1.2.1 Lysholm Score

Unter IV.1.2.1.1 werden die Ergebnisse der acht Einzelkategorien des subjektiven Lysholm Scores aufgeführt. Der praeoperative Gesamtscore wird in Kapitel IV.1.2.1.2 behandelt, der aktuelle in Kapitel IV.1.2.1.3. Eine Darstellung der Scoreentwicklung folgt in Kapitel IV.1.2.1.4.

IV.1.2.1.1 aktuelle Einzelergebnisse

Hinken

Für „kein Hinken“ wurden fünf Punkte vergeben, bei leichtem/zeitweisem Hinken drei und bei deutlichem/ständigem Hinken null Punkte.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung errechnete sich ein durchschnittlicher Punktwert von 4,67 Punkten (Min 0 Punkte, Max 5 Punkte, SD 1,01). 29 Patienten hinkten niemals, drei (Nr. 2, 11, 34) berichteten über leichtes bzw. zeitweises Hinken. Patient Nr. 32 hatte zum Zeitpunkt der Evaluation bereits eine Knieprothese (siehe Kapitel IV.1.1.3), berichtete aber retrospektiv über deutliches bzw. ständiges Hinken vor Implantation des künstlichen Gelenks.

Gehstützen

Wurden keine Gehstützen benötigt, so konnten fünf Punkte vergeben werden. Für regelmäßiges Benutzen von Gehstützen gab es drei und für die Unfähigkeit das operierte Gelenk zu belasten null Punkte.

Alle Patienten waren in der Lage das operierte Knie voll zu belasten und nicht auf Gehstützen angewiesen. Jeder Studienteilnehmer erhielt fünf Punkte.

Blockaden

Traten keine Blockaden und auch kein Gefühl der Einklemmung auf, so wurden 15 Punkte vergeben. Bestanden keine Blockaden, aber das Gefühl von Einklemmung (Pseudoblockaden), so gab es zehn Punkte. Bei gelegentlichen Blockierungen wurden sechs Punkte, bei häufigen zwei und bei einem zum Zeitpunkt der Untersuchung blockierten Gelenk null Punkte vergeben.

Die Berechnung des Mittelwertes ergab 14,12 Punkte (Min 6 Punkte, Max 15 Punkte, SD 2,17 Punkte). 28 Patienten berichteten, keine Blockaden und auch kein Gefühl der Einklemmung zu haben. Vier Patienten (Nr. 4, 17, 20, 30) verspürten gelegentlich Pseudoblockaden und Patient Nr. 11 hatte gelegentliche Blockierungen.

Instabilität

Trat kein Instabilitätsgefühl (giving way) auf, so wurden 25 Punkte vergeben. Bei seltenem „giving way“ während des Sports oder anderen schweren Anstrengungen gab es 20 Punkte. Häufiges Instabilitätsgefühl während des Sports wurde mit 15 Punkten bewertet und bei gelegentlichem „giving way“ im Alltag gab es zehn Punkte. Für häufiges „giving way“ im Alltag wurden fünf, für Instabilitätsgefühl bei jedem Schritt null Punkte vergeben.

Durchschnittlich konnten 20,76 Punkte (Min 5 Punkte, Max 25 Punkte, SD 6,05 Punkte) erzielt werden. 18 Patienten und somit 54,55 Prozent empfanden ihr operiertes Kniegelenk niemals als instabil. Neun Patienten (Nr. 3, 4, 10, 12, 22, 23, 30, 35, 36) schilderten gelegentliches Instabilitätsgefühl beim Sport. Patient Nr. 26 berichtete über häufiges „giving way“ während schweren Anstrengungen. Drei Patienten (Nr. 1, 27, 32) empfanden ihr operiertes Kniegelenk gelegentlich während alltäglichen Aktivitäten als instabil. Die Patienten Nr. 11 und Nr. 34 hatten oftmals während Tätigkeiten des Alltags ein Gefühl der Instabilität.

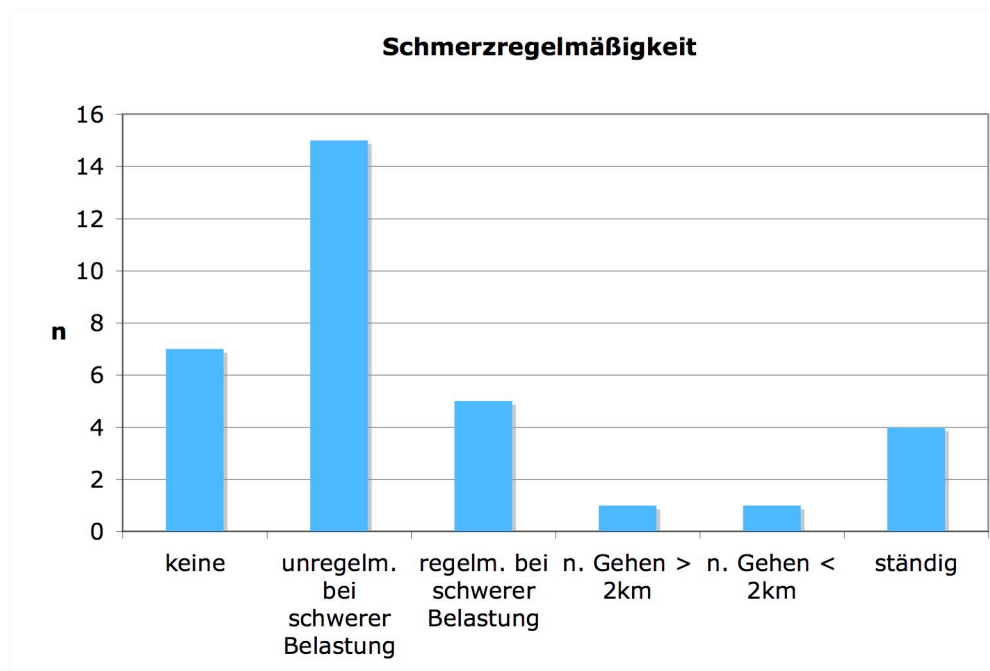
Schmerzen

Traten keine Schmerzen auf, so wurden 25 Punkte vergeben. Unregelmäßige und geringe Schmerzen bei schweren Anstrengungen wurden mit 20 Punkten bewertet und für regelmäßige und ausgeprägte Schmerzen während schwerer Anstrengung gab es 15 Punkte. Bei Schmerzen nach einer Gehstrecke von über 2 km wurden

zehn und bei einer Gehstrecke unter 2 km fünf Punkte vergeben. „Ständig Schmerzen“ entsprach null Punkten.

Durchschnittlich konnten 17,27 Punkte (Min 0 Punkte, Max 25 Punkte, SD 7,79 Punkte) erreicht werden. Sieben Patienten waren unter schwerer Belastung völlig schmerzfrei (Abb. 28). 15 Patienten berichteten, bei schwerer Anstrengung unregelmäßige und geringe Schmerzen zu verspüren. Regelmäßige und deutliche Schmerzen während schwerer Anstrengung gaben fünf Patienten an. Als Beispiele für schwere Anstrengungen wurden in der Regel Knie belastende Sportarten (Fußball, Joggen, längere Bergtouren) oder das Heben schwerer Lasten genannt. Patient Nr. 30 hatte Schmerzen bei Spaziergängen von über zwei Kilometern, Patient Nr. 11 beim Gehen von weniger als zwei Kilometern. Drei Patienten (Nr. 4, 12, 34) hatten ständig Schmerzen. Patient Nr. 32 berichtete retrospektiv, vor dem künstlichen Kniegelenk persistierende Schmerzen gehabt zu haben.

Abbildung 28: aktuelle Schmerzregelmäßigkeit



87,9 % aller Patienten verwendeten kein Schmerzmittel. Patient Nr. 12 verwendete täglich ein Schmerzgel und Patient Nr. 32 benötigte vor Implantation der Knieprothese jeden Tag ein lokales Antiphlogistikum. Zwei Patienten (Nr. 2, 13) nahmen unregelmäßig nach schwerer körperlicher Belastung Schmerzmittel ein.

Schwellung

Eine niemals auftretende Schwellung wurde mit zehn Punkten bewertet. Schwoll das operierte Knie nach besonderer Aktivität an, gab es sechs Punkte. Zwei Punkte wurden vergeben, wenn eine Kniegelenksschwellung unter alltäglicher Belastung auftrat und null Punkte gab es für ein stets geschwollenes Knie.

Durchschnittlich konnten 8,55 Punkte (Min 2 Punkte, Max 10 Punkte, SD 2,16 Punkte) erreicht werden. 22 Patienten beobachteten niemals ein Anschwellen des operierten Gelenks. Zehn Patienten berichteten über ein geschwollenes Knie nach besonders anstrengenden Aktivitäten und Patient Nr. 28 gab an, schon unter gewöhnlicher Anstrengung eine Knieschwellung zu bekommen.

Treppensteigen

„Keine Schwierigkeiten beim Treppensteigen“ entsprach 10 Punkten. Traten geringe Probleme auf gab es sechs Punkte und war das Stufensteigen nur schrittweise möglich, so blieben zwei Punkte. Null Punkte wurden vergeben, wenn Treppensteigen unmöglich war.

Es wurden durchschnittlich 7,82 Punkte (Min 2 Punkte, Max 10 Punkte, SD 2,22 Punkte) erreicht. 16 Patienten hatten keine und weitere 16 hatten geringe Probleme. Patient Nr. 32 konnte vor der Knieprothese nur schrittweise, Stufe um Stufe, eine Treppe hinauf gehen.

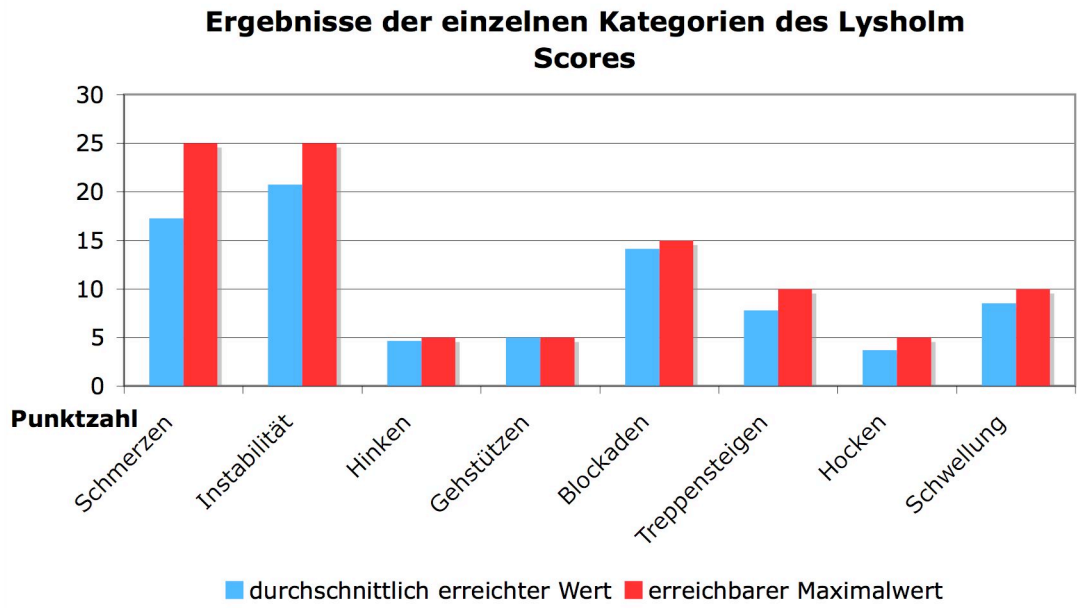
Hocken

Fünf Punkte wurden vergeben für problemloses Hocken. Traten geringe Probleme auf, gab es vier Punkte. Zwei Punkte blieben, falls eine Hockstellung nicht über 90° möglich war. Die Unfähigkeit auch nur geringfügig in die Hocke zu gehen ergab null Punkte.

Durchschnittlich wurden 3,7 Punkte (Min 0 Punkte, Max 5 Punkte, SD 1,6 Punkte) erreicht. Zwölf Patienten hatten keine und 14 hatten geringe Probleme. Drei Patienten (Nr. 4, 12, 18) waren nicht im Stande über 90° zu hocken und drei Studienteilnehmer (Nr. 26, 27, 34) konnten auch nicht geringfügig in die Hocke gehen. Patient Nr. 32 berichtete, dass er vor dem künstlichen Kniegelenk nicht in die Hocke gehen konnte.

Die folgende Abbildung (Abb. 29) stellt die in den einzelnen Kategorien durchschnittlich erreichte Punktzahl dar und vergleicht sie mit den möglichen Maximalwerten.

Abbildung 29: Einzelergebnisse des Lysholm Scores zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

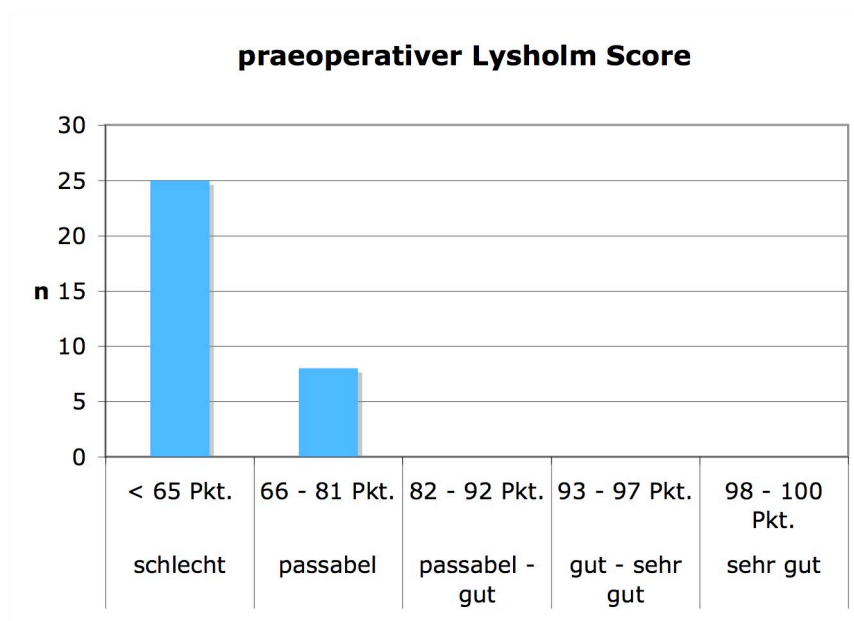


IV.1.2.1.2 Gesamtergebnis praeoperativ

Der praeoperative Lysholm Scores war größtenteils im Rahmen der MegaOATS Studie von 2002 ¹ erhoben worden. Bei sieben Patienten (Nr. 3, 4, 5, 12, 16, 18, 30) wurde der Score retrospektiv nach Aktenlage bestimmt.

Es konnten durchschnittlich 49,52 Punkte (Min 12 Punkte, Max 79 Punkte, SD 17,81 Punkte) erreicht werden. Teilt man die Ergebnisse in die in Kapitel III.2.1 festgelegten fünf Kategorien ein, ergibt sich folgendes Muster (Abb. 30):

Abbildung 30: praeoperativer Lysholm Score

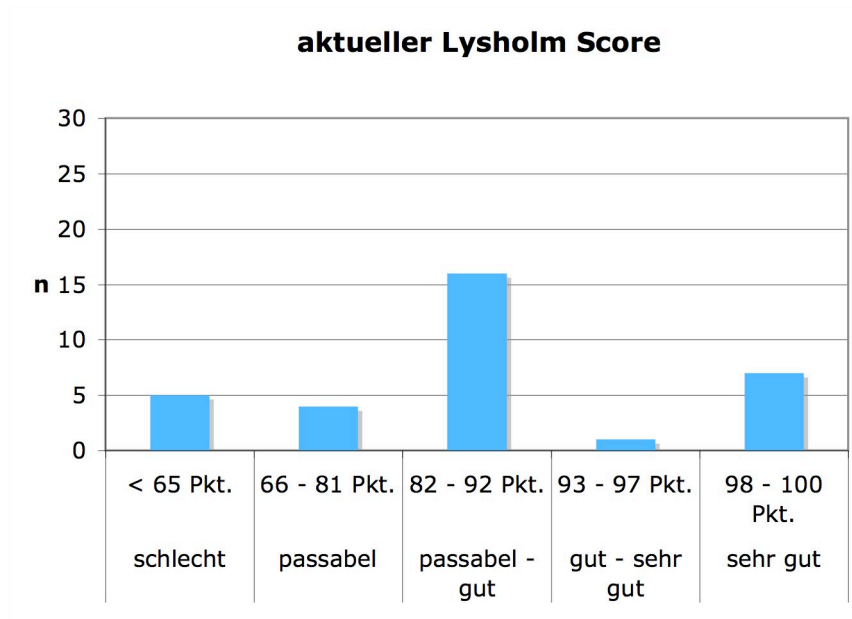


IV.1.2.1.3 Gesamtergebnis aktuell

Der Lysholm Score betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung durchschnittlich 81,88 Punkte (Min 40 Punkte, Max 100 Punkte, SD 16,77 Punkte). Das Followup der Patienten lag im Durchschnitt bei 66,4 Monaten (siehe Kapitel III.2.3).

Teilt man die Ergebnisse wiederum in die fünf Kategorien ein, so ergibt sich folgende Verteilung (Abb. 31):

Abbildung 31: aktueller Lysholm Score

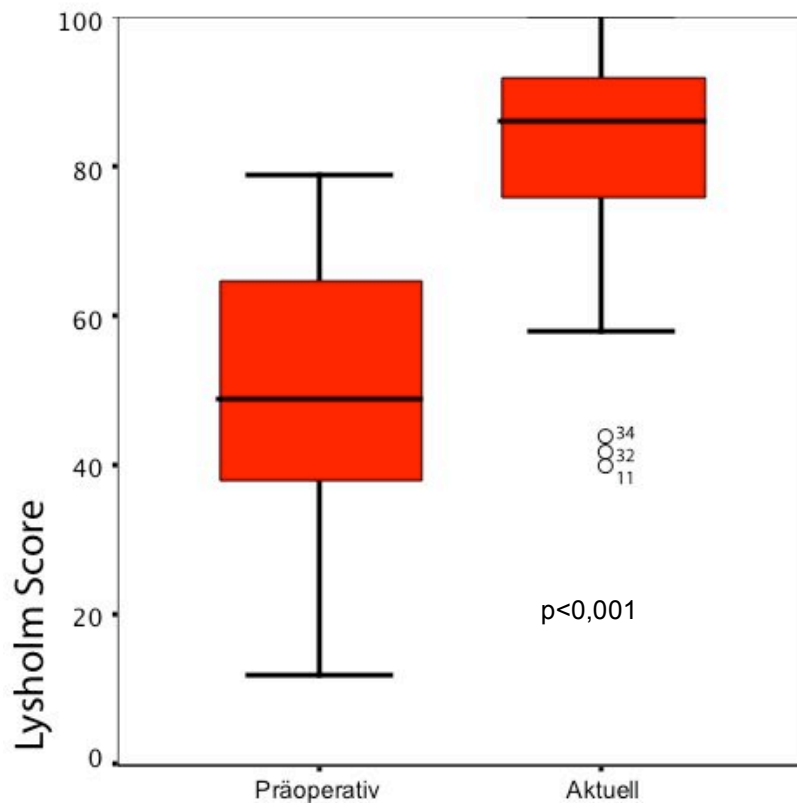


IV.1.2.1.4 Entwicklung des Scores

Um die wichtigsten statistischen Parameter des praeoperativen Scores und des aktuellen Ergebnisses übersichtlich darzustellen wird ein Boxplot Diagramm (Abb. 32) verwendet.

Die rote Box begrenzt den Bereich, in dem 50% aller Werte liegen. Die waagrechte Linie innerhalb der Box entspricht dem Median, das heißt dass sich 50% der Werte oberhalb bzw. unterhalb befinden. Die untere Begrenzung der Box stellt das erste Quartil (25%-Quantil), die obere Begrenzung das dritte Quartil (75%-Quantil) dar. Die beiden Antennen oberhalb und unterhalb der Box markieren die Minima und Maxima des Datenbereichs. Bei den mit einem kleinen Kreis gekennzeichneten Werten handelt es sich um Ausreißer. Der Abstand vom unteren bzw. oberen Rand der Box beträgt bei diesen Werten 1,5 - 3 Boxlängen.

Abbildung 32: Lysholm Score praeoperativ und aktuell



Der mediane Score verbesserte sich von 49 auf 86 (Tab. 5) und stieg damit um 37 Punkte. Dies entspricht mit $p < 0,001$ einem hoch signifikanten Anstieg.

Tabelle 5: Lysholm Score praeoperativ und aktuell

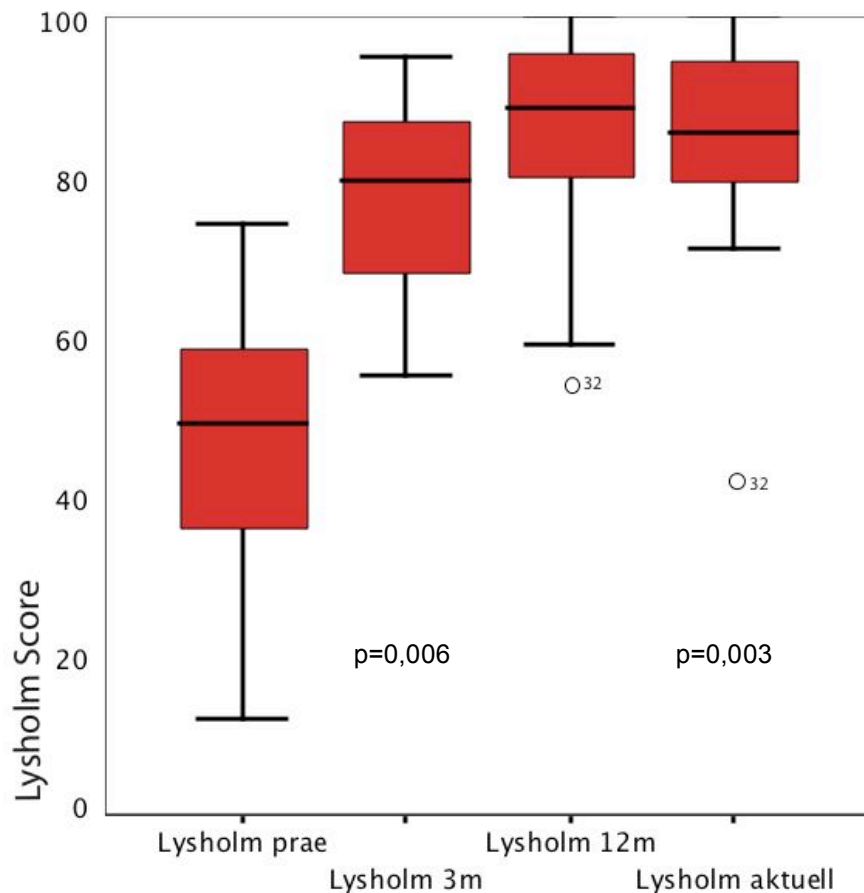
	Patienten Anzahl	Durch- schnitt	Standard- abweichung	Minimum	Maximum	Quantile		
						25%	50% (Median)	75%
Lysholm praeoperativ	33	49,52	17,805	12	79	37,50	49,00	65,00
Lysholm aktuell	33	81,88	16,772	40	100	73,50	86,00	93,00

Es verbesserten sich 32 Patienten und damit 96,97 Prozent. Der maximale Punktwertanstieg betrug 78 Punkte (Nr. 14), die minimale Scoreverbesserung lag bei vier Punkten (Nr. 28). Patient Nr. 32, bei dem der Score retrospektiv für den Zeitpunkt vor der Knieprothese erhoben wurde, verschlechterte sich um sieben Punkte.

Von zwölf Patienten (Nr. 2, 8, 10, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 24, 26, 32) war der Lysholm Score in einer früheren Untersuchung ¹ zu den Zeitpunkten drei und zwölf Monate postoperativ bestimmt worden. Das Ergebnis kann mit dem aktuellen Score verglichen werden (Abb. 33; Tab. 6). Das durchschnittliche Followup dieser zwölf

Patienten betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 74 Monate (Min 58 Monate, Max 98 Monate, SD 13,55 Monate).

Abbildung 33: Lysholm Score im Verlauf



Die Anstieg des Scores ist sowohl von praeoperativ zu drei Monate postoperativ, als auch von praeoperativ zu aktuell mit $p=0,006$ bzw. mit $p=0,003$ signifikant.

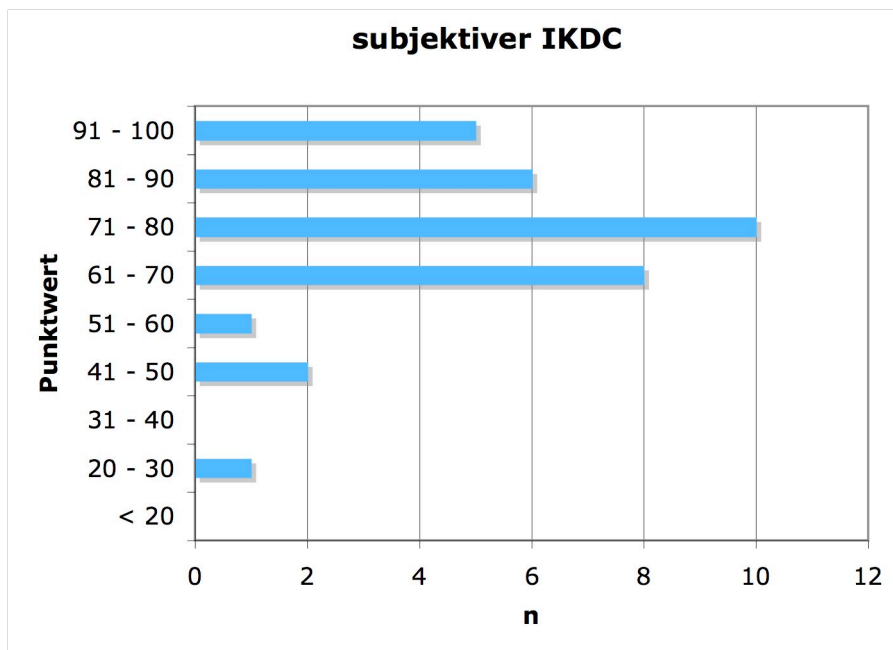
Tabelle 6: Lysholm Score im Verlauf

	Lysholm praeoperativ	Lysholm 3m postoperativ	Lysholm 12m postoperativ	Lysholm aktuell
Anzahl	12	12	12	12
Durchschnitt	46,33	77,33	84,67	83,92
Median	49,00	79,50	88,50	85,50
Standardabweichung	19,397	12,287	14,938	15,991
Minimum	12	55	54	42
Maximum	74	95	100	100

IV.1.2.2 Subjektiver IKDC Beurteilungsbogen

Es wurden durchschnittlich 74,47 (Min 28,74 Punkte, Max 98,85 Punkte, SD 15,38 Punkte) von 100 möglichen Punkten erreicht. Es ergibt sich folgendes Verteilungsmuster (Abb. 34):

Abbildung 34: Aktueller subjektiver IKDC Score

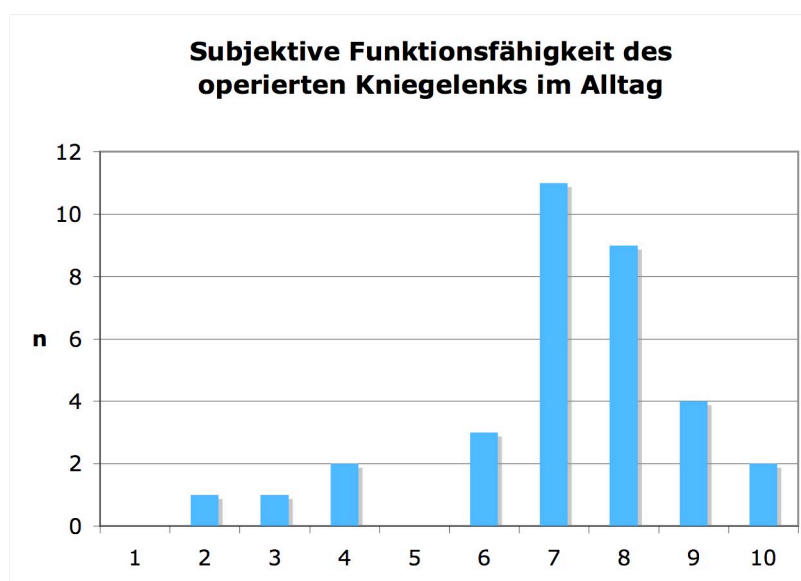


Da der subjektive IKDC Score erst in der revidierten Fassung von 2000 enthalten ist, konnte er praeoperativ nicht erhoben werden. Eine Aussage bezüglich der Score Veränderung ist daher nicht möglich.

Im Rahmen des Scores konnte die subjektive Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenks im Alltag bestimmt werden. Die Patienten sollten ihrer Kniefunktion eine Zahl von null bis zehn zuordnen. Null bedeutete die Unfähigkeit, irgendeine normale tägliche Aktivität durchzuführen und zehn entsprach einer völlig normalen, im Alltag uneingeschränkten Kniefunktion.

Die nachstehende Abbildung (Abb. 35) zeigt die Verteilung der Studienteilnehmer auf die verwendete Skala.

Abbildung 35: Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenks im Alltag



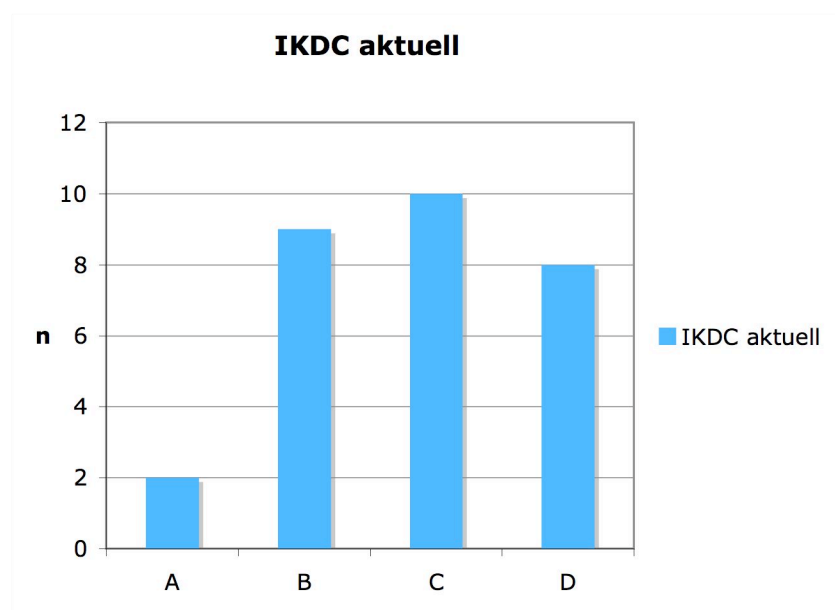
Durchschnittlich wurde die aktuelle Kniefunktion im Alltag mit 7,2 Punkten (Min 2 Punkte, Max 10 Punkte, SD 1,8 Punkte) bewertet.

Schwierigkeiten im Alltag, so berichteten 16 Patienten, bestehen beim Treppensteigen. Dabei handelt es sich um geringe Probleme, die teilweise durch das Auftreten leichter Schmerzen oder durch ein Instabilitätsgefühl gekennzeichnet sind. Patient Nr. 32 bewertete retrospektiv die Kniefunktion vor der Prothese mit zwei Punkten. Er hatte im Alltag beim Treppensteigen erhebliche Probleme (siehe Kapitel IV.1.2.1.1).

IV.1.2.3 IKDC Untersuchung

Von allen nachuntersuchten Patienten (n=29) wurde der aktuelle IKDC Score ermittelt. Eine Verteilung auf die möglichen Endgrade (A, B, C, D) wird im folgenden Diagramm (Abb. 36) dargestellt.

Abbildung 36: aktuelle IKDC Grade

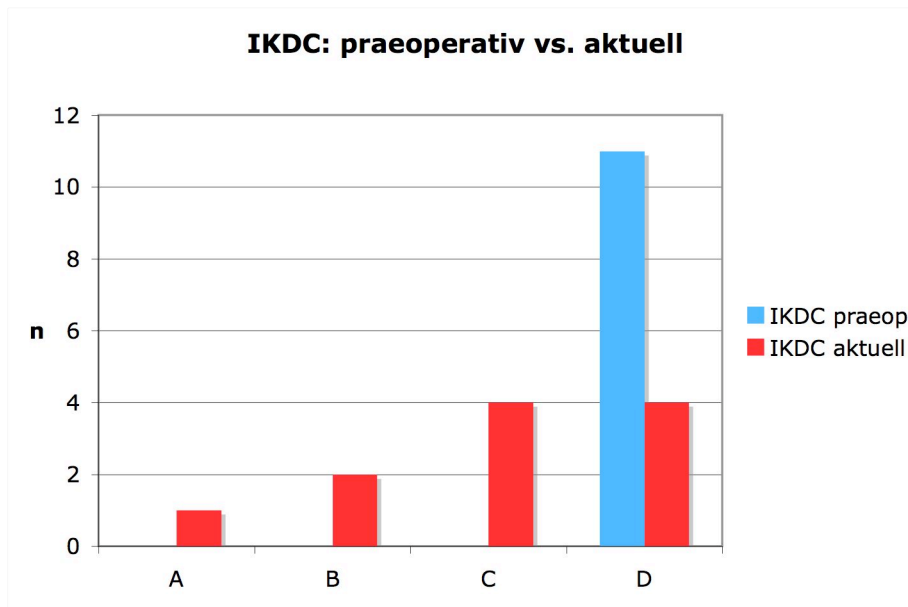


Elf Patienten erzielten sehr gute bis gute Resultate (A, B) und 18 ausreichende bis schlechte Ergebnisse (C, D). Bei der Beurteilung dieses Ergebnisses muss berücksichtigt werden, dass das jeweils schlechteste Einzelergebnis den Gruppengrad festlegt und der schlechteste Gruppengrad wiederum den Endgrad bestimmt (siehe Kapitel III.3.2.2).

Der praeoperative IKDC Untersuchungsgrad war bei zwölf PCT Patienten (Nr. 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17) bestimmt worden. Elf dieser Patienten wurden nachuntersucht, Patient Nr. 7 lag auf einer Apallikerstation im Koma und konnte nicht evaluiert werden (siehe Kapitel III.2.2).

Vor dem Kondylentransfer hatten alle Patienten den Endgrad „D“. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung hatten sich nach durchschnittlich 79,8 Monaten (Min 70 Monate, Max 98 Monate, SD 9 Monate) sieben Patienten und damit 63,64 Prozent verbessert (Abb. 37). Bei vier Patienten (Nr. 1, 11, 15, 17) hatte sich der praeoperative IKDC Grad nicht verändert.

Abbildung 37: IKDC praeoperativ und aktuell



IV.1.2.4 Spezielle klinische Untersuchung

IV.1.2.4.1 Meniskuszeichen

Kein Patient hatte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung klinische Zeichen einer Außenmeniskusläsion. Bei drei Patienten fanden sich positive Innenmeniskuszeichen auf der Seite des transferierten Kondylus.

- Bei Patient Nr. 1 waren vor dem Kondylentransfer degenerative Meniskusveränderungen im MRT beschrieben worden. Drei Jahre nach PCT war eine ambulante Innenmeniskusteilresektion durchgeführt worden (siehe Kapitel IV.1.1.3). Der Verdacht auf einen aktuellen Meniskusschaden bestätigte sich im MRT (siehe Kapitel IV.1.3.2.2).
- Patient Nr. 12 hatte 5,5 Jahre nach der Operation zunehmend Schmerzen bei der endgradigen Beugung des operierten Kniegelenks. Der Patient war bis zum Auftreten der Beschwerden ein bis dreimal pro Woche sportlich aktiv (Aerobic, Schwimmen, Radfahren), Meniskusdegenerationen waren nicht bekannt. Der Verdacht auf einen Innenmeniskusschaden bestätigte sich im MRT (siehe Kapitel IV.1.3.2.2).

- Patient Nr. 34 hatte klinisch positive Innenmeniskuszeichen. Ein Meniskus-schaden konnte im MRT nicht verifiziert werden. Die Schmerzen wurden auf einen Sturz auf das Kniegelenk, den der Patient kurz vor der Nachuntersuchung erlitten hatte zurückgeführt.

Im betrachteten Patientenkollektiv hatte somit ein Patient zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung einen kernspintomographisch belegten Innenmeniskus-schaden, der sich postoperativ entwickelt hat.

IV.1.2.4.2 Instabilität

Bei der Ausübung von Varus- und Valgusstreß zur Beurteilung der Stabilität der Kollateralbänder fand sich bei keinem Patienten ein klinisch validierbarer Unterschied zwischen operiertem und gesundem Knie.

Die Untersuchung der anterior-posterioren Translation ergab bei fünf Patienten (Nr. 11, 17, 23, 28, 36) einen einfach positiven Lachmantest mit sicherem festem Anschlag. Bei Patient Nr. 18 waren ein zweifach positiver Lachmantest, ein vorderer Schublidentest ohne sicheren festen Anschlag sowie ein positiver Pivot shift Test auffällig. Der Patient gab an, ca. 3,5 Jahre nach dem Kondylentransfer beim Beach Volleyball einen vorderen Kreuzbandriss erlitten zu haben. Im Rahmen einer später durchgeführten Arthroskopie wurde ein insuffizientes vorderes Kreuzband diagnostiziert (siehe Kapitel IV.1.1.3). Der aktuelle klinische Befund ist mit einer Partialruptur vereinbar.

Vor dem Kondylentransfer bestand bei den Patienten Nr. 18, 23, 28 und 36 keine vermehrte anterior-posteriore Translation. Die Patienten Nr. 11 und 17 hatten praeoperativ eine anteriore Instabilität. Patient Nr. 11 hatte sich knapp 10 Jahre vor der PCT das vordere Kreuzband gerissen. Es folgte eine Kreuzbandplastik, die zweimal revidiert werden musste. Patient Nr. 17 hatte gut 2 Jahre vor dem Kondylentransfer einen vorderen Kreuzbandriss erlitten, der operativ versorgt wurde.

Bei drei Patienten (Nr. 23, 28, 36) lag - ohne Kreuzbandverletzung vor oder nach dem Kondylentransfer - erstmalig zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine anteriore Instabilität vor. 23 Patienten und damit 79,3 Prozent hatten aktuell keine klinisch validierbare anteriore Instabilität im operierten Kniegelenk.

IV.1.2.4.3 Passiver Bewegungsumfang

Der Bewegungsumfang des operierten Kniegelenks wurde stets im Vergleich zum nicht operierten Knie betrachtet.

Da bei zwei Patienten an beiden Knien ein Kondylentransfer durchgeführt worden war (Nr. 14, 15, 26, 27) konnte als Bezugswert nicht der Bewegungsumfang der Gegenseite verwendet werden. Hier wurde der Durchschnittswert von Beugung und Streckung der übrigen Studienteilnehmer am nicht operierten Knie verwendet. Es ergab sich eine durchschnittliche Beugung von 138° (Min 120° , Max 150° , SD $7,6^\circ$) und eine Streckung von im Mittel 5° (Min 0° , Max 5° , SD $1,4^\circ$). In der Literatur wird ein Bewegungsumfang von 120° - $150^\circ/0^\circ/0^\circ$ - 10° (Flexion/Extension) als normal bezeichnet⁶³.

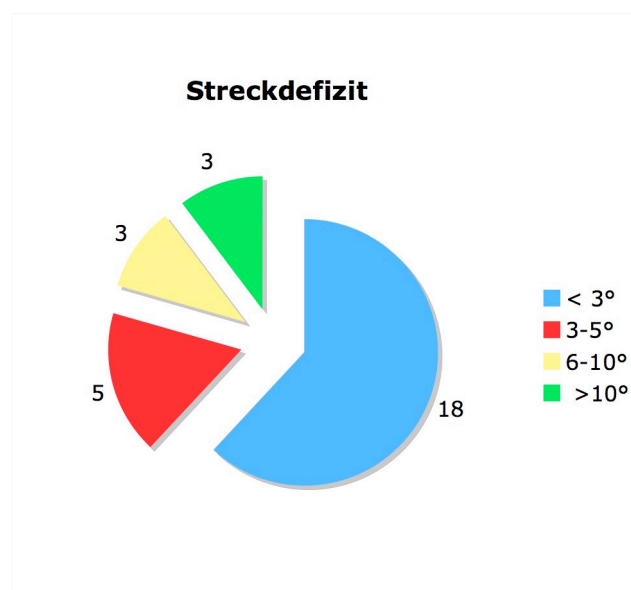
Extensionsausfall

Bei der Festlegung des Streckdefizits wurden gemäß dem IKDC Untersuchungsbogen vier Grade verwendet:

- $<3^\circ$ „normal“
- $3-5^\circ$ „fast normal“
- $6-10^\circ$ „abnormal“
- $>10^\circ$ „deutlich abnormal“

Insgesamt 11 Patienten hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung am operierten Kniegelenk ein Streckdefizit von über drei Grad (Abb. 38). Ein abnormales oder deutlich abnormales Streckdefizit konnte bei 20,7% festgestellt werden.

Abbildung 38: Streckdefizit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung



In Abbildung 38 sind alle 29 nachuntersuchten Patienten einbezogen. Von den vier telefonisch evaluierten Patienten gaben die Patienten Nr. 3, 5 und 29 an, ihr Knie-

gelenk voll durchstrecken zu können. Patient Nr. 32 berichtete, erst seit Implantation der Knieprothese die volle Streckung erreicht zu haben.

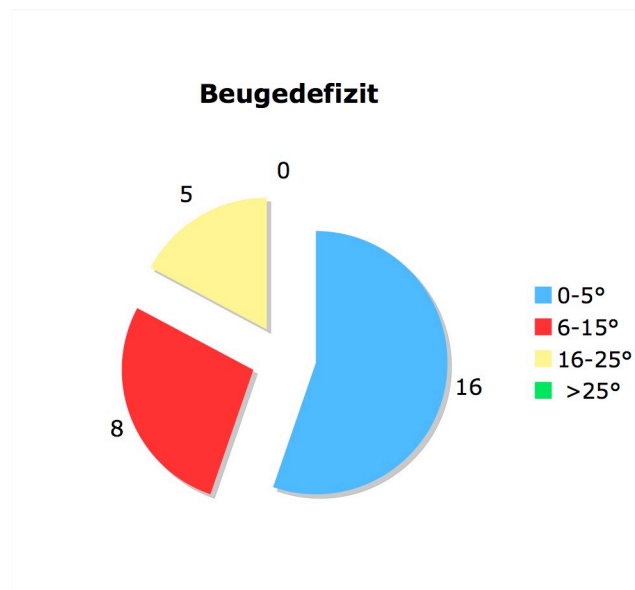
Flexionsausfall

Konnte bei der Nachuntersuchung ein Beugedefizit festgestellt werden, so erfolgte gemäß dem IKDC Untersuchungsbogen folgende Einteilung:

- 0-5° „normal“
- 6-15° „fast normal“
- 15-25° „abnormal“
- >25° „deutlich abnormal“

Bei insgesamt 13 Patienten wurde ein Flexionsausfall von über fünf Grad festgestellt (Abb. 39). 17,2% hatten ein abnormales Beugedefizit und kein Patient ein deutlich abnormales Flexionsdefizit.

Abbildung 39: Beugedefizit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung



Auch Abbildung 39 bezieht sich auf alle 29 nachuntersuchten Patienten. Drei (Nr. 3, 5, 29) der vier telefonisch Evaluierten gaben an, ihr Knie voll beugen zu können. Patient Nr. 32 berichtete, vor Implantation des künstlichen Kniegelenks ein subjektives Beugedefizit von 10° gehabt zu haben.

IV.1.2.4.4 Hocken und Entengang

Bei der Erhebung des Lysholm Scores fiel auf, dass 21 Patienten Probleme beim Hocken hatten. Die Mehrzahl dieser Patienten hatte nur geringe Probleme, drei

Patienten konnten jedoch nicht über 90° (Nr. 4, 12, 18) und weitere vier Patienten (Nr. 26, 27, 32, 34) überhaupt nicht in die Hocke gehen (siehe Kapitel IV.1.2.1.1).

Für diese sieben Patienten war auch der Entengang unmöglich. Grund dafür war ein starkes Instabilitätsgefühl oder Schmerzen. Patient Nr. 1 hatte nur geringe Probleme beim Hocken, war aber nicht im Stande im Entengang zu gehen. Er hatte beim Versuch starke Schmerzen und musste abbrechen. Bei diesem Patienten war eine Innenmeniskusläsion bei Zustand nach Innenmeniskusteilresektion diagnostiziert worden (siehe Kapitel IV.1.2.4.1).

Für neun Patienten stellte der Entengang eine mögliche, aber nicht problemlose Aufgabe dar. Sie konnten den Versuch nur unter Schmerzen oder Instabilitätsgefühl durchführen.

IV.1.3 Bildgebende Verfahren

IV.1.3.1 Röntgenuntersuchung

Insgesamt wurden 92 Röntgenbilder von 29 Patienten ausgewertet. Im Durchschnitt konnten von jedem Patienten 3,17 Bilder (Min 2 Bilder, Max 6 Bilder, SD 0,95 Bilder) beurteilt werden.

IV.1.3.1.1 Entnahmebereich des posterioren Femurkondylus

Durch die Entnahme des posterioren Femurkondylus mittels Meißel-Osteotomie entsteht eine scharfe Abschlagkante (Abb. 40), die in allen kurz nach der Operation angefertigten Röntgenbildern zu sehen war.

Die Betrachtung der Bilder im Verlauf zeigte, dass sich bei 24 Patienten und damit 82,8 Prozent die Abschlagkante abgerundet hatte. Der Spenderbereich hat sich mit röntgendichtem Gewebe aufgefüllt. Hinsichtlich Form und Größe der Defektauffüllung kann diese zum Teil als Remodellierung der entnommenen Kondyle gewertet werden (Abb. 41).

Die beiden folgenden Röntgenbilder (Abb. 40 und 41) stammen von Patient Nr. 18 und wurden am 15.12.1997 (Abb. 40) bzw. am 26.08.2004 (Abb. 41) aufgenommen. Den praeoperativen Röntgenbefund zeigt Abb. 9 in Kapitel III.1.1. Der Kondylen-transfer fand am 28.10.1997 statt.

Abbildung 40: scharfe Abschlagkante (Patient Nr. 18; zwei Monate postoperativ)

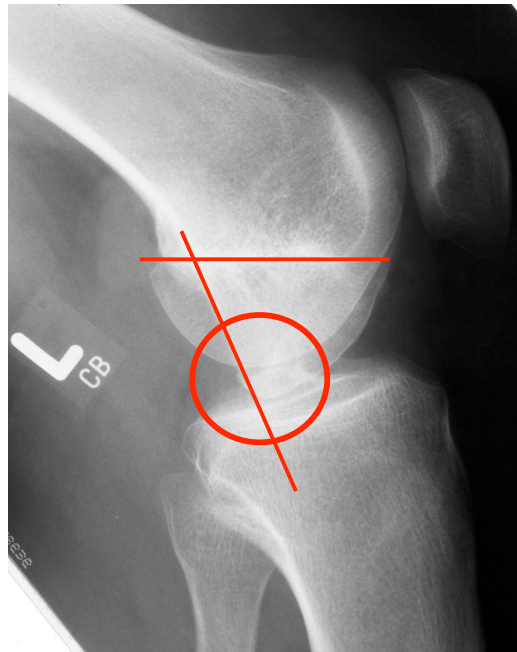


Abbildung 41: Defektauffüllung (Patient Nr. 18; 82 Monate postoperativ)



Bei fünf Patienten (Nr. 13, 19, 22, 28, 34) war nach durchschnittlich 57,2 Monaten (Min. 49 Monate, Max 82 Monate, SD 12,6 Monate) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung keine Defektauffüllung nachweisbar. Vier dieser Patienten hatten nach wie vor eine deutlich abzugrenzende Abschlagkante im Röntgenbild. Bei Patient Nr. 22 war lediglich eine leichte Abrundung der Kante zu erkennen (Abb. 42).

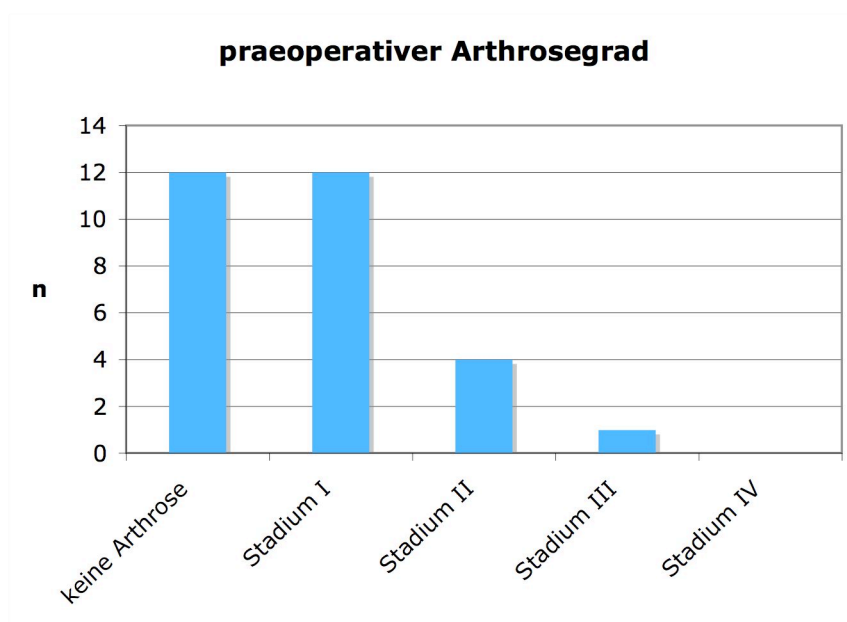
Abbildung 42: leichte Abrundung der Abschlagkante (Patient Nr. 22; 49 Monate postoperativ)



IV.1.3.1.2 Arthrosezeichen

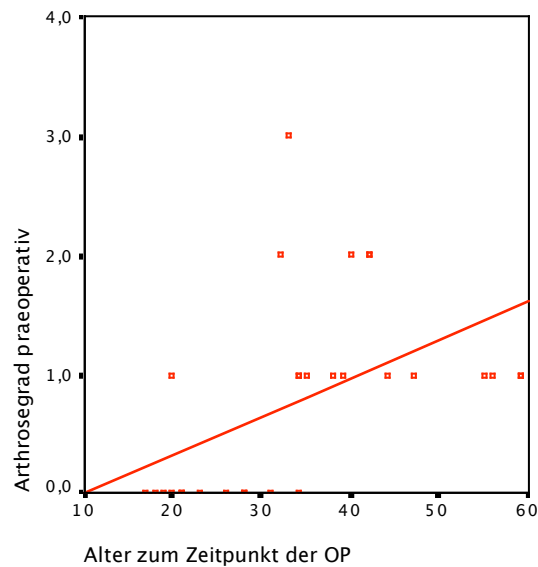
Praeoperativ hatten 41,4% der Patienten keine radiologischen Arthrosezeichen im operierten Knie (Abb. 43).

Abbildung 43: praeoperativer Arthrosegrad nach Jäger und Wirth



Eine signifikant positive Korrelation besteht zwischen dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation und dem praeoperativen Arthrosegrad ($p < 0,001$). Das folgende Streudiagramm (Abb. 44) veranschaulicht diesen Zusammenhang.

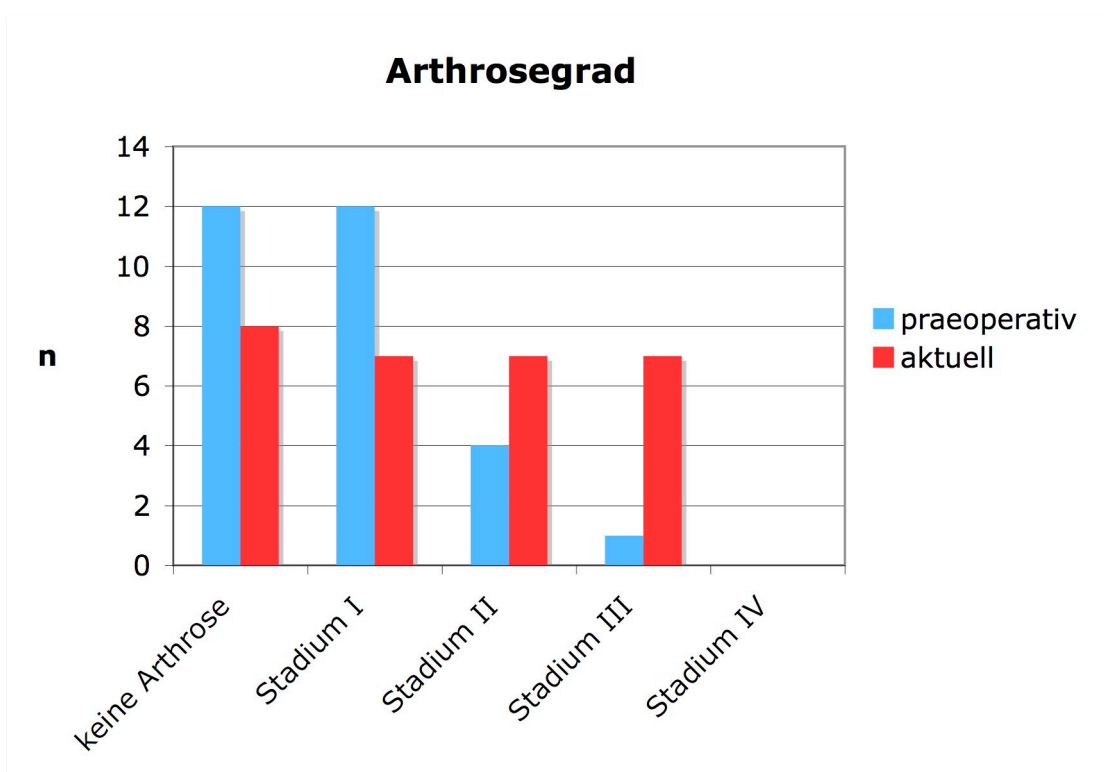
Abbildung 44: praeoperativer Arthroseggrad und Alter



Die Anzahl der Voroperationen oder die Defektgröße sind mit dem Arthroseggrad vor der Operation nicht signifikant positiv korreliert ($p=0,422$ bzw. $p=0,734$).

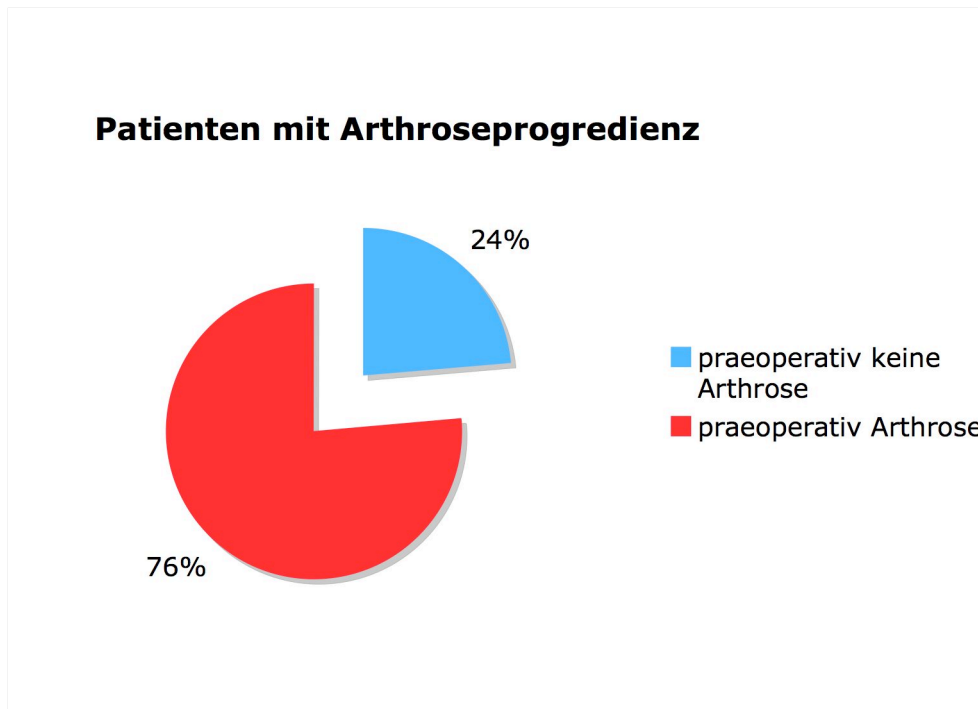
Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren 27,6% der Patienten ohne radiologische Arthrosezeichen im operierten Knie (Abb. 45). Auch hier korreliert das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung und der aktuelle Arthroseggrad positiv ($p<0,001$).

Abbildung 45: Arthroseggrad praeoperativ und aktuell



Bei 12 Patienten (41,4%) hat sich der praeoperativ erhobene Arthrosegrad bis zur Nachuntersuchung nicht verändert. In 17 Fällen (58,6%) ist eine Arthroseprogredienz zu beobachten (Abb. 46). Bei 13 von 17 Patienten mit praeoperativer Arthrose schritt die Gelenkdegeneration fort. Vier Patienten (Nr. 6, 10, 18, 33) entwickelten erstmalig nach dem Kondylentransfer arthrotische Veränderungen.

Abbildung 46: Patienten mit Arthroseprogredienz



15 der Patienten mit Arthroseprogredienz verschlechterten sich um einen Grad und zwei Patienten (Nr. 13, 14) um jeweils zwei Kategorien. Patient Nr. 13 hatte fünf Voroperationen vor dem Kondylentransfer. Patient Nr. 14 hatte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ein Beugedefizit von 20° und ein Streckdefizit von 15°. Beide Patienten verschlechterten sich von Grad I auf Grad III.

Die vier Patienten mit erstmalig postoperativ aufgetretener Arthrose (Nr. 6, 10, 18, 33) wurden zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung als Grad I klassifiziert. Die Patienten Nr. 10 und Nr. 18 waren im Followup Zeitraum ein weiteres Mal operiert worden. Bei Patient Nr. 10 erfolgte die Transplantation von drei OATS Zylindern, bei Patient Nr. 18 wurde der Innenmeniskus teilreseziert (siehe Kapitel IV.1.1.3). Die Patienten Nr. 6 und Nr. 33 entwickelten eine initiale Gonarthrose, ohne dass weitere Operationen nach dem Kondylentransfer stattgefunden hatten.

Die folgenden Röntgenbildersequenzen (Abb. 47 und 48) stammen von Patient Nr. 6. Die Aufnahmen in Abbildung 47 wurden kurz vor dem Kondylentransfer (links), ein Jahr (Mitte) und sechs Jahre nach der Operation (rechts) aufgenommen. Die beiden Patella Zielaufnahmen aus Abbildung 48 wurden analog zu Abbildung 47 kurz vor der Operation (links) und sechs Jahre postoperativ (rechts) aufgenommen.

Abbildung 47: Arthroseprogredienz; anterior-posteriorer Strahlengang (Patient Nr. 6; fünf Monate praeoperativ=links; 12 Monate postoperativ=Mitte; 72 Monate postoperativ=rechts)

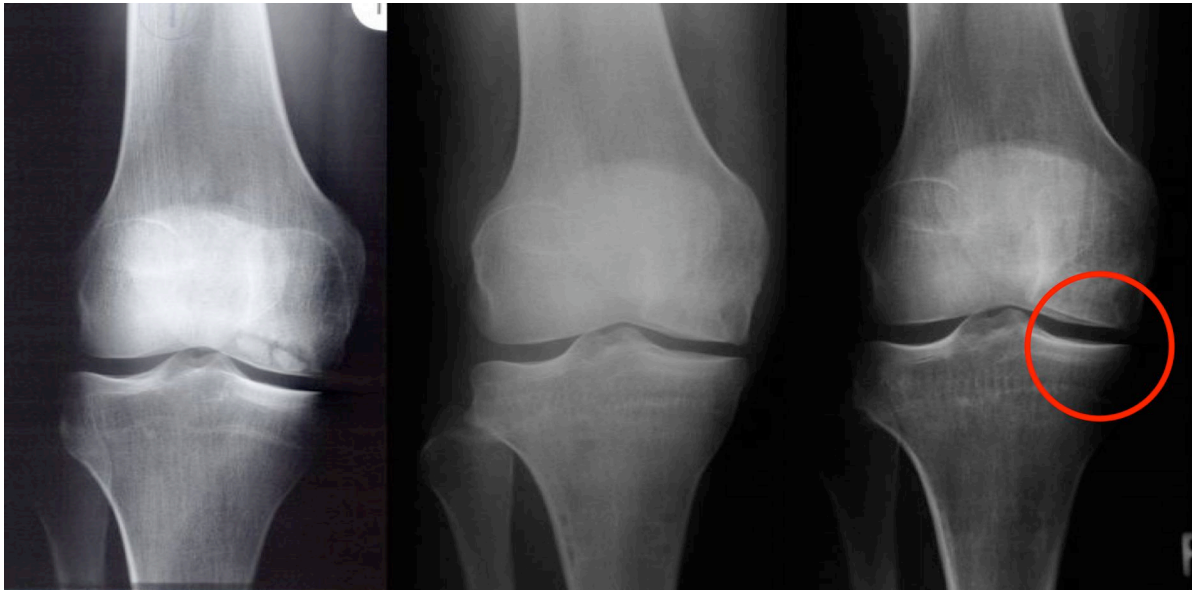
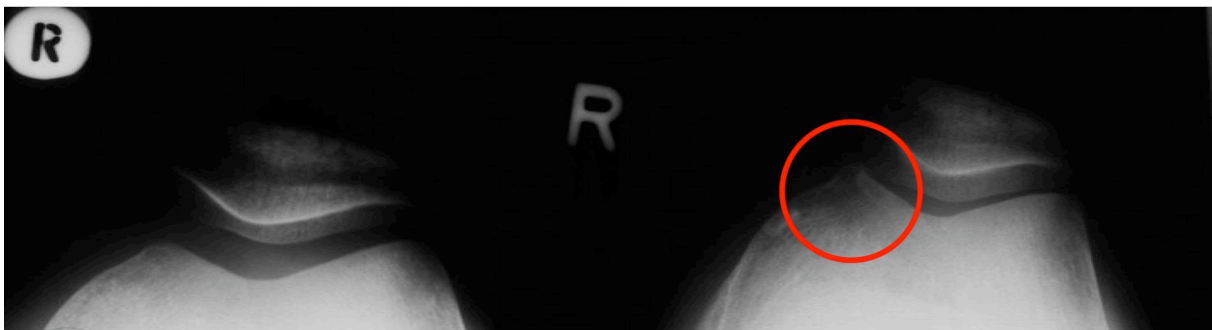


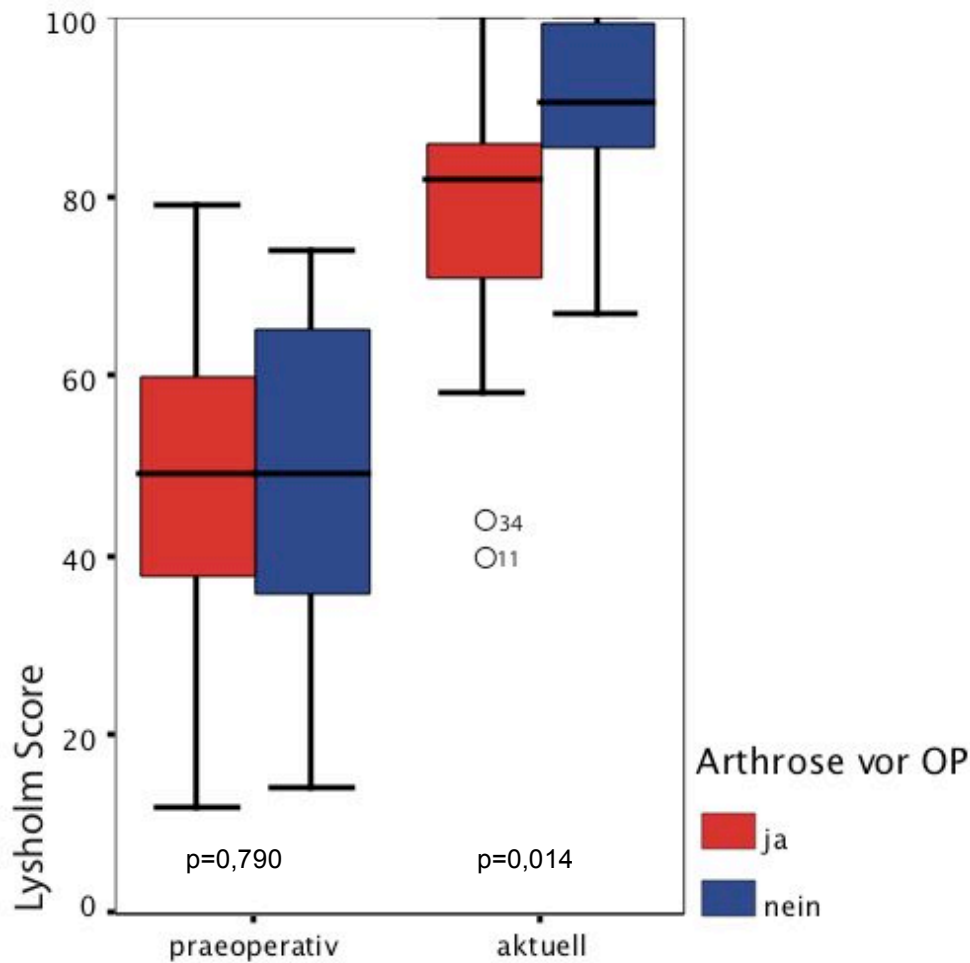
Abbildung 48: Arthroseprogredienz; Patella Zielaufnahmen (Patient Nr. 6; fünf Monate praeoperativ=links; 72 Monate postoperativ=rechts)



Praeoperativ bestand bei diesem Patienten keine Arthrose. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigten sich jedoch ein kleiner osteophytärer Anbau an der medialen Trochlea femoris (Abb. 48), sowie geringe mediale Überlastungszeichen (Abb. 47). Der Patient war mit dem Operationsergebnis dennoch sehr zufrieden, erreichte im Lysholm Score die volle Punktzahl, musste jedoch wegen der medialen Überlastungszeichen im IKDC der Gruppe „B“ zugeordnet werden.

Vergleicht man alle Patienten, die bereits paeoperativ eine Arthrose hatten, mit denen, bei denen vor dem Kondylentransfer keine Zeichen von Gelenkdegeneration zu erkennen war, so wird deutlich, dass das klinische Ergebnis der ersten Gruppe unter dem der zweiten Gruppe liegt (Abb. 49; Tab. 7).

Abbildung 49: Lysholm Score mit/ohne praeoperativer Arthrose



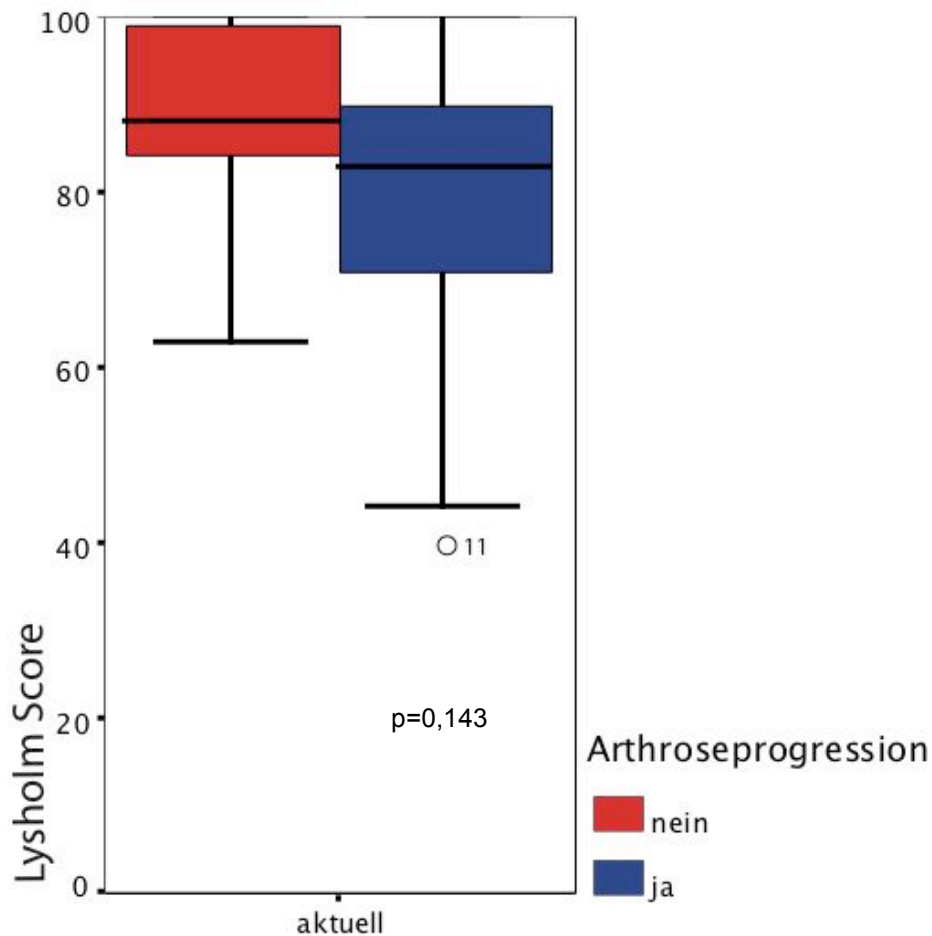
Praeoperativ besteht zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied ($p=0,790$). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, nach durchschnittlich 67 Monaten, ist dagegen ein signifikanter Unterschied nachzuweisen ($p=0,014$).

Tabelle 7: Lysholm Score mit/ohne praeoperativer Arthrose

	GRUPPE	n	Mittelwert	SD	Min	Max	Quantile			p
							25%	50% Median	75%	
Lysholm praeoperativ	Keine Arthrose	12	47,58	19,29	14	74	36,00	49,00	65,75	0,790
	Arthrose	17	49,47	17,76	12	79	37,50	49,00	62,50	
	Total	29	48,69	18,09	12	79	36,50	49,00	65,00	
Lysholm aktuell	Keine Arthrose	12	90,58	9,96	67	100	85,25	90,50	99,75	0,014
	Arthrose	17	76,71	17,20	40	100	67,00	82,00	88,00	
	Total	29	82,45	16,01	40	100	73,50	86,00	95,50	

Vergleicht man die Patienten mit Arthroseprogression mit den Patienten ohne Fortschreiten der Arthrose, so wird deutlich, dass der Lysholm Score beider Gruppen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung keinen signifikanten Unterschied ($p=0,143$) aufweist (Abb. 50; Tab. 8).

Abbildung 50: aktueller Lysholm Score mit/ohne Arthroseprogression



Das klinische Ergebnis wird - wie aus den Abbildungen 49 und 50 hervorgeht - mehr durch eine praeoperativ bestehende Arthrose, als durch eine Progression der Arthrose beeinflusst.

Tabelle 8: aktueller Lysholm Score mit/ohne Arthroseprogression

	Arthrosepro- gression	n	Mittelwert	SD	Min	Max	Quantile			p
							25%	50% Median	75%	
Lysholm Score (aktuell)	nein	12	87,4	12,2	63	100	83,75	88	99	0,143
	ja	17	78,9	17,7	40	100	71	83	91	
	Total	29	83,15							

IV.1.3.2 MRT-Untersuchung

Von insgesamt 16 der 33 Studienteilnehmer wurden MRTs angefertigt. Bezüglich der Zusammenstellung bestehen zwischen Kernspinstichprobe und Patienten ohne aktuelle MRT Untersuchung keine signifikanten Unterschiede (Abb. 51; Tab. 9).

Abbildung 51: Kernspinstichprobe und Patienten ohne MRT

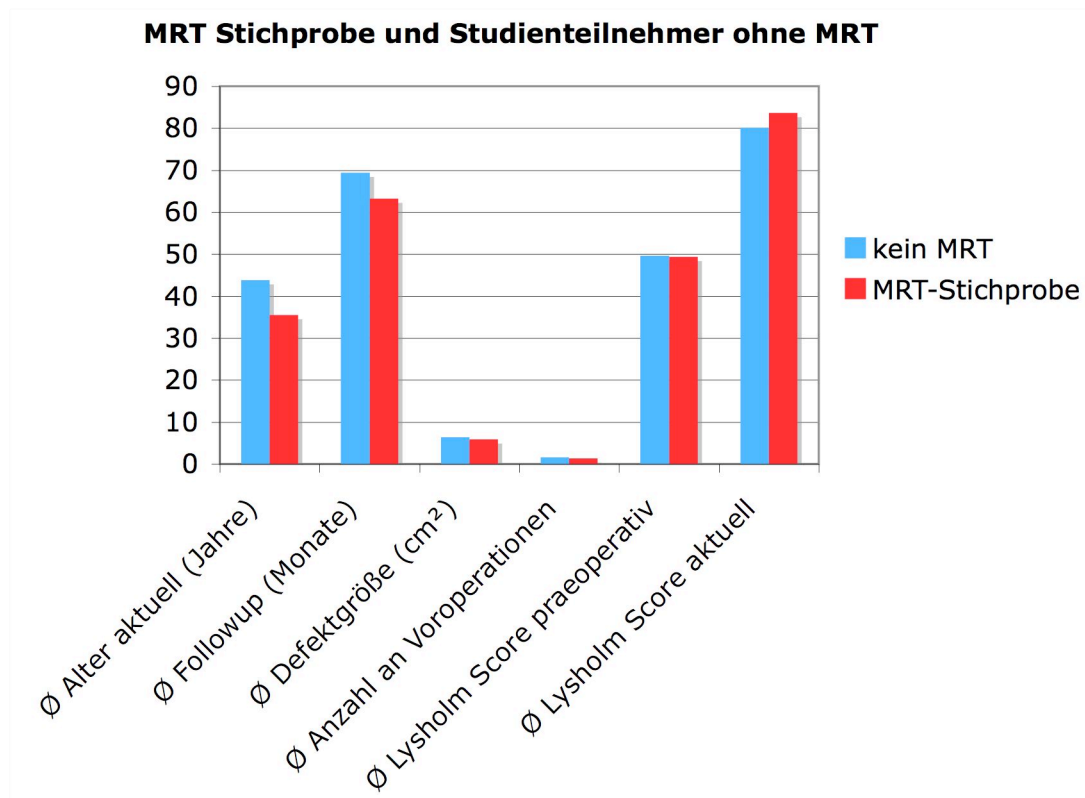


Tabelle 9: Kernspinstichprobe und Patienten ohne MRT

	GRUPPE	n	Mittelwert	SD	P
Alter (aktuell)	Kein MRT	17	43,94	14,37	0,127
	MRT	16	35,50	9,59	
	Total	33			
follow up (Monate)	Kein MRT	17	69,41	14,71	0,260
	MRT	16	63,25	11,57	
	Total	33			
Defektgröße [cm²]	Kein MRT	17	6,43	1,43	0,423
	MRT	16	5,91	2,21	
	Total	33			
Anzahl an Voroperationen	Kein MRT	17	1,59	1,68	0,736
	MRT	16	1,44	1,00	
	Total	33			
Lysholm praeoperativ	Kein MRT	17	49,65	17,58	0,986
	MRT	16	49,38	18,62	
	Total	33			
Lysholm aktuell	Kein MRT	17	80,12	19,61	0,763
	MRT	16	83,75	13,51	
	Total	33			

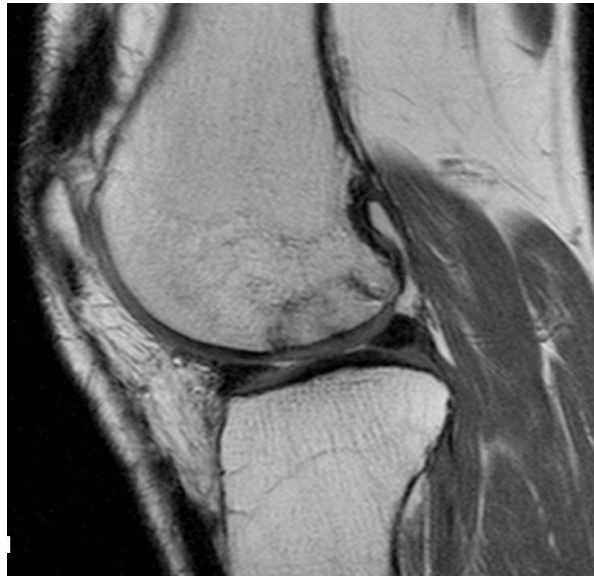
IV.1.3.2.1 Transplantiertes Zylinder

Vitalität und Knorpelverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren alle transplantierten Zylinder vital und kongruent. Der Knorpel des Grafts war in 13 Fällen ohne Läsionen und signal-

identisch zum gesunden restlichen Kniegelenksknorpel (Abb. 52). Bei drei Patienten (Nr. 6, 12, 18) zeigten sich degenerative Veränderungen der Knorpeloberfläche, die in Anlehnung an die Outerbridge Klassifikation (siehe Tabelle 1 in Kapitel II.2.5) in allen Fällen als Knorpelschäden Grad I bis Grad II klassifiziert wurden.

Abbildung 52: vitaler, kongruenter Zylinder (Patient Nr. 24; 59 Monate postoperativ)



Subchondraler Knochen

Der subchondrale Knochen des Zylinders war in zehn Fällen mit einem dem umgebenden Knochen identischen Signal unauffällig. Bei vier Patienten (Nr. 4, 12, 18, 23) wurden ein Ödem und Zysten festgestellt und zwei Patienten (Nr. 21, 24) hatten lediglich kleine Zysten (Abb. 53).

Abbildung 53: subchondrale Zysten an den Transplantatgrenzen (Patient Nr. 24; 59 Monate postoperativ)



IV.1.3.2.2 Restliches Kniegelenk

Knorpel und subchondraler Knochen

Der Knorpel im restlichen Kniegelenk war in sieben Fällen normal und bei neun Patienten (56,25%) beschädigt. Die Knorpelschäden wurden bei den Patienten Nr. 6, 21, 35 und 36 als Grad I/II, bei Nr. 1, 17 und 28 als Grad III und bei Nr. 4 und 18 als Grad IV klassifiziert.

Der subchondrale Knochen war in 14 Fällen (87,5%) unauffällig. Zwei Patienten (Nr. 1, 8) hatten kleine subchondrale Zysten, Patient Nr. 1 am medialen Femurkondylus ventral des Transplantats und Patient Nr. 8 im Bereich des medialen Tibiaplateaus.

Menisci

Bei elf Patienten war kein pathologischer Meniskusbefund festzustellen. Fünf Patienten (Nr. 1, 4, 17, 18, 28) hatten einen teilresezierten Meniskus. Bei drei Patienten (Nr. 4, 17, 28) erfolgte die Teilresektion vor dem Kondylentransfer und bei zwei Studienteilnehmern (Nr. 1, 18) im Followup Zeitraum (siehe Kapitel III.2.3 und IV.1.1.3).

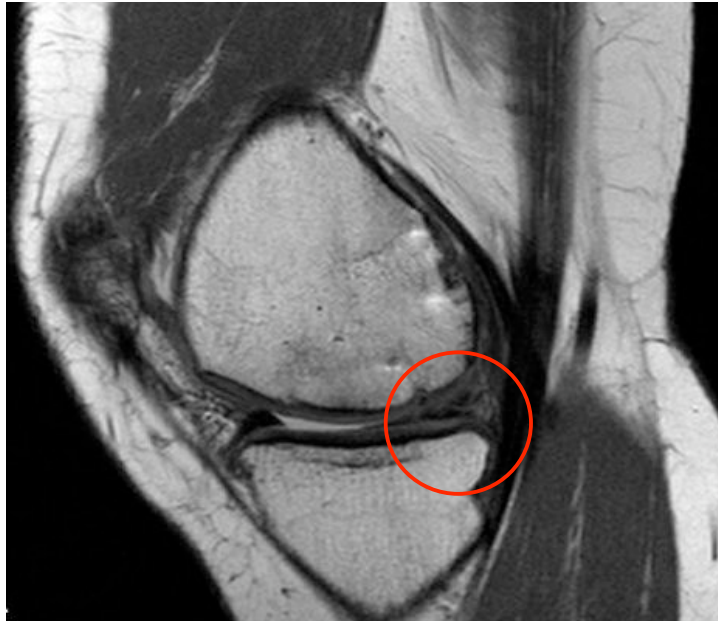
Bei Patient Nr. 6 waren aktuell leichte Meniskusdegenerationen (Abb. 54) zu sehen.

Abbildung 54: leichte Meniskusdegenerationen (Patient Nr. 6; 72 Monate postoperativ)



Zwei Patienten (Nr. 1, 12) hatten auf der Seite des transplantierten Kondylus einen Riß des Innenmeniskus (Abb. 55).

Abbildung 55: komplexe Innenmeniskusruptur (Patient Nr. 12; 67 Monate postoperativ)



Bei Patient Nr. 1 war der Innenmeniskus bereits vor der Operation als degeneriert beschrieben worden (siehe Kapitel IV.1.1.3). Patient Nr. 12 hatte ohne praeoperative degenerative Veränderungen und ohne erinnerliches Trauma eine komplexe Innenmeniskusruptur. Beide Patienten hatten bei der klinischen Untersuchung positive Innenmeniskuszeichen (siehe Kapitel IV.1.2.4.1) und betrieben vor Einsetzen der Schmerzsymptomatik außerordentlich viel Sport (über dreimal pro Woche; vor allem Tennis, Aerobic und Skifahren).

Spenderbereich

Der Entnahmebereich war mit Ausnahme von Patient Nr. 22 und 28 teils mehr, teils weniger aufgefüllt. Eine deutliche scharfe Abschlagkante war bei Patient Nr. 28 zu erkennen. Bei Patient Nr. 22 zeigte sich lediglich eine leichte Abrundung der Osteotomiekannte (siehe Kapitel IV.1.3.1.1).

Die folgenden MRTs (Abb. 56 und Abb. 57) stammen von Patient Nr. 8. Das MRT in Abbildung 56 wurde drei Monate vor dem Kondylentransfer angefertigt und zeigt einen demarkierten osteochondralen Defekt im Bereich des lateralen Femurkondylus (schwarzer Pfeil). Kernspin und Röntgenbild in Abbildung 57 wurden 77 Monate nach dem Kondylentransfer aufgenommen. Es ist sind deutliche bindegewebige Anbauten entlang der ehemaligen Osteotomiekannte zu erkennen, die sich als röntgendicht darstellen.

Abbildung 56: osteochondraler Defekt (Patient Nr. 8; drei Monate praeoperativ)

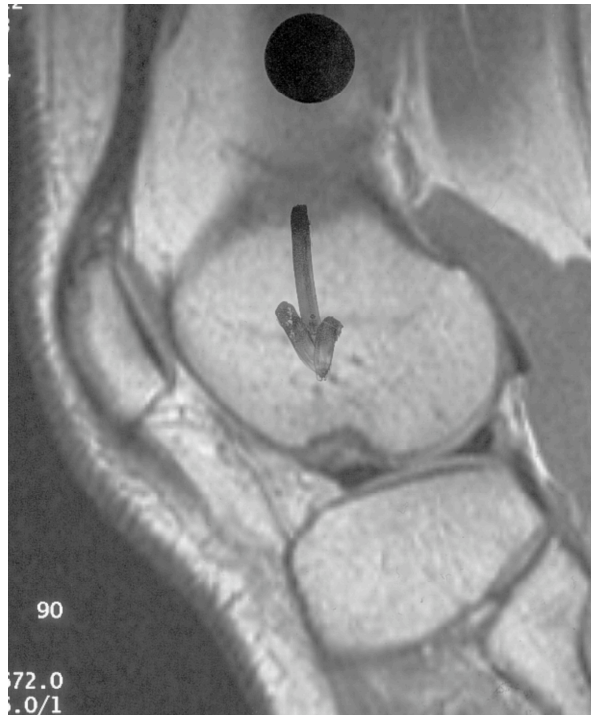
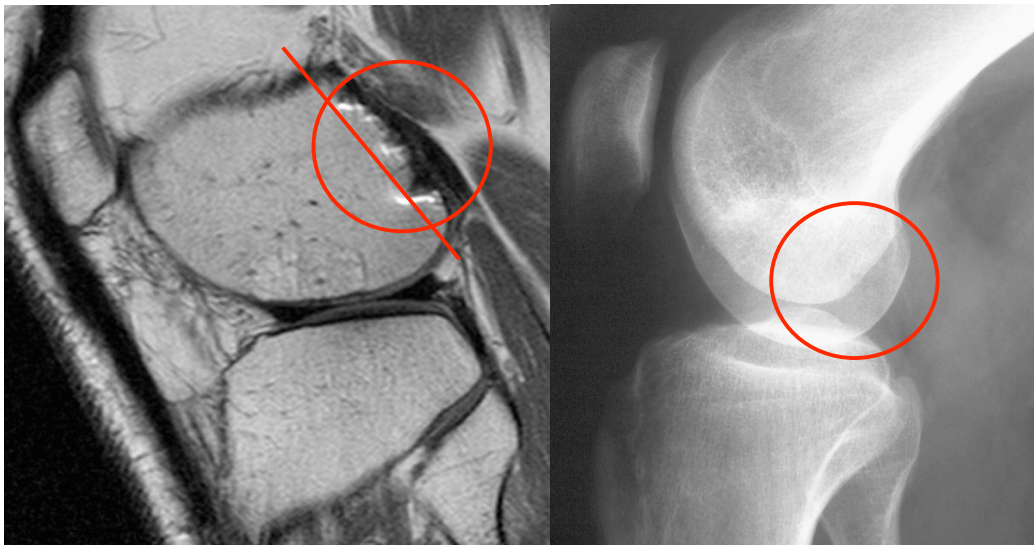


Abbildung 57: Auffüllung des Spenderbereichs (Patient Nr. 8; 77 Monate postoperativ)



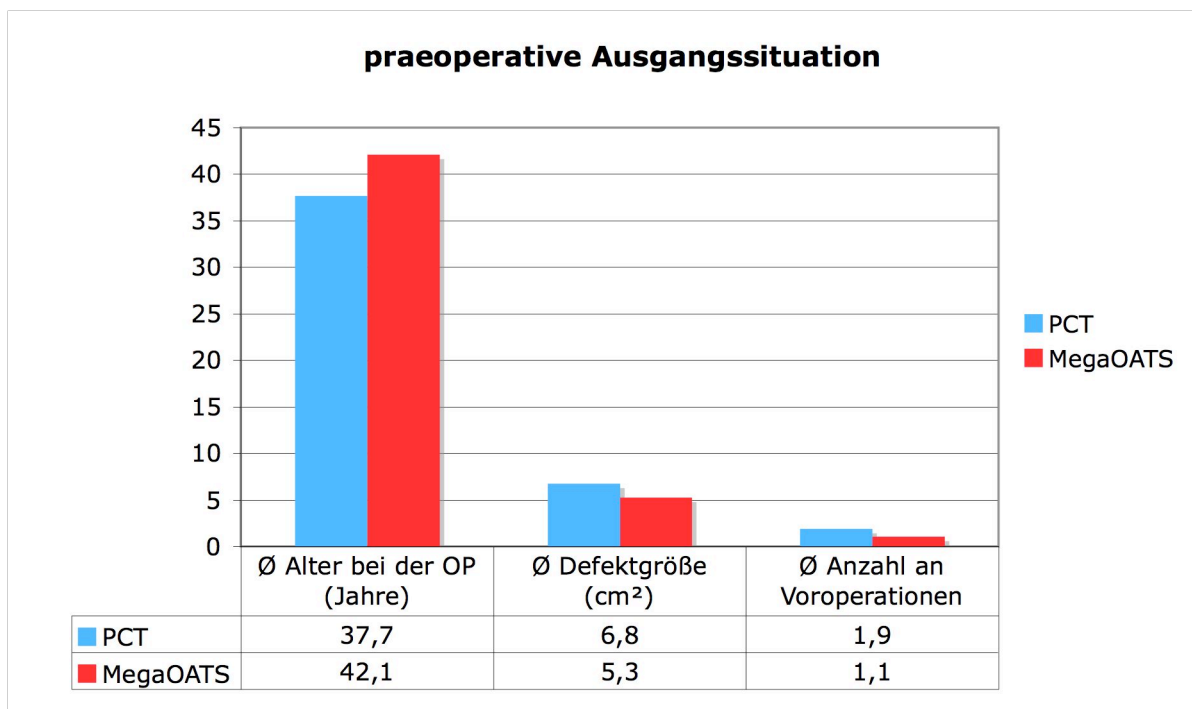
IV.2 Vergleich beider Operationstechniken

In diesem Kapitel soll untersucht werden, ob sich die beiden Operationstechniken (Posteriorer Kondylentransfer und MegaOATS) hinsichtlich der erzielten Ergebnisse voneinander unterscheiden.

IV.2.1 Praeoperative Ausgangssituation

Die folgende Abbildung (Abb. 58) stellt die wichtigsten praeoperativen Merkmale der beiden Patientengruppen gegenüber.

Abbildung 58: praeoperative Ausgangssituation von PCT und MegaOATS Patienten



Hinsichtlich des Alters zum Zeitpunkt des Kondylentransfers ist kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festzustellen ($p=0,460$). Die PCT Patienten hatten mit 1,9 Operationen (Min 0, Max 6, SD 1,6) durchschnittlich 0,8 Voroperationen mehr, als die MegaOATS Patienten. Die Anzahl der Voroperationen der MegaOATS Gruppe betrug 1,1 (Min 0, Max 3, SD 1,3). Dies ist jedoch kein signifikanter Unterschied ($p=0,05$). Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen besteht nur hinsichtlich der Größe der osteochondralen Läsion ($p=0,005$). Allerdings muss bedacht werden, dass die intraoperative Bestimmung der Defektgrößen beim Kondylentransfer in MegaOATS Technik wesentlich genauer erfolgte, als bei der PCT. Beim Kondylentransfer mit Freihand Transplantatgewinnung (PCT) wurden die Größenangaben vom Operateur geschätzt. Bei der MegaOATS war dagegen auf Grund der verwendeten Messzylinder stets eine exakte Ausmessung der Läsion möglich.

Zusatzeingriffe, die neben dem Kondylentransfer durchgeführt wurden fanden bei allen 17 PCT Patienten und bei 13 der 16 MegaOATS Patienten statt. Eine hohe tibiale Umstellungsosteotomie (HTO) wurde bei sieben der PCT Patienten und bei acht der MegaOATS durchgeführt. Die HTO ist damit in beiden Gruppen der am häufigsten durchgeführte Zusatzeingriff (siehe Tab. 3 und Tab. 4 in Kapitel III.2.3).

IV.2.2 Klinische Scores

Praeoperativ betrug der Lysholm Score der PCT Gruppe durchschnittlich 40,35 Punkte (Min 12 Punkte, Max 58 Punkte, SD 13,7 Punkte), während der mittlere Score der MegaOATS Gruppe bei 59,25 Zählern (Min 19 Punkte, Max 79 Punkte, SD 16,7) lag. Dies ist mit $p=0,001$ ein signifikanter Unterschied (Abb. 59; Tab. 10).

Der aktuelle Lysholm Score der PCT Gruppe betrug im Durchschnitt 82,7 Punkte (Min 40 Punkte, Max 100 Punkte, SD 16,6 Punkte), der der MegaOATS Gruppe durchschnittlich 81,0 Punkte (Min 42 Punkte, Max 100 Punkte, SD 17,4 Punkte). Es ist kein signifikanter Unterschied zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung festzustellen ($p=0,828$).

Abbildung 59: Lysholm Score der PCT Gruppe und der MegaOATS Gruppe

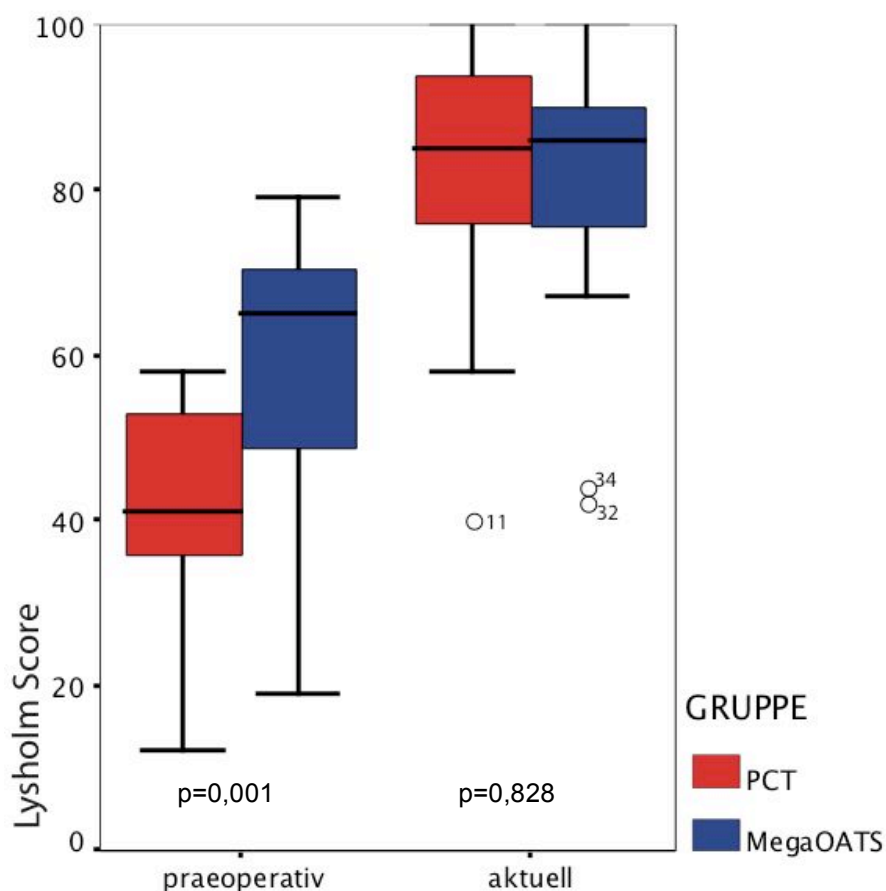


Tabelle 10: Lysholm Score der PCT Gruppe und der MegaOATS Gruppe

	GRUPPE	n	Mittelwert	SD	Min	Max	Quantile			p
							25%	50% Median	75%	
Lysholm präoperativ	PCT	17	40,35	13,7	12	58	36	41	53,5	0,001
	MegaOATS	16	59,25	16,7	19	79	49	65	70,7	
	Gesamt	33	49,52	17,8	12	79	37,5	49	65	
Lysholm aktuell	PCT	17	82,71	16,6	40	100	73,5	85	96,5	0,828
	MegaOATS	16	81,00	17,4	42	100	73,2	86	90	
	Gesamt	33	81,88	16,8	40	100	73,5	86	93	

Bei beiden Gruppen ist ein in etwa gleicher Lysholm Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung festzustellen. Der aktuelle Score wird jedoch von einem unterschiedlichen Ausgangswert erreicht.

Die PCT Gruppe verbesserte sich im Mittel um 42,35 Punkte (Min 13 Punkte, Max 78 Punkte, SD 18,32 Punkte), die MegaOATS Gruppe um 21,75 Punkte (Min -7, Punkte, Max 68 Punkte, SD 16,95 Punkte). Hinsichtlich der Score Verbesserung lässt sich ein signifikanter Unterschied ($p=0,002$) zwischen beiden Gruppen nachweisen. Das Followup der PCT Patienten betrug durchschnittlich 77 Monate (Min 62 Monate, Max 98 Monate, SD 9,3 Monate), das der MegaOATS Patienten 55,2 Monate (Min 46 Monate, Max 62 Monate, SD 4,9 Monate).

Beim aktuellen subjektiven IKDC Score besteht kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p=0,857$). Der Score der PCT Gruppe lag bei 75,25 Punkten (Min 43,7 Punkte, Max 98,8 Punkte, SD 13,9 Punkte), der Score der MegaOATS Gruppe bei 73,6 Punkten (Min 28,7 Punkte, Max 96,5 Punkte, SD 16,8 Punkte).

Vergleicht man die aktuellen IKDC Gruppengrade, so sind allenfalls geringe Unterschiede zwischen beiden Gruppen festzustellen. Bei der PCT Gruppe wurde einmal der IKDC Grad „A“, dreimal Grad „B“, siebenmal Grad „C“ und viermal Grad „D“ vergeben. Bei der MegaOATS Gruppe waren es einmal Grad „A“, sechsmal Grad „B“, dreimal Grad „C“ und viermal Grad „D“.

IV.2.3 Bildgebende Verfahren

IV.2.3.1 Röntgenauswertung

Von den 29 Patienten mit aktuell angefertigten Röntgenbildern sind 15 der PCT und 14 der MegaOATS Gruppe zuzuordnen.

Bei einem Patienten der PCT Gruppe (Nr. 13) zeigte sich keine Abrundung der Abschlagkante und keine Defektauffüllung im Bereich der entnommenen Kondyle. Drei MegaOATS Patienten (Nr. 19, 28, 34) hatten im aktuellen Röntgenbild eine

deutlich zu erkennende Abschlagkante und keine Auffüllung des Spenderbereichs. Bei einem vierten MegaOATS Patienten (Nr. 22) zeigte sich eine leichte Abrundung der Osteotomiekannte, ohne dass sich der Bereich der Kondylektomie aufgefüllt hatte. Bei 14 PCT und bei zehn MegaOATS Patienten zeigte sich eine Abrundung der Abschlagkante und eine Auffüllung des Spenderbereichs (siehe Kapitel IV.1.3.1.1). Eine Arthroseprogredienz war insgesamt bei 17 Patienten zu beobachten (siehe Kapitel IV.1.3.1.2). Es waren zehn PCT Patienten (58,8%) und sieben MegaOATS Patienten (41,2%) betroffen. Acht der PCT Patienten verschlechterten sich um einen Grad, zwei (Nr. 13, 14) um jeweils zwei Kategorien. Alle MegaOATS Patienten verschlechterten sich um einen Grad. Bei insgesamt vier Patienten wurden nach dem Kondylentransfer erstmalig radiologische Arthrosezeichen gesehen. Drei sind der PCT Gruppe (Nr. 6, 10, 18) und einer der MegaOATS Gruppe zuzuordnen (Nr. 33).

IV.2.3.2 MRT-Auswertung

Die Kernspinstichprobe setzte sich zu gleichen Teilen aus PCT und MegaOATS Patienten (jeweils acht) zusammen.

Das Transplantat war bei allen Patienten vital. Der Zylinderknorpel war bei drei PCT Patienten (Nr. 6, 12, 18) leicht beschädigt. Bei keinem MegaOATS Patienten lag ein Knorpelschaden des Zylinders vor. Im subchondralen Zylinderknochen wurde in der PCT Gruppe in drei Fällen (Nr. 4, 12, 18) und bei einem MegaOATS Patienten (Nr. 23) ein geringes Ödem festgestellt. Kleinere Zysten fanden sich bei drei Patienten der PCT Gruppe (Nr. 4, 12, 18) und bei drei MegaOATS Patienten (Nr. 21, 23, 24). Knorpelschäden im restlichen Kniegelenk kamen in beiden Gruppen gleich häufig vor (Nr. 1, 4, 6, 17, 18, 21, 28, 35, 36). Beide Patienten mit Meniskusläsion (Nr. 1, 12) sind der PCT Gruppe zuzuordnen. Der Patient mit leichten Meniskusdegenerationen (Nr. 6) gehört ebenfalls zur PCT Gruppe.

V Diskussion

Symptomatische Knorpelschäden benötigen in der Regel eine operative Therapie, da die klinische Erfahrung zeigt, dass vor allem unbehandelte Knorpeldefekte, die einen größeren Gelenkbereich betreffen, zu einer fortschreitenden Degeneration des gesamten Gelenks führen^{17,27,64,119,145}. Fokale chondrale oder osteochondrale Läsionen sind oftmals Folge eines Traumas oder einer Osteochondrosis dissecans und betreffen in der Regel junge Erwachsene, die ein hohes Aktivitätslevel aufrechterhalten wollen²⁷. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Defekte möglichst frühzeitig erkannt und einer entsprechenden Therapie zugeführt werden sollten.

Rein symptomatische Operationsverfahren wie die Gelenklavage oder das Gelenkdebridement bringen nur kurzfristig eine Symptomlinderung, der Arthroseprozess wird jedoch nicht beeinflusst^{68,69,75,97}. In einer randomisierten Studie mit 180 Patienten konnte von Moseley sogar gezeigt werden, dass die Ergebnisse nach Gelenklavage bzw. nach Debridement bei Gonarthrose nicht besser sind, als die nach einer Placebothherapie¹⁰⁰.

Durch Knochenmark stimulierende Maßnahmen wie Pridie Bohrung¹²⁰, Abrasionschondroplastik⁷¹ oder Mikrofrakturierung¹³⁶ kommt es zur Eröffnung von intraossären Blutgefäßen und dadurch zur lokalen Bildung eines Blutkoagels. Anschließend differenzieren sich die mesenchymalen Stammzellen aus dem Knochenmark zu Faserknorpel oder bestenfalls zu hyalinartigem Knorpel^{32,131,153}, der jedoch eine deutlich verminderte Belastbarkeit im Vergleich zu normalem hyalinen Gelenkknorpel aufweist^{113,138}. Die Mikrofrakturierung verursacht im Gegensatz zur Bohrung keine Hitzenekrosen⁵ und ist sehr gut geeignet, um lokal begrenzte 1 - 4 cm² große Knorpelschäden Grad IV Typ Outerbridge zu therapieren¹². Optimale Ergebnisse mit der Mikrofrakturierung werden bei jüngeren Patienten mit einer kleineren posttraumatischen chondralen Läsion erzielt⁴⁶. Große Vorteile der Mikrofrakturierung sind die arthroskopisch technisch einfach durchführbare Operation, die geringen Kosten, sowie die Möglichkeit auch zukünftig weitere knorpelchirurgische Maßnahmen problemlos durchführen zu können⁴⁶. Entscheidend limitiert ist das Verfahren jedoch dadurch, dass es nicht bei tiefen osteochondralen Läsionen angewendet werden kann. Der bestehende Knochendefekt würde nicht aufgefüllt werden und der induzierte Regeneratknorpel läge damit unter dem Niveau des umgebenden Gelenkknorpels. Ein deutlicher Verlust oder Schaden des subchondralen Knochens gilt damit als Kontraindikation für

die Mikrofrakturierung⁵, genauso aber auch für alle anderen Knochenmark stimulierenden Techniken.

Das „Tissue engineering“ ist eine interdisziplinär angewandte Wissenschaft mit dem Ziel, eine defekte Organfunktion oder ein defektes Gewebe wieder herzustellen⁸¹. Im Rahmen der Behandlung von Gelenkknorpeldefekten hat es den Ersatz der defekten Knorpelareale zum Ziel. Als klassisches Verfahren kommt derzeit die autologe Chondrozytentransplantation (ACT)¹⁹ mit und ohne Trägermaterialien zum klinischen Einsatz^{5,32}. Es werden dedifferenzierte Chondrozyten implantiert, die dann unter einem dem Defekt aufgenähten Periostlappen redifferenzieren¹³⁸.

Bei Patienten mit Knorpelschäden im Kniegelenk konnten gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt werden^{19,113}, wobei einer Studie von Peterson et al. zufolge der Regeneratknorpel nur in 66,67% Charakteristika des hyalinen Knorpels aufwies. Die Festigkeit des Regeneratknorpels wurde arthroskopisch mit Hilfe eines speziellen Messfühlers im Sinne einer Druckbelastung gemessen und betrug 2,4 N, die des gesunden Vergleichsknorpels dagegen 3,2 N¹¹³.

Um Limitierungen und Fehlschläge des Verfahrens durch die Entnahme des Periostlappens zu vermeiden, wurden verschiedene Biomaterialien als Trägermatrix erforscht und entwickelt. Dabei konnte im Tierversuch gezeigt werden, dass mit der Verwendung eines Kollagenvlies genauso wie nach Verwendung eines klassischen Periostgrafts eine vollständige Defektdeckung erreicht wird. Es zeigten sich nach einem Jahr histologisch und biomechanisch keine signifikanten Unterschiede¹²⁷. Auch klinische Studien zeigen gute Ergebnisse nach ACT unter Verwendung einer Kollagenmembran. Es bleibt aber zu bedenken, dass derzeit lediglich die klassische ACT mit Periostlappendeckung über mittel- bis langfristige Ergebnisse verfügt¹³⁷.

Die sog. matrixassistierten Verfahren sind die Weiterentwicklung der ACT. Dabei werden die Knorpelzellen auf eine Matrix (Scaffold) aufgezüchtet und im Verbund in den Defekt transplantiert¹⁰⁷. Eine Dedifferenzierung der Chondrozyten kann auf diese Weise verhindert werden und die frühzeitige Ausbildung einer knorpelspezifischen Matrix wird ermöglicht. Des Weiteren ist die Zelldichte besser steuerbar und eine gleichmäßige Defektdeckung wird möglich^{104,105}.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch die autologe Chondrozytentransplantation gute klinische Ergebnisse erzielt werden^{96,113,115}. Allerdings konnten Knutsen et al. in einer randomisierten Studie keine signifikante Überlegenheit der ACT gegenüber der wesentlich einfacher durchführbaren Mikrofrakturierung feststellen⁷⁸.

Die ideale Indikation für eine ACT ist ein lokalisierter chondraler oder ein nur die Oberfläche des subchondralen Knochens betreffender osteochondraler Defekt⁵. Brittberg und Peterson zufolge kann eine alleinige ACT bei tiefgreifenden osteochondralen Läsionen oder bei einer Osteochondrosis dissecans mit einer

Defekttiefe von bis zu 8 mm Erfolg haben ¹¹³. Bei Defekttiefen von über 8 mm empfehlen sie eine Knochentransplantation vor der Knorpelzellimplantation, um mit dem Regeneratknorpel das Niveau des umgebenden Gelenkknorpels zu erreichen ²¹.

Die Transplantation von Knorpel-Knochen-Zylindern ist eine weitere Therapieoption zur Behandlung von Gelenkknorpelschäden und ermöglicht es derzeit als einziges Operationsverfahren, intakten hyalinen Gelenkknorpel in die Defektzone einer bestehenden Knorpelläsion zu bringen ^{17,18}. Es besteht die Möglichkeit, autologe oder allogene Zylinder zu transplantieren, wobei letztere mit der Problematik der möglichen Infektübertragung und der Transplantatvitalität behaftet ist ^{73,109} und sich deshalb in Europa nicht durchgesetzt hat.

1964 berichtete Wagner über die Transplantation osteochondraler Zylinder zur Deckung von Gelenkknorpeldefekten bei der Osteochondrosis dissecans ¹⁴⁷. Vielfach wurden in den Jahren darauf autologe Transplantationen am Knie in offener Technik ^{43,146,152} und später arthroskopisch ^{15,54,90} durchgeführt. Besonders gut können heute fokale begrenzte osteochondrale Defekte an Femurkondylen, Patella oder Talus-schulter versorgt werden ¹⁸. Die Knorpel-Knochen-Zylinder werden aus wenig belasteten Bereichen des Kniegelenks mit einem Stanzmeißel entnommen und in den präparierten Defektbereich eingebracht ⁵. Wichtig ist die Schaffung einer kongruenten Oberfläche. Die Transplantate werden in den spongiosen Knochen, nicht jedoch in den benachbarten Knorpel integriert ¹³³. Der Bereich zwischen transplantiertem und intaktem Knorpel füllt sich genau wie der Donorbereich mit Faserknorpel auf. Im transplantierten Zylinder konnte dagegen histologisch vitales hyalines Knorpelgewebe nachgewiesen werden ⁵⁴.

Vielfach konnten sowohl kurz-, als auch langfristige gute klinische Ergebnisse beschrieben werden ^{16,32,52,53,70,82,146}. Horas verglich Zwei-Jahres-Ergebnisse nach ACT mit denen nach OATS und stellte fest, dass der Lysholm Score der OATS Gruppe steiler anstieg als der der ACT Gruppe und dass die aufgefüllten Defekte der ACT Gruppe vor allem Faserknorpel enthielten, die der OATS Gruppe dagegen hyalinen Gelenkknorpel ⁵⁹. Bentley et al. publizierten dagegen bessere Ergebnisse nach ACT als nach Mosaikplastik. Sie stellten durchschnittlich 19 Monate postoperativ fest, dass 88% der ACT Patienten und 69% der OATS Patienten gute oder sehr gute Ergebnisse hatten ¹³. In einer prospektiven randomisierten Studie von Gudas et al. wurden Ergebnisse nach Mikrofrakturierung mit denen nach Mosaikplastik bei 57 jungen aktiven Sportlern verglichen. Es zeigte sich, dass der modifizierte Hospital for Special Surgery (HSS) Score sowie der International Cartilage Repair Society (ICRS) Score der OATS Gruppe nach zwölf, 24 und 36 Monaten signifikant besser waren, als die Scores der Mikrofrakturierung Gruppe. Eine deutliche Überlegenheit der OATS Gruppe konnte darüber hinaus histologisch, radiologisch und im MRT gezeigt werden ⁴⁹.

Sehr gut geeignet ist der Transfer von Knorpel-Knochen-Zylindern, um fokale Knorpelschäden mit einem deutlichen Knochendefekt zu therapieren. Solche tiefgehenden Knochendefekte kommen z.B. bei der Osteochondrosis dissecans, posttraumatisch oder im Rahmen einer aseptischen lokal begrenzten Osteonekrose vor¹⁸. Derartige Defekte könnten bei deutlichem Verlust des subchondralen Knochens weder durch Mikrofrakturierung, noch durch alleinige autologe Chondrozyten Transplantation behandelt werden^{5,22}. Im Falle der ACT wäre eine zusätzliche Knochentransplantation notwendig.

Limitiert ist die Anwendung von Mosaikplastik und OATS einerseits durch die Größe des Spenderbereichs und andererseits dadurch, dass eine stabile press fit Verankerung vieler kleiner benachbarter Zylinder nicht mehr gewährleistet ist¹. Darüber hinaus ist die Durchblutungssituation größerer Zylinder besser. Die Randfläche eines großen Zylinders ist im Vergleich zu mehreren kleinen Zylindern kleiner und die Kapillarstrecken zum gesunden Umgebungsknochen entsprechend kürzer. Osteochondrale Läsionen mit einem Durchmesser von über 20 - 25 mm sind mittels klassischer OATS oder Mosaikplastik nicht mehr therapierbar^{1,4}.

Um derartig große und tief gehende osteochondrale Defekte zu therapieren wurde von Imhoff der posteriore Kondylentransfer als Salvage Operation eingeführt. Die ersten Operationen erfolgten zwischen 1984 und 1996 im Züricher Universitätsklinikum Balgrist an sieben Patienten. 1996 führte Imhoff den Posterioren Kondylentransfer in der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar ein. 1999 wurde die Operationstechnik optimiert und der Kondylentransfer heißt seitdem MegaOATS.

Durch den Transfer des posterioren Femurkondylus können Läsionen in der femoralen Belastungszone mit einer Größe von bis zu ca. 9,6 cm² saniert werden. Ein endoprothetischer Gelenkersatz kann bei den oft jüngeren Patienten vermieden oder zu mindest um Jahre hinausgezögert werden.

Durch alle autologen Therapieverfahren entsteht ein teils großer, teils weniger großer Entnahmedefekt. Dieser ist durch die Entnahme des gesamten Kondylus besonders groß. Durch die Meißel-Osteotomie zur Gewinnung der Kondyle entsteht eine scharfe Abschlagkante. Dorsal dieser Kante ist keine Gelenkfläche zur Artikulation mit der Tibia mehr vorhanden.

1999 publizierten Imhoff et al. ihre ersten Erfahrungen und sahen bei fünf der sieben Züricher Patienten einen Anstieg des OCD-Scores nach Bruns um durchschnittlich 40 Punkte und bei elf Münchner Patienten nach 9,8 Monaten einen Anstieg des Lysholm Scores um 23 Punkte. Im Rahmen der arthroskopischen Schraubenentfernung zeigte sich eine regelrechte Knorpeloberfläche des Transplantats, die zum umgebenden gesunden Knorpel abgrenzbar war. Auf konventionellen Röntgenaufnahmen und MRTs konnte eine ossäre Integration gesehen werden und

die ersten Ergebnisse schienen ermutigend ⁶⁴. Die ersten Ergebnisse nach MegaOATS waren ebenfalls gut, der Lysholm Score stieg unabhängig von einer begleitenden valgisierenden Tibiakopfumstellungsosteotomie signifikant an ^{1,24}.

Die biomechanischen Auswirkungen durch die Kondylenentnahme auf das Kniegelenk wurden am Leichenpräparat untersucht ³¹. An sieben Kadaverknien wurde der Einbeinstand in 0°-, 30°-, 60°- und 90°- Flexion simuliert. Es konnte gezeigt werden, dass es durch die Entnahme der Kondyle in Streckstellung nur zu einer unwesentlichen Reduktion der Kontaktfläche kommt. Die biomechanischen Auswirkungen werden erst ab ca. 30° Beugung deutlich und erreichen bei 60° ein Maximum. Bei 60° ist die Flächenpressung am deutlichsten erhöht und die Kontaktfläche stark reduziert. Die Erhöhung der Flächenpressung und Abnahme der Kontaktfläche zwischen 30° und 60° kommt durch die Abschlagkante zustande, die als femorale Gelenkfläche dient. Dieser Effekt wurde als „Kanteneffekt“ bezeichnet und kritisch beurteilt. Im Alltag dürften derartige Belastungen (volles Körpergewicht auf dem einen operierten Bein bei 30° - 60° Flexion) jedoch selten vorkommen. Bei zwei Kniegelenken mit Varusmorphotyp wurde begleitend eine HTO zur Korrektur der Beinachse durchgeführt. Es zeigte sich, dass der Kanteneffekt dadurch abgeschwächt wurde.

Der Hauptkritikpunkt des Operationsverfahrens ist darauf begründet, dass durch die Abschlagkante Läsionen des Meniskushinterhorns entstehen könnten. Dies wäre vorstellbar, in dem die Kante mit dem Meniskus verhakt und ihn bei Flexion nach anterior verschiebt. Negative Auswirkungen auf den Meniskus konnten im Rahmen der biomechanischen Studie jedoch nicht festgestellt werden. Unklar blieb darüber hinaus, inwiefern der Kondylentransfer mit dem Auftreten von Arthrose bzw. mit dem Fortschreiten einer bereits vorhandenen Kniegelenksdegeneration verbunden ist.

In der vorliegenden Studie ging es darum, erstmals mittel- bis langfristige klinische und radiologische Ergebnisse zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurde das Patientenkollektiv mit dem längsten Followup in die Studie aufgenommen, wobei als einziges Einschlusskriterium der Zeitpunkt des Kondylentransfers galt. Dieser musste mit Einführung der Operation in München zwischen 1996 und 2000 stattgefunden haben.

Es ergab sich ein Kollektiv von 36 Patienten, wovon - entsprechend einer Wiederfindungsrate von 91,7% - 33 an der Studie teilnahmen. Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer betrug 34,3 Jahre. Alle Patienten hatten eine meist längere Krankheitsgeschichte hinter sich. 72,7 Prozent waren zum Teil mehrfach voroperiert. Vor dem Kondylentransfer hatten alle Patienten Schmerzen. Diese waren größtenteils belastungsabhängig, teilweise auch persistierend in Ruhe oder nachts. Ursache für den tief gehenden osteochondralen Schaden war in 82% ein Trauma oder eine nicht ausgeheilte Osteochondrosis dissecans.

Nach durchschnittlich 66,4 Monaten waren 93,9% aller Patienten mit dem Operationsergebnis sehr zufrieden und berichteten über eine deutliche Verbesserung ihrer Kniefunktion. 81,8% gaben an, niemals oder nur bei schwerer körperlicher Anstrengung Schmerzen zu verspüren. 81,8% waren wieder im Stande regelmäßig Sport zu betreiben. Das Sportverhalten hatte sich in einigen Fällen geändert und es wurden - im Vergleich zu praeoperativ - oftmals weniger kniebelastende Sportarten wie Schwimmen und Radfahren ausgeübt. Es gab jedoch auch Patienten, die nach der Operation wieder Ski fuhren, Tennis spielten oder leichte Bergwanderungen unternahmen. Drei Patienten spielten regelmäßig Fußball, zwei davon hatten dabei unregelmäßig Schmerzen. Die Kniefunktion im Alltag wurde durchschnittlich mit 72% einer normalen und ausgezeichneten Kniefunktion bewertet. Beim Treppensteigen hatten 48,5% geringe Probleme.

Der mediane Lysholm Score der Patienten verbesserte sich hochsignifikant ($p < 0,001$) von 49 auf 86 Punkte und verdeutlicht, wie auch der subjektive IKDC Score, das gute klinische Resultat. Nicht so gut war dagegen die Einteilung der Patienten in die vier verschiedenen IKDC Grade. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass bereits ein einziger pathologischer Untersuchungsbefund der IKDC Untersuchung das Endergebnis bestimmen kann und der schlechteste Gruppengrad in jedem Fall den Endgrad festlegt. Es lässt sich deshalb keinesfalls ableiten, dass die Patienten insgesamt ein schlechtes Resultat nach der Operation haben. In 34,5 Prozent war der Funktionstest (Einbeinsprung mit dem operierten Bein) alleine für die Gradfestlegung ausschlaggebend.

Bei der klinischen Untersuchung wurde u. a. besonders auf positive Meniskuszeichen geachtet. Auch wurde explizit nach Folgeoperationen nach dem Kondylentransfer gefragt. Bei der Nachuntersuchung fanden sich in drei Fällen positive Innenmeniskuszeichen auf der Seite der entnommenen Kondyle (Nr. 1, 12, 34). Der Verdacht auf Meniskussschaden bestätigte sich bei zwei dieser Patienten im aktuellen MRT (Nr. 1, 12). Patient Nr. 1 hatte bereits vor der PCT einen degenerativ veränderten Innenmeniskus, der gut drei Jahre nach dem Kondylentransfer teilreseziert worden war. Der zweite Patient mit kernspintomographisch gesicherter Meniskusläsion (Nr. 12) hatte praeoperativ keine degenerativen Veränderungen. Bei einem dritten Patienten (Nr. 18) ergab die Anamnese, dass er knapp fünf Jahre nach dem Kondylentransfer im Rahmen eines Fußballtrainings einen Innenmeniskussschaden erlitten hatte und dieser durch Teilresektion behandelt worden war.

Zur Diskussion steht, inwiefern die drei aufgetretenen Meniskussschäden mit der Operation in Verbindung stehen. Grund zur Annahme, dass sich der Kondylentransfer negativ auf den ipsilateralen Meniskus auswirken könnte, war die durch die Meißel-Osteotomie entstandene scharfe Abschlagkante. Die bei der Nachuntersuchung angefertigten Röntgenbilder zeigten jedoch bei allen drei Patienten eine Abrundung der Kante und teilweise Auffüllung des Spenderdefekts mit

röntgendichtem Gewebe. Der oben beschriebene Kanteneffekt dürfte folglich bei diesen drei Patienten bestenfalls eine untergeordnete Rolle spielen. Des Weiteren ist der zeitliche Abstand zwischen Operation und Auftreten der Meniskuläsion zu berücksichtigen. Dieser betrug bei Patient Nr. 1 gut drei Jahre bis zur Teilresektion und noch einmal knapp vier Jahre bis zum aktuellen Riss im teilresezierten Meniskus. Bei Patient Nr. 18 trat die Läsion 4,75 Jahre und bei Patient Nr. 12 5,5 Jahre nach dem Kondylentransfer auf. Bei allen drei Patienten ist damit das Zeitintervall zwischen Operation und Meniskusschaden relativ lang. Ein akuter Effekt durch die Kondylektomie dürfte damit ausgeschlossen sein. Für eine langsame Meniskusdegeneration als Folge des Kondylentransfers gibt es im untersuchten Kollektiv keine Anhaltspunkte, wenngleich ein Patient (Nr. 6) im aktuellen MRT 72 Monate post PCT degenerative Veränderungen hatte. Zuletzt bleibt anzumerken, dass alle drei Patienten im Vergleich zu den übrigen Studienteilnehmern postoperativ sehr viel Sport und vor allem Kniebelastende Sportarten (Skifahren, Tennis, Fußball) ausübten. Damit dürften sie einem größeren Risiko für einen Meniskusschaden ausgesetzt gewesen sein, als die übrigen Studienteilnehmer.

Die Auswertung der aktuellen Röntgenbilder erfolgte unter Einbezug aller verfügbaren Voraufnahmen. Es zeigte sich, dass sich in 82,8% die Abschlagkante abgerundet und sich die Entnahmestelle mit röntgendichtem Gewebe aufgefüllt hatte. Hinsichtlich Form und Größe war dies teils deutlich und teils weniger deutlich zu erkennen, in einigen Fällen erfolgte eine weitgehende Remodellierung der entnommenen Kondyle. Wir sahen dies frühestens sechs Monate postoperativ im Röntgenbild. Im Rahmen einer weiteren Studie bliebe zu untersuchen, wie lange es in der Regel dauert bis sich der Entnahmebereich nach dem Kondylentransfer auffüllt. Es bleibt anzumerken, dass vier der fünf Patienten ohne Auffüllung und Abrundung der MegaOATS Gruppe zuzuordnen sind. Das Followup dieser Patienten war gut 17 Monate kürzer, als das der Studienteilnehmer mit Auffüllung und Abrundung. 64% der Patienten hatten dennoch Probleme beim Hocken. In der Regel handelte es sich um geringe Probleme, die sich zum Teil durch subjektives Instabilitätsgefühl oder leichte Schmerzen äußerten. Der Entnahmedefekt wird im postoperativen Verlauf in der Mehrzahl der Fälle deutlich verringert, das Ersatzgewebe kann aber nicht alle Aufgaben eines physiologischen posterioren Femurkondylus übernehmen. Der Kanteneffekt, der eine Drucksteigerung auf dem korrespondierenden Tibiaplateau bewirkt, dürfte aber in der Mehrzahl der Fälle eine - wenn überhaupt - deutlich geringere Rolle als unmittelbar postoperativ spielen.

Bei der Beurteilung des Arthrosegrads zeigte sich, dass praeoperativ 41,4% der Patienten keine Zeichen der Gelenkdegeneration hatten. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren 27,6% ohne Gonarthrose. Eine Arthroseprogredienz konnte in 59% beobachtet werden. Die Progression erfolgte - mit Ausnahme von zwei Patienten - jeweils um einen Grad. Allerdings bleibt zu berücksichtigen, dass die

Patienten mit Arthroseprogression zu 76% bereits vor dem Kondylentransfer radiologische Arthrosezeichen hatten. Bei vier von 12 Patienten ohne praeoperative Gelenkdegeneration trat im Followup Zeitraum erstmalig eine initiale Arthrose (Grad I) auf. Bei einem dieser vier Patienten erfolgte im Followup Zeitraum eine Innenmeniskusteilresektion und bei einem anderen Patienten die Transplantation von drei weiteren OATS Zylindern.

Insgesamt konnte also eine leichte Progression der Gelenkdegeneration beobachtet werden, wobei das Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit dem aktuellen Arthroseggrad positiv korreliert ist. Die beobachtete Arthrosegredienz ist schwierig zu diskutieren und muss stets in Zusammenhang mit der Indikationsstellung zum Kondylentransfer gesehen werden. Alle Patienten hatten zum Zeitpunkt der Operation eine maximal eingeschränkte Lebensqualität. Die Operation muss als Salvage Eingriff gesehen werden und stellte die einzige Möglichkeit dar, eine Knieprothese zu diesem Zeitpunkt zu vermeiden. Ein künstliches Kniegelenk war bei den im Durchschnitt 34,3 Jahre alten und in der Regel sehr aktiven Patienten als Option nicht geeignet. Der Eingriff reduzierte die in der Regel erheblichen Schmerzen deutlich und ermöglichte in der Mehrzahl der Fälle eine Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten. In welchem Ausmaß die Gelenkdegeneration ohne den Eingriff fortgeschritten wäre kann nicht abschließend beurteilt werden. Sicher ist jedoch, dass die Mehrzahl der Patienten auf Grund ihrer starken Beschwerden eine konservative Therapie über einen längeren Zeitraum nicht akzeptiert hätte. Arthrosezeichen im Kniegelenk bei 50% aller 30 bis 50 jährigen in der Normalbevölkerung¹⁵⁰ relativieren die Arthroserate von 72,4% im Studienkollektiv zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

Es konnte gezeigt werden, dass der aktuelle Lysholm Score der Patientengruppe ohne Gonarthrose vor der Operation signifikant ($p=0,014$) besser war, als der Score der Studienteilnehmer mit praeoperativer Kniegelenksdegeneration. Bei der OP Planung muss deshalb berücksichtigt werden, dass eine praeoperativ bestehende Arthrose das klinische Outcome limitiert.

In den aktuellen MRTs zeigte sich nach durchschnittlich 63,25 Monaten bei allen Patienten ein vitaler und kongruenter Zylinder. Bei drei PCT Patienten waren nach 67, 72 bzw. 82 Monaten leichte Schäden (Grad I/II) des Transplantatkorpels zu erkennen. Im subchondralen Knochen der transplantierten Zylinder traten bei sechs Patienten kleine Zysten auf. Die Ursache dafür könnte der bei der Zylinderpräparation entstandene Metallabrieb sein. Auf das klinische Ergebnis hatten diese Zysten jedoch keinen Einfluss. Im Bereich der entnommenen Kondyle zeigten sich bei 87,5% bindegewebige Anbauten.

Beim Vergleich der Ergebnisse nach PCT mit denen nach MegaOATS fiel auf, dass beide Operationstechniken zu einem vergleichbar guten klinischen Resultat führen. Es konnten sowohl beim Lysholm Score, als auch beim subjektiven IKDC Score

keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Vorteile der MegaOATS liegen in der einfacheren OP technischen Handhabung sowie der präziseren und schnelleren Zylinderpräparation. Außerdem ist kein zweiter operativer Eingriff zur arthroskopischen Schaubenentfernung mehr notwendig.

Bei der Betrachtung des praeoperativen Lysholm Scores fiel allerdings ein signifikanter Unterschied ($p=0,001$) zwischen beiden Gruppen auf.

Dies ist damit zu erklären, dass die Anzahl an Patienten mit Einführung der MegaOATS Technik anstieg. So wurden 1996 zwei und 1999 zehn Patienten operiert. Alle PCTs fanden in einem Zeitraum von 39 Monaten statt, während die MegaOATS Eingriffe der Studienteilnehmer binnen 17 Monaten durchgeführt wurden. Die Indikationsstellung wurde auf Grund der guten kurzfristigen klinischen Ergebnisse^{1,24,64} mit Einführung von MegaOATS großzügiger gestellt. Es wurden zunehmend Patienten operiert, die praeoperativ deutliche Beschwerden hatten, deren subjektive Kniefunktion aber im Schnitt besser als die der PCT Gruppe war. Heute werden ca. 10 - 15 MegaOATS Eingriffe pro Jahr durchgeführt, 2004 waren es 17 und im Jahr 2005 16 Operationen.

VI Zusammenfassung

Seit 1996 wird bei jungen und aktiven Patienten mit großen osteochondralen Defekten in der femoralen Belastungszone ein autologer Transfer der posterioren Femurkondyle (MegaOATS) durchgeführt.

Ziel der Studie war die Evaluierung mittel- bis langfristiger Ergebnisse. Dazu wurden die ersten 33 Patienten nachuntersucht, Röntgenaufnahmen und von 16 Patienten MRTs angefertigt.

Der mediane Lysholm Score stieg nach durchschnittlich 66,4 Monaten hochsignifikant ($p < 0,001$) von praeoperativ 49,0 auf postoperativ 86,0 Punkte. In 82,8% zeigte sich eine Abrundung der Osteotomiekannte und ein Auffüllen des Entnahmebereichs. Bei vier Patienten wurde erstmalig eine Grad I Arthrose gesehen. Alle MRT Aufnahmen zeigten einen vitalen und kongruenten Zylinder, der Transplantatknorpel war in 13 Fällen unbeschädigt.

Das Verfahren ist damit sehr gut geeignet, um große und tiefgehende fokale osteochondrale Defekte in der femoralen Belastungszone zu decken.

Summary

In case of large osteochondral defects of the weightbearing zones in femoral condyles of young and active patients, an autologous transfer of the posterior femoral condyle (MegaOATS) is performed since 1996.

Aim of the clinical trial was the evaluation of mid- to longterm results. Therefore, the first 33 patients were clinically evaluated, x-ray examinations were done and 16 patients underwent MRI analysis.

The median Lysholm score rose highly significant ($p < 0,001$) from preoperatively 49,0 to postoperatively 86,0 points. A rounding of the osteotomy edge and refilling of the graft area was seen in 82,8%. Four patients had a Grade I osteoarthritis without preexisting arthritis. All MRI examinations showed a vital and congruent graft. The cartilage of the graft was normal in 13 patients.

Thus, the procedure is recommended, to treat large and deep osteochondral defects in the weight bearing zone of the femoral condyle.

VII Literaturverzeichnis

1. **Agneskirchner, J. D.; Brucker, P.; Burkart, A.; and Imhoff, A. B.:** Large osteochondral defects of the femoral condyle: press-fit transplantation of the posterior femoral condyle (MEGA-OATS). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 10(3): 160-168, 2002.
2. **Akizuki, S.; Mow, V. C.; Muller, F.; Pita, J. C.; Howell, D. S.; and Manicourt, D. H.:** Tensile properties of human knee joint cartilage: I. Influence of ionic conditions, weight bearing, and fibrillation on the tensile modulus. *J Orthop Res*, 4(4): 379-392, 1986.
3. **Albert, E.:** Zur Mechanik des Kniegelenks. *Berichte des naturwissenschaftlichen Vereins (Wien)*, 9: 41-53, 1878.
4. **Alford, J. W., and Cole, B. J.:** Cartilage restoration, part 1: basic science, historical perspective, patient evaluation, and treatment options. *Am J Sports Med*, 33(2): 295-306, 2005.
5. **Alford, J. W., and Cole, B. J.:** Cartilage restoration, part 2: techniques, outcomes, and future directions. *Am J Sports Med*, 33(3): 443-460, 2005.
6. **Amis, A. A., and Dawkins, G. P.:** Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br*, 73(2): 260-267, 1991.
7. **Anders, S.; Schaumburger, J.; and Grifka, J.:** [Surgical intra-articular interventions in arthrosis]. *Orthopäde*, 30(11): 866-880, 2001.
8. **Arnoczky, S. P., and Warren, R. F.:** Microvasculature of the human meniscus. *Am J Sports Med*, 10(2): 90-95, 1982.

9. **Ascenzi, A.:** Biomechanics and Galileo Galilei. *J Biomech*, 26(2): 95-100, 1993.
10. **Bartz, R. L.; Kamaric, E.; Noble, P. C.; Lintner, D.; and Bocell, J.:** Topographic matching of selected donor and recipient sites for osteochondral autografting of the articular surface of the femoral condyles. *Am J Sports Med*, 29(2): 207-212, 2001.
11. **Bauer, M., and Jackson, R. W.:** Chondral lesions of the femoral condyles: a system of arthroscopic classification. *Arthroscopy*, 4(2): 97-102, 1988.
12. **Beickert, R.:** Mikrofrakturierung bei fokalem Knorpelschaden. *Arthroskopie*, 18(3): 186-192, 2005.
13. **Bentley, G.; Biant, L. C.; Carrington, R. W.; Akmal, M.; Goldberg, A.; Williams, A. M.; Skinner, J. A.; and Pringle, J.:** A prospective, randomised comparison of autologous chondrocyte implantation versus mosaicplasty for osteochondral defects in the knee. *J Bone Joint Surg Br*, 85(2): 223-230, 2003.
14. **Binette, F.; McQuaid, D. P.; Haudenschild, D. R.; Yaeger, P. C.; McPherson, J. M.; and Tubo, R.:** Expression of a stable articular cartilage phenotype without evidence of hypertrophy by adult human articular chondrocytes in vitro. *J Orthop Res*, 16(2): 207-216, 1998.
15. **Bobic, V.:** Arthroscopic osteochondral autograft transplantation in anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 3(4): 262-264, 1996.
16. **Bobic, V.:** [Autologous osteo-chondral grafts in the management of articular cartilage lesions]. *Orthopäde*, 28(1): 19-25, 1999.

17. **Bobic, V., and Noble, J.:** Articular cartilage-to repair or not to repair. *J Bone Joint Surg Br*, 82(2): 165-166, 2000.
18. **Braun, S., and Imhoff, A.:** Autologe Knochen-Knorpel-Transplantation. *Arthroskopie*, 3(18): 219-225, 2005.
19. **Brittberg, M.; Lindahl, A.; Nilsson, A.; Ohlsson, C.; Isaksson, O.; and Peterson, L.:** Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med*, 331(14): 889-895, 1994.
20. **Brittberg, M.; Nilsson, A.; Lindahl, A.; Ohlsson, C.; and Peterson, L.:** Rabbit articular cartilage defects treated with autologous cultured chondrocytes. *Clin Orthop Relat Res*, (326): 270-283, 1996.
21. **Brittberg, M.; Peterson, L.; Sjogren-Jansson, E.; Tallheden, T.; and Lindahl, A.:** Articular cartilage engineering with autologous chondrocyte transplantation. A review of recent developments. *J Bone Joint Surg Am*, 85-A Suppl 3: 109-115, 2003.
22. **Brittberg, M., and Winalski, C. S.:** Evaluation of cartilage injuries and repair. *J Bone Joint Surg Am*, 85-A Suppl 2: 58-69, 2003.
23. **Brown, T. D.; Pope, D. F.; Hale, J. E.; Buckwalter, J. A.; and Brand, R. A.:** Effects of osteochondral defect size on cartilage contact stress. *J Orthop Res*, 9(4): 559-567, 1991.
24. **Brucker, P.; Agneskirchner, J. D.; Burkart, A.; and Imhoff, A. B.:** [Mega-OATS. Technique and outcome]. *Unfallchirurg*, 105(5): 443-449, 2002.
25. **Bruns, J., and Steinhagen, J.:** [Transplantation of chondrogenic tissue in the treatment of lesions of of the articular cartilage]. *Orthopäde*, 28(1): 52-60, 1999.

26. **Buckwalter, J. A., and Mankin, H. J.:** Articular cartilage repair and transplantation. *Arthritis Rheum*, 41(8): 1331-1342, 1998.
27. **Buckwalter, J. A., and Mankin, H. J.:** Articular cartilage: degeneration and osteoarthritis, repair, regeneration, and transplantation. *Instr Course Lect*, 47: 487-504, 1998.
28. **Buckwalter, J. A., and Mankin, H. J.:** Articular cartilage: tissue design and chondrocyte-matrix interactions. *Instr Course Lect*, 47: 477-486, 1998.
29. **Bull, A. M. J., and Amis, A.:** Biomechanik; In: Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (Knie). Edited by Kohn, D.; Wirth, C. J.; and Zichner, L., 35-51, Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag, 2005.
30. **Bullough, P. G.; Munuera, L.; Murphy, J.; and Weinstein, A. M.:** The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure. *J Bone Joint Surg Br*, 52(3): 564-567, 1970.
31. **Burkart, A.; Imhoff, A. B.; Dirisamer, F.; Steinhauser, E.; and Brucker, P.:** Klinische und biomechanische Ergebnisse nach posteriorem Kondylentransfer als Salvageoperation. *DGOT 2000 Wiesbaden*: Abstract, 2000.
32. **Burkart, A. C.; Schoettle, P. B.; and Imhoff, A. B.:** [Surgical therapeutic possibilities of cartilage damage]. *Unfallchirurg*, 104(9): 798-807, 2001.
33. **Chhabra, A.; Katolik, L. I.; Pavlovich, R. J.; Cole, B. J.; and Miller, M. D.:** Sports Medicine; In: Orthopaedics (4. Auflage). Edited by Miller, M. D., 203-265, Philadelphia, Pennsylvania, Elsevier, 2004.
34. **Convery, F. R.; Akeson, W. H.; and Keown, G. H.:** The repair of large osteochondral defects. An experimental study in horses. *Clin Orthop Relat Res*, 82: 253-262, 1972.

35. **Diduch, D. R.; Insall, J. N.; Scott, W. N.; Scuderi, G. R.; and Font-Rodriguez, D.:** Total knee replacement in young, active patients. Long-term follow-up and functional outcome. *J Bone Joint Surg Am*, 79(4): 575-582, 1997.
36. **Drenckhahn, D.:** Untere Extremität; In: Benninghoff Anatomie Band1 (15. Auflage). Edited by Drenckhahn, D., and Zenker, W., 325-404, München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg, 1994.
37. **Ekholm, R.:** Nutrition of articular cartilage. *Acta anat*, 24: 329-388, 1955.
38. **Fortier, L. A.; Balkman, C. E.; Sandell, L. J.; Ratcliffe, A.; and Nixon, A. J.:** Insulin-like growth factor-I gene expression patterns during spontaneous repair of acute articular cartilage injury. *J Orthop Res*, 19(4): 720-728, 2001.
39. **Fritsch, K.-G., and Josimović-Alasević, O.:** Chondroneogenese durch autologe Chondrozytentransplantation (ACT); Konsequenzen zur Diagnose und Therapie, die sich aus zellbiologischer Sicht ergeben. *Arthroskopie*, 12(1): 43-49, 1999.
40. **Fuller, J. A., and Ghadially, F. N.:** Ultrastructural observations on surgically produced partial-thickness defects in articular cartilage. *Clin Orthop Relat Res*, 86: 193-205, 1972.
41. **Furukawa, T.; Eyre, D. R.; Koide, S.; and Glimcher, M. J.:** Biochemical studies on repair cartilage resurfacing experimental defects in the rabbit knee. *J Bone Joint Surg Am*, 62(1): 79-89, 1980.
42. **Garretson, R. B., 3rd; Katolik, L. I.; Verma, N.; Beck, P. R.; Bach, B. R.; and Cole, B. J.:** Contact pressure at osteochondral donor sites in the patellofemoral joint. *Am J Sports Med*, 32(4): 967-974, 2004.

43. **Garrett, J. C.:** Treatment of osteochondral defects of the distal femur with fresh osteochondral allografts: a preliminary report. *Arthroscopy*, 2(4): 222-226, 1986.
44. **Gillquist, J., and Messner, K.:** Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. *Sports Med*, 27(3): 143-156, 1999.
45. **Girgis, F. G.; Marshall, J. L.; and Monajem, A.:** The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*, (106): 216-231, 1975.
46. **Gobbi, A.; Nunag, P.; and Malinowski, K.:** Treatment of full thickness chondral lesions of the knee with microfracture in a group of athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 13(3): 213-221, 2005.
47. **Goodfellow, J., and O'Connor, J.:** The mechanics of the knee and prosthesis design. *J Bone Joint Surg Br*, 60(3): 358-369, 1978.
48. **Goymann, V.:** [Abrasion arthroplasty]. *Orthopäde*, 28(1): 11-18, 1999.
49. **Gudas, R.; Kalesinskas, R. J.; Kimtys, V.; Stankevicius, E.; Toliusis, V.; Bernotavicius, G.; and Smailys, A.:** A prospective randomized clinical study of mosaic osteochondral autologous transplantation versus microfracture for the treatment of osteochondral defects in the knee joint in young athletes. *Arthroscopy*, 21(9): 1066-1075, 2005.
50. **Haggart, G.:** Surgical treatment of degenerative arthritis of the knee joint. *N Engl J Med*, (236): 971, 1947.
51. **Hangody, L.:** Autologous osteochondral mosaic-like graft technique for replacing weight-bearing cartilage defects. *7th Congress of the ESSKA; Budapest (Hungary): Abstract*, 1996.

52. **Hangody, L.; Feczko, P.; Bartha, L.; Bodo, G.; and Kish, G.:** Mosaicplasty for the treatment of articular defects of the knee and ankle. *Clin Orthop Relat Res*, (391 Suppl): S328-336, 2001.
53. **Hangody, L., and Fules, P.:** Autologous osteochondral mosaicplasty for the treatment of full-thickness defects of weight-bearing joints: ten years of experimental and clinical experience. *J Bone Joint Surg Am*, 85-A Suppl 2: 25-32, 2003.
54. **Hangody, L.; Kish, G.; Karpati, Z.; Szerb, I.; and Udvarhelyi, I.:** Arthroscopic autogenous osteochondral mosaicplasty for the treatment of femoral condylar articular defects. A preliminary report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 5(4): 262-267, 1997.
55. **Hardya, P. A.; Newmark, R.; Liu, Y. M.; Meier, D.; Norris, S.; Piraino, D. W.; and Shah, A.:** The influence of the resolution and contrast on measuring the articular cartilage volume in magnetic resonance images. *Magn Reson Imaging*, 18(8): 965-972, 2000.
56. **Hefti, F., and Muller, W.:** [Current state of evaluation of knee ligament lesions. The new IKDC knee evaluation form]. *Orthopäde*, 22(6): 351-362, 1993.
57. **Hefti, F.; Muller, W.; Jakob, R. P.; and Staubli, H. U.:** Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1(3-4): 226-234, 1993.
58. **Herwig, J.; Egner, E.; and Buddecke, E.:** Chemical changes of human knee joint menisci in various stages of degeneration. *Ann Rheum Dis*, 43(4): 635-640, 1984.
59. **Horas, U.; Pelinkovic, D.; Herr, G.; Aigner, T.; and Schnettler, R.:** Autologous chondrocyte implantation and osteochondral cylinder

- transplantation in cartilage repair of the knee joint. A prospective, comparative trial. *J Bone Joint Surg Am*, 85-A(2): 185-192, 2003.
60. **Hughston, J. C.; Andrews, J. R.; Cross, M. J.; and Moschi, A.:** Classification of knee ligament instabilities. Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg Am*, 58(2): 159-172, 1976.
61. **Hunter, W.:** On the structure and diseases of articulating cartilages. *Phil Trans Soc Lond B42*: 514 - 521, 1743.
62. **Hunziker, E. B., and Rosenberg, L. C.:** Repair of partial-thickness defects in articular cartilage: cell recruitment from the synovial membrane. *J Bone Joint Surg Am*, 78(5): 721-733, 1996.
63. **Imhoff, A. B.; Baumgartner, R.; and Linke, R. D.:** Klinische Untersuchung des Knies; In: Orthopädie Checkliste (4. Auflage). Edited by Imhoff, A. B.; Baumgartner, R.; and Linke, R. D., 27-30, Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag, 2005.
64. **Imhoff, A. B.; Burkart, A.; and Ottl, G. M.:** [Transfer of the posterior femoral condyle. First experience with a salvage operation]. *Orthopäde*, 28(1): 45-51, 1999.
65. **Imhoff, A. B., König, U.:** Arthroskopie - qualifizierte Stadieneinteilung der osteochondralen Läsion (OCL) am Knie. *Arthroskopie*, 16: 23-28, 2003.
66. **Imhoff, A. B.; Ottl, G. M.; Burkart, A.; and Traub, S.:** [Autologous osteochondral transplantation on various joints]. *Orthopäde*, 28(1): 33-44, 1999.
67. **Ito, Y.; Fitzsimmons, J. S.; Sanyal, A.; Mello, M. A.; Mukherjee, N.; and O'Driscoll, S. W.:** Localization of chondrocyte precursors in periosteum. *Osteoarthritis Cartilage*, 9(3): 215-223, 2001.

68. **Jackson, R.; Marans, H.; and Silver, R.:** Arthroscopic treatment of degenerative arthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, (70): 332, 1988.
69. **Jackson, R. W.:** Arthroscopic Treatment of Degenerative Arthritis; In: Operative Arthroscopy (2. Auflage). Edited by McGinty, J. B., 405-409, Philadelphia, Lippincott-Raven Press, 1996.
70. **Jakob, R. P.; Franz, T.; Gautier, E.; and Mainil-Varlet, P.:** Autologous osteochondral grafting in the knee: indication, results, and reflections. *Clin Orthop Relat Res*, (401): 170-184, 2002.
71. **Johnson, L.:** Arthroscopic Abrasion Arthroplasty; In: Operative Arthroscopy (2. Auflage). Edited by McGinty, J. B., 427-446, Philadelphia, Lippincott-Raven Press, 1996.
72. **Kapandji, I.:** Funktionelle Anatomie der Gelenke-Untere Extremität (Band 2); In: Funktionelle Anatomie der Gelenke (3. Auflage). Edited by Kapandji, I., 64-147, Stuttgart, Hippokrates Verlag, 2001.
73. **Karataglis, D., and Learmonth, D. J.:** Management of big osteochondral defects of the knee using osteochondral allografts with the MEGA-OATS technique. *Knee*, 12(5): 389-393, 2005.
74. **Kempson, G. E.; Muir, H.; Pollard, C.; and Tuke, M.:** The tensile properties of the cartilage of human femoral condyles related to the content of collagen and glycosaminoglycans. *Biochim Biophys Acta*, 297(2): 456-472, 1973.
75. **Kim, H. K.; Moran, M. E.; and Salter, R. B.:** The potential for regeneration of articular cartilage in defects created by chondral shaving and subchondral abrasion. An experimental investigation in rabbits. *J Bone Joint Surg Am*, 73(9): 1301-1315, 1991.

76. **Kladny, B., and Beyer, W. F.:** [Conservative nonpharmacological treatment of arthrosis]. *Orthopade*, 30(11): 848-855, 2001.
77. **Klagsbrun, M.:** Large-scale preparation of chondrocytes. *Methods Enzymol*, 58: 560-564, 1979.
78. **Knutsen, G.; Engebretsen, L.; Ludvigsen, T. C.; Drogset, J. O.; Grontvedt, T.; Solheim, E.; Strand, T.; and Roberts, S.:** Autologous chondrocyte implantation compared with microfracture in the knee. A randomized trial. *J Bone Joint Surg Am*, 86-A(3): 455-464, 2004.
79. **Landon, G. C.; Galante, J. O.; and Casini, J.:** Essay on total knee arthroplasty. *Clin Orthop*, (192): 69-74, 1985.
80. **Langer, K.:** Das Kniegelenk des Menschen. *Sitzungsber der Akademie d Wissensch - mathematisch naturwissenschaftliche Classe*, 32: 99-144, 1858.
81. **Langer, R., and Vacanti, J. P.:** Tissue engineering. *Science*, 260(5110): 920-926, 1993.
82. **Laprell, H., and Petersen, W.:** Autologous osteochondral transplantation using the diamond bone-cutting system (DBCS): 6-12 years' follow-up of 35 patients with osteochondral defects at the knee joint. *Arch Orthop Trauma Surg*, 121(5): 248-253, 2001.
83. **Lysholm, J., and Gillquist, J.:** Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10(3): 150-154, 1982.
84. **Lysholm, J., and Gillquist, J.:** Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale; Figure 2. *Am J Sports Med*, 10(3): 152, 1982.

85. **Magnuson, P.:** Joint debridement. Surgical treatment of degenerative arthritis. *Surg Gynec and Obstet*, (73): 1-9, 1941.
86. **Maletius, W., and Aigner, T.:** Morphologie und Molekularpathologie der Osteoarthrose. *Arthroskopie*, (12): 3-8, 1999.
87. **Maletius, W., and Messner, K.:** The effect of partial meniscectomy on the long-term prognosis of knees with localized, severe chondral damage. A twelve-to fifteen-year followup. *Am J Sports Med*, 24(3): 258-262, 1996.
88. **Mankin, H. J.:** The reaction of articular cartilage to injury and osteoarthritis (second of two parts). *N Engl J Med*, 291(25): 1335-1340, 1974.
89. **Mankin, H. J.:** The response of articular cartilage to mechanical injury. *J Bone Joint Surg Am*, 64(3): 460-466, 1982.
90. **Matsusue, Y.; Yamamuro, T.; and Hama, H.:** Arthroscopic multiple osteochondral transplantation to the chondral defect in the knee associated with anterior cruciate ligament disruption. *Arthroscopy*, 9(3): 318-321, 1993.
91. **Menche, D. S.; Frenkel, S. R.; Blair, B.; Watnik, N. F.; Toolan, B. C.; Yaghoubian, R. S.; and Pitman, M. I.:** A comparison of abrasion burr arthroplasty and subchondral drilling in the treatment of full-thickness cartilage lesions in the rabbit. *Arthroscopy*, 12(3): 280-286, 1996.
92. **Menschik, A.:** [Mechanics of the knee-joint. 1 (author's transl)]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 112(3): 481-495, 1974.
93. **Messner, K., and Gillquist, J.:** Cartilage repair. A critical review. *Acta Orthop Scand*, 67(5): 523-529, 1996.

94. **Messner, K., and Maletius, W.:** The long-term prognosis for severe damage to weight-bearing cartilage in the knee: a 14-year clinical and radiographic follow-up in 28 young athletes. *Acta Orthop Scand*, 67(2): 165-168, 1996.
95. **Meyer, H. v.:** Die Mechanik des Kniegelenks. *Arch Anatom Physiolo Wiss Med*: 497-547, 1853.
96. **Micheli, L. J.; Browne, J. E.; Erggelet, C.; Fu, F.; Mandelbaum, B.; Moseley, J. B.; and Zurakowski, D.:** Autologous chondrocyte implantation of the knee: multicenter experience and minimum 3-year follow-up. *Clin J Sport Med*, 11(4): 223-228, 2001.
97. **Mitchell, N., and Shepard, N.:** Effect of patellar shaving in the rabbit. *J Orthop Res*, 5(3): 388-392, 1987.
98. **Mohr, W.:** Arthropathien; In: *Gelenkkrankheiten* (1. Auflage). Edited by Mohr, W., 173-252, Stuttgart, New York, Thieme, 1984.
99. **Mohr, W.:** Morphogenese der Osteoarthrose. *Arthroskopie*, (6): 195-200, 1998.
100. **Moseley, J. B.; O'Malley, K.; Petersen, N. J.; Menke, T. J.; Brody, B. A.; Kuykendall, D. H.; Hollingsworth, J. C.; Ashton, C. M.; and Wray, N. P.:** A controlled trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the knee. *N Engl J Med*, 347(2): 81-88, 2002.
101. **Mow, V. C.; Holmes, M. H.; and Lai, W. M.:** Fluid transport and mechanical properties of articular cartilage: a review. *J Biomech*, 17(5): 377-394, 1984.
102. **Muhr, G., and Wagner, M.:** Anatomie; In: *Kapsel-Band-Verletzungen des Kniegelenkes* (1. Auflage). Edited by Muhr, G., and Wagner, M., 1-17, Berlin, Springer Verlag, 1981.

103. **Müller, B., and Kohn, D.:** [Indication for and performance of articular cartilage drilling using the Pridie method]. *Orthopäde*, 28(1): 4-10, 1999.
104. **Nehrer, S.; Breinan, H. A.; Ramappa, A.; Hsu, H. P.; Minas, T.; Shortkroff, S.; Sledge, C. B.; Yannas, I. V.; and Spector, M.:** Chondrocyte-seeded collagen matrices implanted in a chondral defect in a canine model. *Biomaterials*, 19(24): 2313-2328, 1998.
105. **Nehrer, S.; Breinan, H. A.; Ramappa, A.; Young, G.; Shortkroff, S.; Louie, L. K.; Sledge, C. B.; Yannas, I. V.; and Spector, M.:** Matrix collagen type and pore size influence behaviour of seeded canine chondrocytes. *Biomaterials*, 18(11): 769-776, 1997.
106. **Nehrer, S.; Domayer, S.; Dorotka, R.; Schatz, K.; Bindreiter, U.; and Kotz, R.:** Three-year clinical outcome after chondrocyte transplantation using a hyaluronan matrix for cartilage repair. *Eur J Radiol*, 57(1): 3-8, 2006.
107. **Nehrer, S.; Vavken, P.; Dorotka, R.; and Kotz, R.:** Matrixassoziierte Chondrozytentransplantation. *Arthroskopie*, 18(3): 203-208, 2005.
108. **Newman, A. P.:** Articular cartilage repair. *Am J Sports Med*, 26(2): 309-324, 1998.
109. **Ohlendorf, C.; Tomford, W. W.; and Mankin, H. J.:** Chondrocyte survival in cryopreserved osteochondral articular cartilage. *J Orthop Res*, 14(3): 413-416, 1996.
110. **Oldberg, A.; Antonsson, P.; Hedbom, E.; and Heinegard, D.:** Structure and function of extracellular matrix proteoglycans. *Biochem Soc Trans*, 18(5): 789-792, 1990.
111. **Otte, P.:** Der Arthrose-Prozeß, In: Osteochondrale Strukturen Band 1(1. Auflage). Edited by Novartis, 13-66, Nürnberg, Novartis Pharma Verlag, 2001.

112. **Outerbridge, R. E.:** The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br*, 43-B: 752-757, 1961.
113. **Peterson, L.; Brittberg, M.; Kiviranta, I.; Akerlund, E. L.; and Lindahl, A.:** Autologous chondrocyte transplantation. Biomechanics and long-term durability. *Am J Sports Med*, 30(1): 2-12, 2002.
114. **Peterson, L.; Menche, D. S.; Grande, D.; and al., e.:** Chondrocyte transplantation-an experimental model in the rabbit. *Transactions from the 30th Annual Orthopedic Research Society Atlanta: Abstract (Nr. 218)*, 1984.
115. **Peterson, L.; Minas, T.; Brittberg, M.; Nilsson, A.; Sjogren-Jansson, E.; and Lindahl, A.:** Two- to 9-year outcome after autologous chondrocyte transplantation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*, (374): 212-234, 2000.
116. **Platzer, W.:** Das Knie und der Unterschenkel; In: *Pernkopf Atlas der topographischen und angewandten Anatomie des Menschen Band 2* (3. Auflage). Edited by Platzer, W., 346-366, München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg, 1989.
117. **Poole, A. R.:** Cartilage in health and disease; In: *Arthritis and allied conditions. A textbook of rheumatology. Band 1* (14. Auflage). Edited by Koopman, W. J., and Moreland, L. W., 223-271, New York, Lippincott Williams and Wilkins, 2005.
118. **Potter, H. G.; Linklater, J. M.; Allen, A. A.; Hannafin, J. A.; and Haas, S. B.:** Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast-spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am*, 80(9): 1276-1284, 1998.
119. **Prakash, D., and Learmonth, D.:** Natural progression of osteo-chondral defect in the femoral condyle. *Knee*, 9(1): 7-10, 2002.

120. **Pridie, K.:** A method of resurfacing osteoarthritic knee joints. *J Bone Joint Surg Br*, 41(3): 618-619, 1959.
121. **Pullig, O.; Pfander, D.; and Swoboda, B.:** [Molecular principles of induction and progression of arthrosis]. *Orthopäde*, 30(11): 825-833, 2001.
122. **Putz, R.:** [Anatomy and biomechanics of the knee joint]. *Radiologe*, 35(2): 77-86, 1995.
123. **Putz, R., and Pabst, R.:** Untere Extremität; In: Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen Band 2 Rumpf, Eingeweide, untere Extremität (22. Auflage). Edited by Putz, R., and Pabst, R., 281, München, Elsevier (Urban und Fischer), 2006.
124. **Race, A., and Amis, A. A.:** The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament. *J Biomech*, 27(1): 13-24, 1994.
125. **Radin, E. L., and Burr, D. B.:** Hypothesis: joints can heal. *Semin Arthritis Rheum*, 13(3): 293-302, 1984.
126. **Rudert, M.; Hirschmann, F.; and Wirth, C. J.:** [Growth behavior of chondrocytes on various biomaterials]. *Orthopäde*, 28(1): 68-75, 1999.
127. **Russlies, M.; Rüter, P.; Kurz, B.; Vindigni, C.; Ehlers, E.; Bröhl, C.; Schumacher, J.; and Behrens, P.:** Histological and biomechanical results of 3 different cartilage repair technique in a sheep modell. *ICRS 2002 Toronto, Canada: Abstract*, 2002.
128. **Schenck, R. C., Jr., and Goodnight, J. M.:** Osteochondritis dissecans. *J Bone Joint Surg Am*, 78(3): 439-456, 1996.

129. **Schneider, T.; Liebau, C.; Krämer, R.; and Merk, H.:** 10-Jahres-Analyse nach arthroskopischem Kniegelenksdebridement bei Gonarthrose. *Arthroskopie*, (12): 17-21, 1999.
130. **Scott, W. N., and Rubinstein, M. P.:** Total-condylar arthroplasty: Indications; In: Total-condylar knee arthroplasty. Technique, results, complications (1. Auflage). Edited by Ranawat, C. S., 17-83, New York, Springer, 1985.
131. **Shapiro, F.; Koide, S.; and Glimcher, M. J.:** Cell origin and differentiation in the repair of full-thickness defects of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am*, 75(4): 532-553, 1993.
132. **Sheng, P. Y.; Konttinen, L.; Lehto, M.; Ogino, D.; Jansen, E.; Nevalainen, J.; Pajamaki, J.; Halonen, P.; and Konttinen, Y. T.:** Revision total knee arthroplasty: 1990 through 2002. A review of the Finnish arthroplasty registry. *J Bone Joint Surg Am*, 88(7): 1425-1430, 2006.
133. **Siebert, C. H.; Miltner, O.; Schneider, U.; Wahner, T.; Koch, S.; and Niedhart, C.:** [Healing of osteochondral transplants-animal experiment studies using a sheep model]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 139(5): 382-386, 2001.
134. **Simonian, P. T.; Sussmann, P. S.; Wickiewicz, T. L.; Paletta, G. A.; and Warren, R. F.:** Contact pressures at osteochondral donor sites in the knee. *Am J Sports Med*, 26(4): 491-494, 1998.
135. **Steadman, J. R.; Briggs, K. K.; Rodrigo, J. J.; Kocher, M. S.; Gill, T. J.; and Rodkey, W. G.:** Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy*, 19(5): 477-484, 2003.
136. **Steadman, J. R.; Rodkey, W. G.; Briggs, K. K.; and Rodrigo, J. J.:** [The microfracture technic in the management of complete cartilage defects in the knee joint]. *Orthopäde*, 28(1): 26-32, 1999.

137. **Steinwachs, M., and Kreuz, P.:** Nichtmatrixgebundene Chondrozytentransplantation. *Arthroskopie*, 18(3): 198-202, 2005.
138. **Steinwachs, M. R.; Erggelet, C.; Lahm, A.; and Gohlke-Steinwachs, U.:** [Clinical and cell biology aspects of autologous chondrocytes transplantation]. *Unfallchirurg*, 102(11): 855-860, 1999.
139. **Strobel, M. J.; Weiler, A.; and Eichhorn, H. J.:** [Diagnosis and therapy of fresh and chronic posterior cruciate ligament lesions]. *Chirurg*, 71(9): 1066-1081, 2000.
140. **Swoboda, B.:** [Epidemiological arthrosis research]. *Orthopäde*, 30(11): 834-840, 2001.
141. **Tegner, Y., and Lysholm, J.:** Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*, (198): 43-49, 1985.
142. **Thompson, R. C., Jr.:** An experimental study of surface injury to articular cartilage and enzyme responses within the joint. *Clin Orthop Relat Res*, (107): 239-248, 1975.
143. **Tillmann, B., and Petersen, W.:** Funktionelle Anatomie; In: Orthopädie und orthopädische Chirurgie (1. Auflage). Edited by Kohn, D., 4-30, Stuttgart-New York, Georg Thieme Verlag, 2005.
144. **Tillmann, B.; Petersen, W.; and Plitz, W.:** Anatomie und Biomechanik; In: Das Knie (1. Auflage). Edited by Kohn, D., 2-29, Stuttgart-New York, Georg Thieme Verlag, 2000.
145. **Twyman, R. S.; Desai, K.; and Aichroth, P. M.:** Osteochondritis dissecans of the knee. A long-term study. *J Bone Joint Surg Br*, 73(3): 461-464, 1991.

146. **Wagner, H.:** [Possibilities and experiences with cartilage transplantation]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 110(6): 705-708, 1972.
147. **Wagner, H.:** [Surgical Treatment Of Osteochondritis Dissecans, A Cause Of Arthritis Deformans Of The Knee.]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 50: 335-352, 1964.
148. **Wakitani, S.; Goto, T.; Pineda, S. J.; Young, R. G.; Mansour, J. M.; Caplan, A. I.; and Goldberg, V. M.:** Mesenchymal cell-based repair of large, full-thickness defects of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am*, 76(4): 579-592, 1994.
149. **Weber, W., and Weber, E.:** Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung. *Göttingen, in der Dieterichschen Buchhandlung*, 1836.
150. **Wirth, C. J.:** Kniegelenk; In: *Praxis der Orthopädie Band 2 (3. Auflage)*. Edited by Wirth, C. J., and Jäger, M., 506-554, Stuttgart, New York, Thieme Verlag, 2001.
151. **Wirth, C. J., and Kusswetter, W.:** [Isolated rupture of the anterior cruciate ligament. Clinical and experimental study (author's transl)]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 91(3): 239-242, 1978.
152. **Yamashita, F.; Sakakida, K.; Suzu, F.; and Takai, S.:** The transplantation of an autogeneic osteochondral fragment for osteochondritis dissecans of the knee. *Clin Orthop Relat Res*, (201): 43-50, 1985.
153. **Yoo, J. U.; Barthel, T. S.; Nishimura, K.; Solchaga, L.; Caplan, A. I.; Goldberg, V. M.; and Johnstone, B.:** The chondrogenic potential of human bone-marrow-derived mesenchymal progenitor cells. *J Bone Joint Surg Am*, 80(12): 1745-1757, 1998.

VIII Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACT	Autologe Chondrozyten Transplantation
AM	Außenmeniskus
AOSSM	American Orthopaedic Society for Sports Medicine
APOSSM	Asia Pacific Orthopaedic Society for Sports Medicine
cm	Zentimeter
ESSKA	European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery & Arthroscopy
Fc	Femurkondylus
HKB	Hinteres Kreuzband
HTO	high tibial osteotomy
IKDC	International Knee Documentation Committee
IM	Innenmeniskus
kg	Kilogramm
km	Kilometer
lat	lateral
li	links
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
m	männlich
Max	Maximum
med	medial
Min	Minimum
mm	Millimeter
MRT	Magnet Resonanz Tomographie
N	Newton
n	Anzahl an Patienten
Nr.	Nummer
OATS	Osteochondrale autologe Transplantation
OD	Osteochondrosis dissecans
OP	Operation
p	Signifikanzwert (p-Wert)
PCT	Posterior condyle transfer
re	rechts
s.	siehe
spir	Spectral Presaturation with Inversion-Recovery
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
VKB	Vorderes Kreuzband
w	weiblich

IX Anhang

Anhang 1:

Lysholm Score

Hinken		Gehstützen		Schwellung	
Nein	5	keine	5	keine	10
Leicht / zeitweise	3	Gehstützen	2	nach besonderer Aktivität	6
Deutlich / immer	0	nicht belastbar	0	nach normaler Aktivität	2
				Immer	0

Blockaden		Treppensteigen		Hocken	
Keine	15	ohne Probleme	10	ohne Probleme	5
Pseudoblockade	10	gerige Probleme	6	geringe Probleme	4
Einzelne	6	nur Schrittweise	2	nicht über 90°	2
Häufige	2	nicht möglich	0	nicht möglich	0
Blockiert	0				

Instabilität

Kein Instabilitätsgefühl	25
„giving way“ selten während des Sports / anderen schweren Anstrengungen	20
„giving way“ häufig während des Sports / anderen schweren Anstrengungen (oder unmöglich daran teilzunehmen)	15
„giving way“ gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10
„giving way“ oft während Tätigkeiten des Alltags	5
„giving way“ bei jedem Schritt	0

Schmerzen

Keine	25
Unregelmäßig und gering bei schwerer Anstrengung	20
Deutlich / ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15
Nach Gehen > 2km	10
Nach Gehen < 2km	5
Ständig	0

Anhang 2:**IKDC 2000****FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES**

Name _____

Heutiges Datum:

Datum der Verletzung

/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Tag	Monat	Jahr								

Symptome*:

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

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?

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

2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (Nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (ständig Schmerzen).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nie										ständig

3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht mit zunehmender Stärke der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
keine										unerträgliche

4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung?

- überhaupt nicht
- etwas
- ziemlich
- sehr
- extrem

5. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?

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

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

- Ja
- Nein

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

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

SPORTLICHE BETÄTIGUNG:**8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?**

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

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

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

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

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen									Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten	

DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen									Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten	

Anhang 3:**IKDC 2000****FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES**

Name des Patienten _____

Geburtsdatum: _____ / _____ / _____
Tag Monat JahrGeschlecht: w m

Alter: _____

Untersuchungsdatum: _____ / _____ / _____
Tag Monat JahrAllgemeine Laxizität: verminderte Laxizität
 normal
 erhöhte LaxizitätBeinachse: eindeutig Varus
 normal
 eindeutig ValgusPatellastellung: baja
 normal
 altaSubluxation/Dislokation der Patella: zentriert
 sublaxierbar
 sublaxiert
 disloziert**Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung):**Betroffene Seite: passiv _____ / _____ / _____ aktiv _____ / _____ / _____
Normale Seite: passiv _____ / _____ / _____ aktiv _____ / _____ / _____**SIEBEN GRUPPEN****VIER GRADE*****GRUPPENGRADE**

	Normal	Fast normal	Abnormal	Deutlich abnormal	A	B	C	D
1. Erguß	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> leicht	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Passives Bewegungsdefizit

Δ Streckdefizit	<input type="checkbox"/> < 3°	<input type="checkbox"/> 3-5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> > 10°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Beugedefizit	<input type="checkbox"/> 0-5°	<input type="checkbox"/> 6-15°	<input type="checkbox"/> 16-25°	<input type="checkbox"/> > 25°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					*GRUPPENGRAD			
					A	B	C	D

3. Ligamentuntersuchung (manuell, instrumentell, Röntgen)

Δ Lachman Test (25° Beugung; 134N)	<input type="checkbox"/> 1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> <-1- -3	<input type="checkbox"/> < -3 steif						
Δ Lachman Test (25° Beugung; manuell, max.)	<input type="checkbox"/> 1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Vorderer Endpunkt: <input type="checkbox"/> fest		<input type="checkbox"/> unsicher					
Δ Gesamt AP-Translation (25°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Gesamt AP-Translation (70°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Hintere Schublade (70°)	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Valgusstress	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Varusstress	<input type="checkbox"/> 0-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm	<input type="checkbox"/> 6-10mm	<input type="checkbox"/> >10mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Außenrotationstest (30°)	<input type="checkbox"/> < 5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> 11-19°	<input type="checkbox"/> >20°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Außenrotationstest (90°)	<input type="checkbox"/> < 5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> 11-19°	<input type="checkbox"/> >20°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Pivot shift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> +Gleiten	<input type="checkbox"/> ++(dumpf)	<input type="checkbox"/> +++ (laut)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Δ Reverse pivot shift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> Gleiten	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> ausgeprägt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Kompartimentbefunde	Krepitation	Krepitation mit	
Δ Krepitation anterior (PF) >leichtem	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem <input type="checkbox"/>
			Schmerz Schmerz
Δ Krepitation mediales Komp. >leichtem	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem <input type="checkbox"/>
			Schmerz Schmerz
Δ Krepitation laterales Komp. >leichtem	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> leichtem <input type="checkbox"/>
			Schmerz Schmerz
Transplantatentnahme- morbidity	<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> deutlich

				*GRUPPENGRAD			
				A	B	C	D
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Röntgenbefund							
Medialer Gelenkspalt							
<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lateraler Gelenkspalt							
<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Femoropatellar-Gelenk							
<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vorderer Gelenkspalt (sagittal)							
<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)							
<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Funktionstest							
Hüpfen auf einem Bein							
<input type="checkbox"/> $\geq 90\%$	<input type="checkbox"/> 89-76%	<input type="checkbox"/> 75-50%	<input type="checkbox"/> $< 50\%$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(in % der gegenüberliegenden Seite)							
** Abschlußbeurteilung				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

**Abschlußbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Abschlußbeurteilung nach dem schlechteren Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen. Bei einer Abschlußbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert.

Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

IKDC-AUSSCHUSS:

AOSSM: Anderson, A., Bergfeld, J., Boland, A., Dye, S., Feagin, J., Harner, C., Mohtadi, N., Richmond, J., Shelbourne, D., Terry, G.

ESSKA: Staubli, H., Hefti, F., Höher, J., Jacob, R., Müller, W., Neyret, P.

APOSSM: Chan, K., Kurosaka, M.

Anhang 4:**Nachuntersuchungsbogen, Röntgen- und MRT-Protokoll****Nachuntersuchung MegaOATS****Sportorthopädie München**

Name: _____
 Gewicht: _____

Geb.Datum: _____
 Größe: _____

I. Diagnose: _____

Lokalisation: Femurkondylus links rechts
 medial lateral

Größe des Defekts (in cm²): _____
 Zeitpunkt der Diagnose: _____
 Datum des Mega-OATS Eingriffs: _____
 Followup: _____

Voroperationen:

Zusatzeingriffe:

Komplikationen:

II. Anamnese:**Schmerzen:**

Keine	<input type="checkbox"/> 25
Unregelmäßig und gering bei schwerer Anstrengung* ¹	<input type="checkbox"/> 20
Deutlich / ausgeprägt während schwerer Anstrengung	<input type="checkbox"/> 15
Nach Gehen > 2km	<input type="checkbox"/> 10
nach Gehen < 2km	<input type="checkbox"/> 5
Ständig	<input type="checkbox"/> 0

*¹ welche:

Schmerzmedikation:

Arztkonsultationen (Orthopäde):**Aktivitätsgrad:**

	preinjury	prae OP	post OP
Leistungssport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 3x pro Woche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sportlich (1-3x/ Woche)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ohne Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
niedrig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sportarten: preinjury

prae OP

post OP

Physiotherapie:nach Verordnung? JA NEIN **Instabilität:**

Kein Instabilitätsgefühl	<input type="checkbox"/>	25
„giving way“ * ¹		
selten während des Sports / anderen schweren Anstrengungen	<input type="checkbox"/>	20
„giving way“		
häufig während des Sports / anderen schweren Anstrengungen (oder unmöglich daran teilzunehmen)	<input type="checkbox"/>	15
„giving way“ gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	<input type="checkbox"/>	10
„giving way“ oft während Tätigkeiten des Alltags	<input type="checkbox"/>	5
„giving way“ bei jedem Schritt	<input type="checkbox"/>	0

*¹ plötzlicher Tonusverlust mit Beugung im Kniegelenk**III. Inspektion:**

Achsenvergleich: eindeutig genu varum
eindeutig genu valgum

Gangbild:

Hinken: Nein 5
Leicht / zeitweise 3
Deutlich / immer 0

Gehstützen:	keine	<input type="checkbox"/>	5		
	Gehstützen	<input type="checkbox"/>	2		
	Nicht belastbar	<input type="checkbox"/>	0		
Blockaden:	Keine	<input type="checkbox"/>	15		
	Pseudoblockade* ¹	<input type="checkbox"/>	10		
	Einzelne	<input type="checkbox"/>	6		
	Häufige	<input type="checkbox"/>	2		
	Blockiert	<input type="checkbox"/>	0		
	<i>*¹ Gefühl der Einklemmung, aber keine Blockierung</i>				
Treppensteigen:	ohne Probleme	<input type="checkbox"/>	10		
	geringe Probleme * ²	<input type="checkbox"/>	6		
	nur schrittweise * ²	<input type="checkbox"/>	2		
	nicht möglich * ²	<input type="checkbox"/>	0		
	² Schmerzen (vermehrt)	<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+
	Instabilitätsgefühl (vermehrt)	<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+
Hocken:	ohne Probleme	<input type="checkbox"/>	5		
	geringe Probleme	<input type="checkbox"/>	4		
	nicht über 90°	<input type="checkbox"/>	2		
	nicht möglich	<input type="checkbox"/>	0		
Gehen im Entengang:					
möglich	<input type="checkbox"/>				
nicht möglich	<input type="checkbox"/>				
Schmerzen	<input type="checkbox"/>				
Instabilitätsgefühl	<input type="checkbox"/>				

IV. Befund:

Betroffenes Knie:

Narben				
Länge	_____	reizlos	<input type="checkbox"/>	gereizt
Sensibilität	_____			<input type="checkbox"/>
Rötung	<input type="checkbox"/>			
Überwärmung	<input type="checkbox"/>			
Erguss	<input type="checkbox"/>			
Schwellung		keine	<input type="checkbox"/>	10
		nach besonderer Akt.* ¹	<input type="checkbox"/>	6
		nach normaler Akt.	<input type="checkbox"/>	2
		Immer	<input type="checkbox"/>	0
		<i>*¹ welche:</i>		

Patella:

- Verschiebbarkeit im Seitenvergleich - +/- +
 Druckschmerz + ∅
 Zohlen Zeichen positiv
 negativ
 Facetten Schmerz medial
 lateral

Kniegelenk:

- Druckschmerz im Gelenkspalt
medial ++ + ∅
lateral ++ + ∅

- Druckschmerz Kollateralbänder
medial proximal distal ∅
lateral proximal distal ∅

- Stabilität der Kollateralbänder
medial seitengleich
 Aufklappbarkeit ↑
 Aufklappbarkeit ↓
lateral seitengleich
 Aufklappbarkeit ↑
 Aufklappbarkeit ↓

- Flexion / Extension (passiv)
betroffenes Bein _____ - _____ - _____
gesundes Bein _____ - _____ - _____

- Kreuzbänder
VKB Lachman +++ ++ + -
 Schublade: +++ ++ + -
 fester Anschlag JA NEIN
HKB Schublade: +++ ++ + -
 fester Anschlag JA NEIN

- Menisci
Steinmann I: Außenrotation positiv negativ
 Innenrotation positiv negativ
Steinmann II: positiv negativ
Payr: positiv negativ

V. Subjektive OP-Beurteilung:

- gelohnt NEIN JA
 in selber Situation wieder OP NEIN JA

Verbesserung der Kniefunktion NEIN JA^{*1}
^{*1}um _____ Prozent

VI. Röntgen-Protokoll

Name: _____ Geb. Datum: _____ Datum: _____
 OP Datum: _____

Defektlokalisierung: medialer FC lateraler FC
 linkes KG rechtes KG

KLASSIFIKATION NACH JÄGER & WIRTH

- | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Praeoperativ (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 6w postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 3m postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 6m postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 1a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 1-2 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 3-4 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 4-5 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 5-6 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 6-7 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |
| <input type="checkbox"/> 7-8 a postOP (_____) | <input type="checkbox"/> Grad I | <input type="checkbox"/> Grad II | <input type="checkbox"/> Grad III | <input type="checkbox"/> Grad IV |
| Besonderheiten: _____ | | | | |

VII. MRT-Protokoll

Name: _____

Geb. Datum: _____

Datum: _____

Kondylentransfer: rechter FC linker FC
 medial lateral

1. Zylinder:subchondraler Knochen: normal Ödem Zysten avitalKnorpel: normal
 Schaden Grad I/II *1 Grad III *1 Grad IV *1*1 in Anlehnung an die Outerbridge
Klassifikation**2. restliches Kniegelenk:**subchondraler Knochen normal Ödem Zysten

Lokalisation: _____

Knorpel: normal
 Schaden Grad I/II *1 Grad III *1 Grad IV *1*1 in Anlehnung an die Outerbridge
Klassifikation *

Lok. _____

Lok. _____

Lok. _____

3. Menisci: Status nach Teilresektion
 degenerative Veränderungen Riss im Hinterhorn
 ohne pathologischen Befund**4. Spenderbereich:** scharfkantig abgerundet
 Hyperostosen Osteophyten**5. Erguß:** kein mäßig erheblich

X Danksagung

An dieser Stelle möchte ich noch einmal ganz besonders danken:

Univ.-Prof. Dr. med. A.B. Imhoff

für die Vergabe des Themas, der Möglichkeit in seiner Abteilung die Arbeit durchzuführen und für die freundliche Unterstützung.

Dr. med. S. Braun

für die Betreuung meiner Dissertation, die auch nach seinem Arbeitsplatzwechsel immer erstklassig war.

PD Dr. med. K. Wörtler

für die Anfertigung der MRTs und für die Unterstützung bei der radiologischen Auswertung.

Regina Hollweck

für die Beantwortung vieler Fragen bei der statistischen Auswertung und der Handhabung der SPSS Software.

Allen Mitarbeitern der Abteilung für Sportorthopädie

für eine sehr gute Zusammenarbeit bei der Nachuntersuchung der Patienten.

Meinem Vater

für die Unterstützung in jeglicher Hinsicht.