

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR UNFALLCHIRURGIE
PROF. DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Radiologische und klinische Ergebnisse der medial öffnenden hohen Tibia Osteotomie-
mit versus ohne Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen Knochen**

Inaugural–Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Tobias Stefan Resch

2023

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR UNFALLCHIRURGIE
PROF. DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Radiologische und klinische Ergebnisse der medial öffnenden hohen Tibia Osteotomie-
mit versus ohne Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen Knochen**

Inaugural–Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Tobias Stefan Resch

2023

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Peter Angele

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Ernst-Michael Jung

Tag der mündlichen Prüfung:

17.04.2024

Meiner Familie und Regina

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	8
1.1 Die Varus-Fehlstellung und ihre Rolle in der Ätiologie von Kniegelenkspathologien....	8
1.2 Die hohe Tibia Osteotomie.....	11
1.2.1 Historie und Entwicklung	11
1.2.2 Ziele	11
1.2.3 Indikationen und Kontraindikationen	12
1.2.4 Ergebnisse	13
1.2.5 öffnende vs. schließende Operationstechnik.....	15
1.2.6 Komplikationen.....	15
1.2.7 Auffüllung des Osteotomiespalts	16
1.3 Fragestellungen, Hypothesen und Ziel der Studie.....	18
2. METHODIK.....	19
2.1 Studienbeschreibung, Patientenrekrutierung, Ein- und Ausschlusskriterien.....	19
2.2 Klinisches Vorgehen.....	20
2.2.1 Präoperative Planung	20
2.2.2 Operationstechnik	21
2.2.3 Kombinationseingriffe	24
2.2.4 Nachbehandlung	25
2.3 Auswertungsparameter	26
2.3.1 Demographische, operationsspezifische und klinische Daten	26
2.3.2 Radiologische Messungen	26
2.3.3 Subjektiver IKDC 2000 Score	29
2.3.4 Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score.....	31
2.3.5 Tegner-Aktivitätsscore.....	31
2.3.6 Abschließender Zusatzfragebogen.....	32

2.4 Statistische Analyse	33
2.5 Studienpopulation	34
2.5.1 Ein- /Ausschlüsse und Gruppeneinteilung	34
2.5.2 Demographische Daten	35
2.5.3 Operationsspezifische Daten	35
3. ERGEBNISSE.....	38
3.1 Radiologische Ergebnisse.....	38
3.1.1 Knöcherne Durchbauung des Osteotomiespalts	38
3.1.2 Radiologische Winkel.....	39
3.2 Klinische Ergebnisse	41
3.2.1 Subjektiver IKDC 2000 Score	41
3.2.2 Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score.....	42
3.2.3 Tegner-Aktivitätsscore.....	43
3.2.4 Subjektive Patientenzufriedenheit	44
3.2.5 Schmerzen in Ruhe und bei Bewegung	45
3.2.6 Bewegungsumfang.....	45
3.2.7 Zeit bis zur Vollbelastung.....	45
3.2.8 Rückkehr zur Arbeit.....	46
3.2.9 Rückkehr zum Sport	46
3.2.10 Komplikationen, Revisionen und Konversionen zur Totalendoprothese	48
3.2.11 Zeit bis zur Plattenentfernung	50
3.3 Korrelationen	50
3.4 Subgruppenanalyse	52
3.4.1 HTO mit Knorpeltherapie	52
3.4.2 HTO ohne Knorpeltherapie.....	54
3.4.3 HTO ohne Auffüllung: <i>TomoFix-</i> versus <i>PEEKPower-HTO-Platte</i>	55
3.4.4 HTO mit allogenen Knochen: <i>TomoFix-</i> versus <i>PEEKPower-HTO-Platte</i>	57
4. DISKUSSION	58

5. FAZIT.....	76
6. ZUSAMMENFASSUNG.....	77
7. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	80
8. LITERATURVERZEICHNIS	81
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
10. TABELLENVERZEICHNIS	101
11. ANHANG.....	102

1. EINLEITUNG

1.1 Die Varus-Fehlstellung und ihre Rolle in der Ätiologie von Kniegelenkspathologien

Die mechanische Achse des Beins, die sog. Mikulicz-Linie, verbindet das Hüftkopfbereich mit dem Zentrum des oberen Sprunggelenks. Unter physiologischen Bedingungen verläuft diese Traglinie ca. 4 ± 2 mm medial des Kniegelenkszentrums. Das Tibiaplateau und die Tangente der Femurkondylen liegen nahezu parallel zueinander. Der Gelenkflächenwinkel (GFW) zwischen den beiden Linien beträgt $0-1^\circ$ (Abbildung 1a) (1). Die mechanische Beinachse beträgt bei jungen, gesunden Erwachsenen im Mittel 1.3° Varus (2). Die Varus-Fehlstellung (Genu varum) ist eine Pathologie in der Frontalebene (3). Hierbei ist der Gelenkflächenwinkel nach lateral geöffnet, die interkondyläre Distanz (IKD) zwischen den medialen Femurkondylen des rechten und linken Beins ist vergrößert und die Mikulicz-Linie verläuft weiter medial als der 4mm-Punkt. Es besteht somit eine mechanische Achsendeviation (MAD) nach medial bzw. eine Varusdeviation (Abbildung 1b) (1).

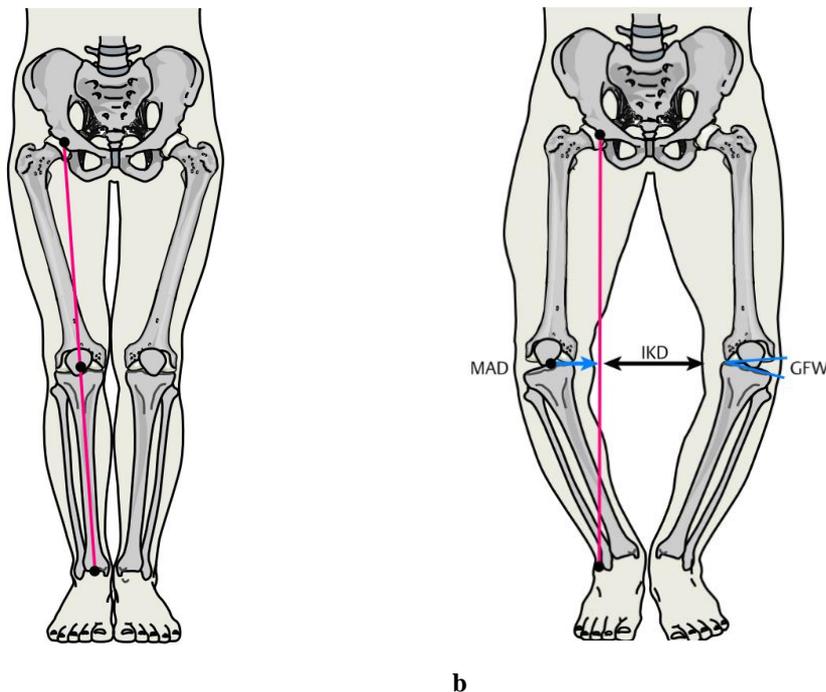


Abbildung 1 Darstellung von Achsverhältnissen: **a** Physiologische Achsverhältnisse, **b** Genu varum (4)

Die Entwicklung der physiologischen Beinachse verläuft vom Säuglings- bis ins Erwachsenenalter in entwicklungspezifischen Stadien. Von der Geburt bis zum vollendeten ersten Lebensjahr ist eine varische Beinachse typisch. Diese wandelt sich belastungsbedingt bis

zum dritten bzw. vierten Lebensjahr in eine valgische Beinachse. Spätestens bis zum zehnten Lebensjahr sollte eine gerade bis minimal varische Beinachse erreicht sein (3).

Ursachen für ein pathologisches Genu varum sind Knochenfehlstellungen, intraartikuläre Defekte oder eine Laxizität des Bandapparats. Knöcherne Fehlstellungen von Tibia und Femur, vor allem im metaphysären Bereich, sind meist konstitutionell bedingt, der Gelenkspalt bleibt vorerst parallel (5). Bis zu 32% der gesunden Männer weisen eine konstitutionelle Varus-Fehlstellung auf. Unter gesunden Frauen beträgt der Anteil etwa 17% (2). Im Gegensatz zum konstitutionell bedingten Genu varum verschmälert sich bei intraartikulären Defekten, beispielsweise bei Verlust der Menisken oder bei mechanisch bedingter Dickenabnahme des hyalinen Gelenkknorpels, ein Gelenkspalt und der andere weitet sich. Bei ligamentärer Instabilität im Kniegelenk vergrößert sich ein Gelenkspalt, während der andere unverändert bleibt. Diese Einflussgrößen können in Kombination auftreten und sich insbesondere bei fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen überschneiden (5). Auch Systemerkrankungen wie beispielsweise Rachitis oder Achondroplasie oder posttraumatische Achsveränderungen können ursächlich für ein Genu varum sein (3).

Eine Varus-Fehlstellung resultiert in einer vermehrten Belastung des medialen Gelenkkompartiments, das bereits bei einer neutralen Beinachse über 70% der Kraft, die während des Gehens auf das Knie wirken, trägt (6,7). Diese vermehrte Belastung führt zu einer signifikant schnelleren Progression von Arthrose im medialen Gelenkkompartiment (mediale Gonarthrose) als bei neutralen Achsverhältnissen (8). In einigen Studien konnte neben der schnelleren Arthroseprogression auch ein erhöhtes Risiko für eine Neuentstehung einer medialen Gonarthrose in einem vorher gesunden Knie gezeigt werden (9,10). So beschrieben beispielsweise Sharma et al. ein 3.5-fach erhöhtes Risiko für einen Verlust des medialen Gelenkknorpels bei Varus-Fehlstellung im Vergleich zu physiologischen Achsverhältnissen (10). Die Varus-Fehlstellung ist somit ein Beispiel für eine präarthrotische Deformität, eine die Gelenkmechanik verändernde Form- oder Funktionsstörung, die im Verlauf zu einer medialen Gonarthrose führen kann (1,11). Andere Prädispositionsfaktoren für die Entstehung einer medialen Gonarthrose sind Alter, weibliches Geschlecht, Übergewicht, vermehrte Belastung bzw. Beanspruchung, genetische Prädisposition, vorhergehende Traumata, Kniegelenksinstabilitäten, verschiedene Systemerkrankungen mit entzündlicher Komponente, aseptische Knochennekrosen oder lokale Überlastungen durch Meniskusläsionen (12,13). Das Lebenszeitrisko für die Entwicklung einer symptomatischen Gonarthrose wird auf 45% geschätzt und die Inzidenz der Erkrankung wird auch in Zukunft aufgrund der alternden Bevölkerung und der zunehmenden Problematik mit Übergewicht in der westlichen Welt weiter

ansteigen (14,15). Dies unterstreicht nochmals die hohe sozialmedizinische Bedeutung des Krankheitsbildes (16). Alleine im Jahr 2015 verursachte die Gonarthrose über 8.7 Milliarden Euro an Gesundheitskosten in Deutschland und es wurden im Jahr 2017 ca. 132.000 Patienten aufgrund dieser Diagnose krankgeschrieben, was insgesamt 5.9 Millionen Krankheitstagen entspricht (17,18).

Die Varus-Fehlstellung beeinflusst neben der medialen Gonarthrose auch die Entstehung bzw. den Verlauf von anderen Kniegelenkspathologien. Brown et al. konnten bei 2/3 der untersuchten Patienten mit einer symptomatischen Osteochondrosis dissecans eine Achsfehlstellung in der Frontalebene feststellen (19). Es ist bekannt, dass unbehandelte fokale Knorpelläsionen zur Progression neigen und diese Entwicklung durch die vermehrte Belastung des medialen Kompartiments beim Genu varum negativ beeinflusst werden kann. In diesem Zusammenhang ist die Achsfehlstellung auch ein prognostischer Faktor für das Versagen von knorpelregenerativen Therapien (20). Auch bei Kniegelenksinstabilitäten nach ligamentären Verletzungen und dem Versagen von Bandplastiken spielen die Achsverhältnisse der unteren Extremität eine entscheidende Rolle (21). Selbst bei physiologischer Beinachse kommt es beim Gehen aufgrund des Adduktionsmoments des Unterschenkels zu einer Spannungszunahme auf den lateralen und posterolateralen Bandapparat. Dieser Effekt wird durch eine Varus-Fehlstellung noch verstärkt, was ein potentiell Risiko für Bandrekonstruktionen in diesem Bereich darstellt (22). Die Varus-Fehlstellung mit kombinierter Bandinstabilität teilten Noyes et al. in drei Typen ein: Der primäre Varus ist vor allem auf die knöchernen Geometrie zurückzuführen und kann durch Knorpel- oder Meniskusverlust verstärkt werden. Beim sekundären Varus (double varus) kommt es aufgrund einer Elongation der lateralen Bandstrukturen zum sog. Varus Thrust-Phänomen, einem vermehrten lateralen Aufklappen des Kniegelenks beim Gehen. Beim tertiären Varus (triple varus) kommt es bei zusätzlicher Insuffizienz des posterolateralen Bandapparats zum Hyperextensions Varus Thrust-Phänomen (23). Vor allem der sekundäre und tertiäre Varus führt zu einer vermehrten Belastung des vorderen Kreuzbandes (VKB) und ist somit ein Risikofaktor für eine persistierende VKB-Insuffizienz nach Bandplastik (24). Hierbei spielt auch die dorsale Abkippung des Tibiaplateaus in der Sagittalebene, der sog. Tibia Slope, eine wichtige Rolle, worauf im Verlauf noch näher eingegangen werden soll.

1.2 Die hohe Tibia Osteotomie

1.2.1 Historie und Entwicklung

Die erste hohe Tibia Osteotomie (high tibial osteotomy, HTO) wurde 1941 zur Therapie einer medialen Gonarthrose von Wardle durchgeführt (25). Vor allem durch die Arbeiten von Jackson und Waugh im Jahr 1961, bzw. Coventry im Jahr 1965, verbreitete sich zunächst die lateral schließende Technik der HTO (closed-wedge HTO) und erlangte allgemeine Akzeptanz (26–28). Die medial öffnende Technik (open-wedge HTO) wurde 1987 von Hernigou erstbeschrieben (29). Aufgrund der Erfolge von Totalendoprothesen und unikompartimentellen Endoprothesen geriet die HTO im Verlauf beinahe in Vergessenheit (30). Speziell bei jungen, berufstätigen Patienten mit hohem funktionellem Anspruch zeigte sich jedoch eine höhere Versagensrate der Endoprothesen mit kürzeren Standzeiten und geringerer Patientenzufriedenheit als bei älteren Patienten (31). Neue Erkenntnisse zur Rolle der Varus-Fehlstellung in der Entstehung und Progression der Gonarthrose und die Erweiterung der Indikationsstellung hinsichtlich begleitender Bandinstabilitäten in den 1990er Jahren führten zu einer Wiederentdeckung der HTO als gelenkerhaltende Therapieform (9,32). Aufgrund der Einführung von winkelstabilen Plattensystemen und einer verbesserten Operationstechnik erfreut sich vor allem die medial öffnende Technik aktuell zunehmender Beliebtheit (5).

1.2.2 Ziele

Das Hauptziel einer HTO ist, das von Gonarthrose oder fokalen Knorpelschäden betroffene mediale Kompartiment durch eine Korrektur der Varus-Fehlstellung mit einer Verschiebung der mechanischen Achse des Beins nach lateral zu entlasten. Dies soll Schmerzen lindern, die Funktionalität des Kniegelenks verbessern, Arthroseprogression verlangsamen und die Implantation einer Totalendoprothese vermeiden oder diese zumindest hinauszögern (31,33–35).

Durch knorpelregenerative Verfahren wie der Mikrofrakturierung, dem osteochondralen Zylindertransfer (OCT) oder der Matrix-assoziierten autologen Chondrozytentransplantation (MACT) behandelte mediale Knorpeldefekte können durch eine begleitende HTO entlastet werden. Außerdem können Bandinstabilitäten durch einen Ausgleich der Achsfehlstellung vermindert bzw. die auf mögliche Rekonstruktionen wirkenden Kräfte reduziert werden (30,35).

1.2.3 Indikationen und Kontraindikationen

Im Jahr 2004 definierte die International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine (ISAKOS) den idealen Patienten für eine HTO: ein nicht rauchender, junger Patient (40-60 Jahre) mit isolierter symptomatischer medialer Gonarthrose bei normalem lateralem und patellofemoralem Kompartiment, einem Body-Mass-Index (BMI) unter 30, einer konstitutionellen Varus-Fehlstellung ($5-15^\circ$), einem hohen funktionellen Anspruch (ohne Laufen und Springen), vollem Bewegungsumfang im Knie, normaler Bandstabilität und einer gewissen Schmerztoleranz (30). Kontraindikationen für eine HTO sind u.a. Arthrose, bzw. endgradige Knorpelschäden im lateralen Kompartiment, Verlust des Außenmeniskus, starkes Übergewicht, stark eingeschränkter Bewegungsumfang und lokale oder systemische Entzündungen (1,4,30). Rauchen ist eine relative Kontraindikation, vor allem für die medial öffnende Operationstechnik, da es nachweislich die Knochenheilung hemmt (1). Lange wurden Bandinstabilitäten als Kontraindikation für eine HTO angesehen. Mittlerweile ist diese eine verbreitete Therapieoption zur Behandlung von Bandinstabilitäten bei Genu varum, sowohl als eigenständiges Verfahren, als auch als Kombinationseingriff (34,36). Neben den bereits beschriebenen biomechanischen Auswirkungen der Varus-Fehlstellung auf den Bandapparat des Kniegelenks waren neue Erkenntnisse über den Einfluss des Tibia Slope auf die antero-posteriore Kniegelenksstabilität Grundlage für diese Entwicklung (37).

Der Tibia Slope bezeichnet die dorsale Inklinations des Tibiaplateaus in der Sagittalebene, sein Normwert beträgt abhängig von der Messmethode $10^\circ \pm 3^\circ$ (38,39). Bei Belastung kommt es durch axialen Druck und den Zug des Musculus quadriceps femoris zu einer anterioren Translation der Tibia relativ zum Femur (39). Das Ausmaß dieser Translationsbewegung steigt mit zunehmenden, d.h. steilerem Tibia Slope (40). Dadurch steigt die Krafteinwirkung auf das VKB, was mit einer höheren Versagensrate einer VKB-Plastik einhergeht (41). Analog dazu steigt die Belastung auf das hintere Kreuzband (HKB) und die Ausprägung der hinteren Schublade bei flacherem Tibia Slope (42,43). Mittels der biplanar öffnenden Operationstechnik kann während der HTO der Tibia Slope bei Insuffizienz des HKB erhöht und bei Insuffizienz des VKB verringert werden. Auch eine Streckhemmung von bis zu 10° kann durch eine Slopereduktion behoben werden (5). Aktuelle Empfehlungen von Experten raten zu einer kombinierten HTO bei Rekonstruktionen des Außenbandes oder der posterolateralen Bandstrukturen ab einem Varus von 5° (44). Bei VKB-Insuffizienz sollte eine kombinierte Therapie aus VKB-Plastik und HTO, ggf. mit Slopekorrektur, bei Patienten mit sekundärem oder tertiärem Varus, bei Re-Rupturen und bei symptomatischer medialer Gonarthrose mit

Instabilitätsgefühl erfolgen. Die HTO mit Verringerung des Tibia Slope als alleinige Therapie bei VKB-Insuffizienz und gleichzeitiger Arthrose ist sinnvoll, sofern Schmerzen und weniger die Instabilität in der Symptomatik des Patienten führend sind. Ähnliche Indikationen gelten trotz schlechterer Evidenzlage auch für die Durchführung einer HTO mit oder ohne Bandrekonstruktion bei HKB-Insuffizienz (22).

Zusätzlich zu den genannten Indikationen der HTO wird ihre Durchführung auch für fokale Knorpelschäden im medialen Kompartiment als Kombinationseingriff zur Entlastung von Knorpeltherapien empfohlen (45). Dies sollte bereits ab einem Varus von 3° in Betracht gezogen und ab 5° regelhaft durchgeführt werden (20,45).

Ob ein höheres Alter ab 60 Jahren, wie von der ISAKOS festgelegt, weiterhin als Kontraindikation gelten sollte, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Es gibt sowohl Arbeiten, welche schlechtere Ergebnisse mit einem höherem Risiko für ein Therapieversagen bei älteren Patienten zeigen konnten, als auch Studien mit guten Ergebnissen in dieser Altersgruppe (46–49). Ähnlich umstritten ist auch die Rolle des Übergewichts. So beschreiben einige Studien ein höheres Komplikationsrisiko für übergewichtige Patienten, während andere keinen Einfluss des BMI auf das Behandlungsergebnis ausmachen konnten (50–52). Auch moderate patellofemorale Arthrose ist bei milder Symptomatik nicht länger eine Kontraindikation für eine HTO (5). Bei unklarer Indikationsstellung kann ein Therapieversuch mit einer valgisierenden Knieorthese, die den Effekt einer HTO simuliert, Klarheit schaffen (53).

1.2.4 Ergebnisse

In einer großen Übersichtsarbeit mit 69 inkludierten Studien untersuchten Harris et al. die klinischen Ergebnisse und das Überleben nach einer HTO, definiert als Zeit bis zu einer Revisionsoperation oder Konversion zu einer Totalendoprothese. Die Überlebensrate betrug 92.4% nach 5 Jahren, 84.5% nach 10 Jahren, 77.3% nach 15 Jahren und 72.3% nach 20 Jahren. Die Überlebensrate einer Tibia Osteotomie mit begleitender Knorpeltherapie war mit 97,7% nach 5 Jahren sogar noch besser als die von isolierten Umstellungen. Diverse klinische Scores zeigten eine deutliche Verbesserung gegenüber den präoperativen Ausgangswerten, verschlechterten sich aber leicht mit fortgeschrittener Zeit (35). Niinimäki et al. untersuchten über 3000 HTOs aus einem finnischen Operationsregister. Die Überlebensrate, mit der Implantation einer Totalendoprothese als Endpunkt, betrug 89% nach 5 Jahren und 73% nach 10 Jahren (46). Selbst wenn es nach einer gewissen Zeit zu einem Therapieversagen kommen sollte und die Implantation einer Totalendoprothese notwendig wird, ist diese zwar

operationstechnisch anspruchsvoller als eine primäre Totalendoprothese, die klinischen Ergebnisse und Standzeiten der Prothese waren in den Arbeiten zu diesem Thema jedoch gleichwertig zu einer Primärimplantation (54,55).

Eine weitere Übersichtsarbeit von Webb et al. belegte eine allgemeine Verbesserung des klinischen Outcomes bezüglich Symptomatik, Funktionalität und Aktivität nach einer HTO, allerdings war eine Metaanalyse aufgrund der Heterogenität der erhobenen Scores und Parameter nicht möglich (56). Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch ein Cochrane-Review von Brouwer et al. mit signifikant reduzierten Schmerzen und erhöhter Funktionalität nach einer HTO (57). Etwa 8 von 10 Patienten können nach einer HTO wieder Sport treiben, auch wenn eher weniger belastende und knieschonende Sportarten bevorzugt werden, und in ihren vorherigen Beruf mit gleicher oder sogar höherer Arbeitsintensität zurückkehren (58). Jung et al. konnten nicht nur exzellente klinische Ergebnisse nach zwei Jahren erzielen, sondern auch in einer erneuten Arthroskopie im Rahmen der Plattenentfernung bei einem Großteil der Patienten neu gebildeten Faserknorpel im medialen Kompartiment nachweisen, der sich nur durch die Entlastung des degenerierten Kompartiments gebildet hatte (59). Dies ist auf den positiven Effekt der Entlastung auf die Reparationsmechanismen der Chondrozyten zurückzuführen (20). Patienten mit einer wenig fortgeschrittenen medialen Gonarthrose zeigten generell bessere klinische Ergebnisse als Patienten mit höhergradiger Arthrose. Trotzdem hatte die HTO auch bei Patienten mit einer arthroskopisch festgestellten viertgradigen medialen Gonarthrose, nach der Outerbridge-Klassifikation ein kompletter Knorpelverlust bis zu subchondralen Knochen, einen positiven Einfluss auf Klinik und Funktionalität (60,61). Sogar Patienten mit sog. Kissing Lesions, in Kontakt stehende viertgradige Läsionen nach Outerbridge am medialen Tibiaplateau und der medialen Femurkondyle, profitierten in aktuellen Studien von einer HTO (62,63). Es konnte außerdem ein positiver Effekt der HTO als Kombinationseingriff auf das klinische Ergebnis von Knorpeltherapien gezeigt werden (64). Mittels Ganganalyse wurde bewiesen, dass eine HTO als Begleiteingriff bei einer VKB-Rekonstruktion zu einem verminderten Adduktionsmoment und Varus-Thrust führt und somit die Kräfte auf das VKB reduziert (65). Durch Reduktion des Tibia Slopes im Rahmen der HTO war es möglich bei VKB-Rekonstruktionen bessere klinische Ergebnisse als bei isolierten Bandplastiken zu erreichen und eine Re-Ruptur erfolgreich zu verhindern (66,67). Es konnte ebenfalls ein stabilisierender Effekt der HTO mit Vergrößerung des Tibia Slopes bei HKB- bzw. posterolateraler Instabilität nachgewiesen werden (36).

1.2.5 öffnende vs. schließende Operationstechnik

Hohe Tibia Osteotomien werden gegenwärtig vor allem mittels medial öffnender (open-wedge) oder lateral schließender Technik (closed-wedge) durchgeführt. Bei letzterer wird ein Knochenkeil aus der lateralen Tibia entnommen, der entstehende Osteotomiespalt zugeklappt und mit Klammern oder einer Platte fixiert (5,27). Die medial öffnende Technik, welche in der vorliegenden Studie durchgeführt wurde, wird unter 2.2.2 ausführlich beschrieben. Sie bietet gegenüber der lateral schließenden Technik zahlreiche Vorteile: es ist keine Osteotomie der Fibula nötig und das proximale Tibiofibulargelenk bleibt intakt, es besteht kein Risiko den Nervus Peroneus zu schädigen, die laterale Extensorenmuskulatur bleibt unangetastet, es kommt nicht zu einem Verlust von Knochenmaterial und eine genauere Korrektur inklusive einer Veränderung des Tibia Slope wird ermöglicht (27,34). Darüber hinaus ist die Implantation einer Totalendoprothese nach einer closed-wedge HTO schwieriger durchzuführen als nach einer open-wedge HTO (68). Aus diesen Gründen ist aktuell ein Trend zur häufigeren Verwendung der öffnenden Operationstechnik auszumachen (69,70). Eine Metaanalyse von Kim et al. zeigte eine signifikant höhere Überlebensrate der open-wedge HTO nach 10 Jahren im Vergleich zur closed-wedge HTO (71). Bezüglich Schmerzintensität, funktionellen Scores, Gehstreckenlänge, Dauer der Operation bzw. des Krankenhausaufenthaltes und Komplikationsrate konnten mehrere Metaanalysen keinen Unterschied zwischen den beiden Operationstechniken nachweisen (72–74). Der postoperative Bewegungsumfang ist der einzige klinische Parameter, indem sich die öffnende Technik überlegen zeigte (74).

Allgemein bekannt ist, dass sich der Tibia Slope nach öffnender HTO tendenziell eher vergrößert und nach schließender HTO eher verkleinert (75). Außerdem kann sich die sagittale Stellung der Patella bei der öffnenden Technik ändern. Ihre Höhe neigt dazu abzunehmen, wohingegen sie bei der schließenden Technik öfter konstant bleibt (76).

1.2.6 Komplikationen

Die Komplikationsrate der HTO wird in der aktuellen Literatur zwischen 8% und 31.4% angegeben (77–84). Schwere Komplikationen mit notwendigen Revisionseingriffen sind allerdings sehr selten. So war beispielsweise die allgemeine Komplikationsrate von 29.3% der von Seo et al. analysierten 167 Patienten recht hoch, doch eine schwere Komplikation mit erforderlicher operativer Revision trat nur bei 1.8% der Patienten auf (84). Allgemeine Komplikationen beinhalten u.a. Wundinfektionen, tiefe Beinvenenthrombosen, Gefäß- und Nervenverletzungen und Kompartmentsyndrome. Spezielle Komplikationen der medial

öffnenden HTO sind vor allem mit der knöchernen Heilung und der Stabilisierung des entstehenden Osteotomiespalts assoziiert (83,85,86). In einer älteren Studie von Miller et al. aus dem Jahr 2009 wiesen 15.2% der Patienten einen sekundären Korrekturverlust auf, fast alle waren mit einer Platte der ersten Generation versorgt worden (87). Neuere winkelstabile Platten, wie beispielsweise die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz), bieten nicht nur eine höhere Stabilität und ein geringeres Risiko für einen Korrekturverlust, sondern erlauben außerdem eine schnellere postoperative Belastung (77,88–90). Diese Platten bringen allerdings auch Probleme mit sich, wie höhere Kosten und größenbedingte lokale Beschwerden für den Patienten, welche meistens eine zweizeitige Plattenentfernung notwendig machen (91). Zwischen 1.5% und 25% der Patienten weisen nach einer HTO eine Fraktur des lateralen Tibiakortex (laterale Hingefraktur) auf (86). Die Häufigkeit dieser Frakturen nimmt mit der Größe des geöffneten Osteotomiespalts zu, führt je nach Lokalisation zu Instabilität und ist mit Problemen bei der Knochenheilung und Korrekturverlust assoziiert (92,93). Die knöcherne Durchbauung des bei der medial öffnenden Technik entstehenden Osteotomiespalts beginnt am lateralen Kortex und schreitet mit der Zeit weiter nach medial fort (94). Es handelt sich um eine sekundäre Knochenheilung mit entsprechender Kallusbildung (95). Die Studienlage zur Dauer der knöchernen Konsolidierung ist sehr heterogen. Es werden Durchbauungszeiten von 19.6 Wochen bis 39.1 Wochen für Osteotomien ohne Auffüllung des Osteotomiespalts beschrieben (78,79,96). Die Häufigkeit einer verzögerten bzw. unvollständigen Knochenheilung des Osteotomiespalts (delayed union) wird in der Literatur zwischen 1.4% und 41.7% angegeben. Die Studien unterscheiden sich jedoch teilweise deutlich in der Definition dieser Komplikation (77–79,81,96,97). Die Pseudarthrose des Osteotomiespalts, d.h. eine ausbleibende Knochenheilung (non-union), ist eine seltene aber schwere Komplikation, welche in 2-4% der Fälle auftritt (77,79,83,83,95,97). Eine non-union kann im Verlauf zu Korrekturverlust, Implantatversagen und schlechten klinischen Ergebnissen führen und bedarf meist einer operativen Revision (98). Mögliche Risikofaktoren für eine verzögerte oder fehlende Knochenheilung sind neben instabilen lateralen Hingefrakturen auch Rauchen, Übergewicht und große Öffnungswinkel (97,99,100).

1.2.7 Auffüllung des Osteotomiespalts

Ein Lösungsansatz für die o.g. Problematik der delayed- und non-union ist der Einsatz von Füllmaterialien im Osteotomiespalt, welche die Knochenheilung unterstützen bzw. beschleunigen und zusätzliche Stabilität bringen sollen (94). Grundsätzlich stehen mit

autologem Knochen, allogenem Knochen und synthetischen Knochenfüllern 3 Hauptgruppen an Füllmaterialien zur Verfügung, welche alle Vor- und Nachteile aufweisen (95,101).

Lange wurde der Einsatz von autologem Knochen (Autograft) aufgrund seiner hervorragenden osteokonduktiven und osteoinduktiven Eigenschaften als Goldstandard bei der Auffüllung des Osteotomiespalts angesehen (95,101). Der autologe Knochen (Autograft) wird typischerweise als trikortikaler Beckenspan, welcher aufgrund seiner Struktur zusätzlich die Primärstabilität des Konstrukts erhöht, oder als Beckenkammspongiosa im Rahmen der HTO entnommen (95). Dies hat eine längere OP-Zeit und häufig postoperative Schmerzen an der Entnahmestelle zur Folge und birgt ein Infektionsrisiko aufgrund des zusätzlichen OP-Zugangs (78,95,101–103).

Allogener Knochen (Allograft) ist durch die Arbeit von Knochenbanken und spezialisierten Instituten, wie z.B. dem Deutschen Institut für Zell-und Gewebeersatz (DIZG), heutzutage leicht verfügbar und liegt meist als Chips oder als vorgefertigte Keile bzw. Blöcke vor (78,104). Durch den Einsatz von Allografts können o.g. Entnahmemorbiditäten vermieden werden (102). Potentielle Nachteile sind die fehlenden osteoinduktiven Eigenschaften, sowie die entstehenden zusätzlichen Kosten (34,103). Außerdem besteht die Möglichkeit der Transmission einer Viruserkrankung von Spender auf Empfänger. Bei den modernen Screening- und Sterilisationsverfahren ist dies jedoch nur noch als theoretisches Risiko anzusehen (95,101).

Eine weitere Auffüllungsmöglichkeit ohne Entnahmemorbidität stellen die synthetischen Knochenfüller dar. Sie bestehen zumeist aus Hydroxylapatit, Kalziumphosphaten und Kalziumsulfaten in verschiedenster Zusammensetzung und besitzen osteokonduktive Eigenschaften (105). Synthetische Auffüllungsmaterialien sind ähnlich wie allogener Knochen gut in Chips- oder Block- bzw. Keilform verfügbar und bieten eine gewisse Primärstabilität (78,101). Im Vergleich zu Autograft und Allograft ist das Risiko für eine delayed- und non-union und einen sekundären Korrekturverlust jedoch erhöht (78). Außerdem ist der Einsatz von synthetischen Knochenfüllern mit höheren Infektionsraten assoziiert und die bekannte langsame Resorption des Fremdmaterials kann im Verlauf bei der Implantation einer Endoprothese problematisch werden (78,101,106).

Abschließend bleibt die Möglichkeit den Osteotomiespalt offen zu lassen. Voraussetzung ist die stabile Überbrückung mit winkelstabilen Implantaten (95). Hierfür konnten einige Studien gute klinische Ergebnisse ohne vermehrte Pseudarthrosen oder Korrekturverlust zeigen (79,91,107–109). Es gibt zum Thema jedoch nur wenige vergleichende Studien und nur zwei randomisierte kontrollierte Studien (108,109). Zorzi et al. und Passarelli et al. verglichen jeweils die Knochenheilung mit und ohne Autograft und kamen zu gegensätzlichen Ergebnissen. Zorzi et al. beschrieben ähnliche Durchbauungszeiten, wohingegen Passarelli et

al. eine schnellere Knochenheilung nach Auffüllung mit autologem Knochen vorweisen konnten (108,110).

Ob der Osteotomiespalt nun aufgefüllt werden sollte, und wenn ja, mit welchem Material, ist somit nicht abschließend geklärt (95). In der vorliegenden Arbeit soll deshalb das radiologische und klinische Ergebnis der medial öffnenden HTO mit Allograft als Auffüllungsmaterial mit einer Kontrollgruppe ohne Auffüllung verglichen werden.

1.3 Fragestellungen, Hypothesen und Ziel der Studie

Die vorliegende Studie soll Antworten auf die folgenden Fragestellungen liefern:

1. Wie ist das radiologische Ergebnis im Untersuchungszeitraum von mindestens einem Jahr postoperativ und gibt es Unterschiede in der knöchernen Konsolidierung des aufgefüllten bzw. offenen Osteotomiespalts? Sowohl die Dauer der Durchbauung des Osteotomiespalts, als auch das Auftreten von Komplikationen wie der non-union sollen untersucht werden. Es wird davon ausgegangen, dass Patienten mit Auffüllung eine schnellere knöcherne Durchbauung mit weniger non-unions aufweisen. Bezüglich der prä- und postoperativ gemessenen Winkel erwarten wir keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen.
2. Wie ist das klinische Ergebnis im Untersuchungszeitraum von mindestens einem Jahr postoperativ und gibt es einen Unterschied zwischen Patienten, deren Osteotomiespalt mit allogenen Knochen aufgefüllt wurde, und Patienten mit offenem Osteotomiespalt? Besondere Bedeutung hat hierbei die Erfassung der subjektiven Patientenzufriedenheit und Funktionalität mittels Fragebögen und klinischen Scores. Es wird davon ausgegangen, dass Patienten mit Auffüllung eine höhere Zufriedenheit und Funktionalität aufweisen als die Patienten ohne Auffüllung.
3. Unterscheiden sich Patienten mit oder ohne Auffüllung des Osteotomiespalts bezüglich der Zeit bis zur Vollbelastung? Es wird von einer kürzeren Zeit bis zur Vollbelastung bei Patienten nach Auffüllung ausgegangen.
4. Haben Patienten nach Auffüllung Vorteile gegenüber Patienten ohne Auffüllung bezüglich Rückkehr zur Arbeit? Vor allem die Dauer der Arbeitsunfähigkeit der Patienten nach der OP, sowie ihre Fähigkeit ihren vorher ausgeübten Beruf wiederaufnehmen zu können unter Berücksichtigung etwaiger Einschränkungen ist hierbei von Interesse. Es wird angenommen, dass Patienten mit Auffüllung schneller zur Arbeit zurückkehren können und weniger Einschränkungen in der Ausübung ihres Berufs haben als Patienten ohne Auffüllung.

5. Sind Patienten mit aufgefülltem Osteotomiespalt hinsichtlich der Rückkehr zu Alltagsaktivitäten und Sport Patienten mit offenem Osteotomiespalt überlegen? Wichtig ist hauptsächlich die Dauer bis zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität und die Häufigkeit und Intensität dieser im Vergleich zu den präoperativen Verhältnissen. Es wird angenommen, dass Patienten mit Auffüllung schneller zum Sport zurückkehren und diesen Häufiger und mit größerer Intensität ausüben können als Patienten ohne Auffüllung.

Das Ziel der Studie ist der empirische Beweis der oben genannten Vorteile, um eine dauerhafte Verbesserung des Behandlungsergebnisses, eine beschleunigte Rehabilitation der Patienten nach HTO und eine schnellere Wiederaufnahme der beruflichen Tätigkeit zu erreichen.

2. METHODIK

2.1 Studienbeschreibung, Patientenrekrutierung, Ein- und Ausschlusskriterien

Die vorliegende Arbeit ist eine retrospektive Kohortenstudie. Sie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg überprüft und genehmigt. Alle Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2016 bis 31.03.2018 von Prof. Dr. med. Peter Angele im Caritas Krankenhaus St. Josef in Regensburg, im Asklepiosklinikum Bad Abbach oder in der Asklepiosklinik St. Wolfgang in Bad Griesbach eine medial öffnende HTO erhalten hatten, wurden untersucht.

- Einschlusskriterien der Studie: mediale Gonarthrose oder fokaler Knorpelschaden im medialen Kompartiment, Varus-Fehlstellung $\geq 3^\circ$, Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.
- Ausschlusskriterien der Studie: Alter < 18 Jahre zum Zeitpunkt der Operation, fehlendes Einverständnis zur Teilnahme an der Studie, flächige Chondromalazie $> \text{Grad } 2$ nach der International Cartilage Research Society (111) im lateralen Kompartiment, Rheumatoide Arthritis oder eine andere Erkrankung des rheumatischen Formenkreises, fehlendes Sprachverständnis, Tod während des Nachuntersuchungszeitraums ohne Zusammenhang mit der Operation, zusätzlich durchgeführte femorale Osteotomie oder beidseitige HTO, Auffüllung des Osteotomiespalts mit einem anderen Material als allogenen Knochen.

Nach Bestimmung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden die in die Studie eingeschlossenen Patienten in 2 Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: Patienten, die in 2016 einer medial öffnenden HTO ohne Auffüllung des Osteotomiespalts unterzogen wurden.
- Gruppe 2: Patienten, die in 2017 und Anfang 2018 derselben OP, aber mit Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogener Humanspongiosa in Chipsform (*Spierings Chips*, DIZG, Deutschland) unterzogen wurden.

2.2 Klinisches Vorgehen

2.2.1 Präoperative Planung

Eine genaue präoperative Planung ist unerlässlich, um Unter- und Überkorrekturen zu vermeiden, welche mit frühem Therapieversagen einer HTO assoziiert sind (112). Wie in der Literatur empfohlen, wird je nach zugrundeliegender Pathologie eine individuelle Korrektur vorgenommen, meist mit einer angestrebten postoperativen mechanischen Achse von etwa 1° Valgus (113,114). In der vorliegenden Studie wurde die Planungsmethode nach Miniaci et al. aus dem Jahr 1989 angewandt (115). Hierbei wurde an der präoperativen a.-p.-Ganzbeinstandaufnahme (Abbildung 2) mit der digitalen Bild- und Dokumentenarchiv-Software *mediDOK* (Version V2.0, mediDOK Software, Deutschland) zunächst die Mikulicz-Linie (blaue Linie) zwischen Hüftkopfzentrum und Zentrum des oberen Sprunggelenks eingezeichnet. Die gewünschte postoperative mechanische Beinachse (gelbe Linie) zog vom Hüftkopfzentrum bis auf die Höhe des Gelenkspalts des oberen Sprunggelenks. Zwei weitere Linien (rote Linien) verbanden das Drehzentrum der HTO (A) im Bereich des proximalen Tibiofibulargelenks mit dem Endpunkt der postoperativen Mikulicz-Linie, bzw. mit dem Endpunkt der präoperativen Mikulicz-Linie. Der Winkel Alpha, der von diesen beiden Linien gebildet wurde, entsprach dem geplanten Korrekturwinkel der medial öffnenden HTO.



Abbildung 2 Darstellung der Planungsmethode nach Miniaci et al.

2.2.2 Operationstechnik

Als perioperative Antibiotikaphylaxe wurde 1.5g Cefuroxim intravenös verabreicht. Anschließend führte man unmittelbar vor der medial öffnenden HTO in biplanarer Technik bei allen Patienten eine Arthroskopie des betreffenden Kniegelenks durch. Zur Prüfung der korrekten Operationsindikation wurde der Knorpelstatus in sämtlichen Kniekompartimenten erhoben und nach der ICRS beurteilt (111), die Menisken und Kreuzbänder inspiziert und mögliche Kombinationseingriffe (s. 2.2.3) vorgenommen. Unter angelegter Blutsperre wurde in 90°-Flexionsstellung eine Hautinzision von 6-8cm Länge ventral vom Ansatz des Pes Anserinus nach dorsokranial in Richtung des posteromedialen Randes des Tibiakopfes gemacht. Nachdem Subkutis und Faszie durchtrennt wurden, erfolgte die Präparation der Pes

Anserinus Sehnen, des medialen Anteils des Ligamentum patellae bis zur Tuberositas tibiae und des Innenbandes, dessen oberflächliche Fasern vom tibialen Ansatz abgelöst wurden. Ein Hohmann-Haken wurde am Rand des Tibiakopfes zum Schutz der Weichteile, insbesondere der poplitealen Gefäße, eingebracht. Auch die Patellasehne wurde mit einem Haken geschont. Am gestreckten Bein wurden nun unter radiologischer Kontrolle zwei Kirschner-Drähte parallel in Richtung des oberen Drittels des Tibiofibulargelenks, bis zur lateralen Kortikalis, in den Tibiakopf gebohrt. Unter Zuhilfenahme dieser Kirschner-Drähte wurde die Breite des Tibiakopfes gemessen und die Tiefe der Osteotomie auf dem Sägeblatt markiert. Am gebeugten Bein erfolgte nun die horizontale Osteotomie der posterioren 2/3 der Tibia mit einer oszillierenden Säge, distal der zuvor eingebrachten Führungsdrähte. Dabei blieb ein je nach Öffnungswinkel unterschiedlich breiter Teil des lateralen Tibiakortex (Hinge) erhalten. In einem 140° Winkel in der Frontalebene zur horizontalen Osteotomie wurde anschließend die ventral aufsteigende Osteotomie durchgeführt, welche eine vollständige Durchtrennung der lateralen Tibiakortikalis beinhaltet und dorsal der Tuberositas tibiae endet. Mit Hilfe von mehreren Flachmeißeln folgte die langsame, schrittweise Öffnung des horizontalen Osteotomiespalts, wobei besonders auf die Schonung der für die Stabilität der Osteotomie wichtigen lateralen Hingeregion geachtet wurde (Abbildung 3).

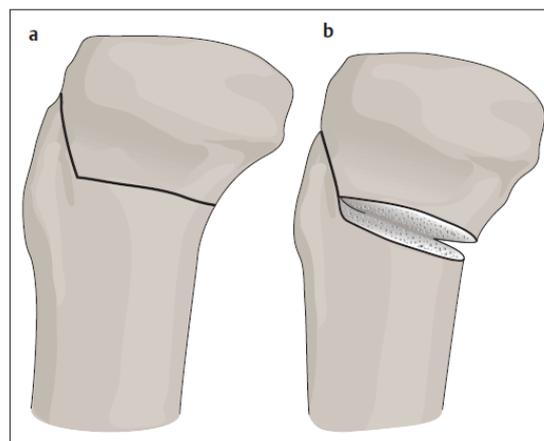


Abbildung 3 Biplanar öffnende Technik: **a** horizontale Osteotomie in den posterioren 2/3 der Tibia und im 140° Winkel dazu vertikale Osteotomie, **b** geöffneter Osteotomiespalt mit intakter lateraler Tibiakortikalis (4)

Nach Erreichen der geplanten Höhe der Osteotomie wurde ein Arthrodesenspreizer in den Osteotomiespalt eingebracht und die Meißel entfernt. Aufgrund der Wirkung des Innenbandes und der besonderen anatomischen Beschaffenheit des Tibiaplateaus (der anteromediale Kortex bildet einen 45° Winkel mit dem posterioren Kortex, wohingegen der laterale Kortex senkrecht zu diesem steht) vergrößert sich der Tibia Slope bei der Durchführung einer open-wedge HTO

regelmäßig (4,75). Um eine Vergrößerung des Tibia Slope zu vermeiden, wurde bei einem Großteil der Patienten eine extendierende biplanare Osteotomie durchgeführt, was bedeutet, dass der Osteotomiespalt gezielt mehr im posterioren als im anterioren Anteil geöffnet wurde. Eine flektierende biplanare Osteotomie, bei der im Gegensatz dazu die Öffnung im anterioren Teil der Osteotomie überwiegt und den Tibia Slope somit vergrößert, blieb Patienten mit einer Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes vorbehalten (Abbildung 4).

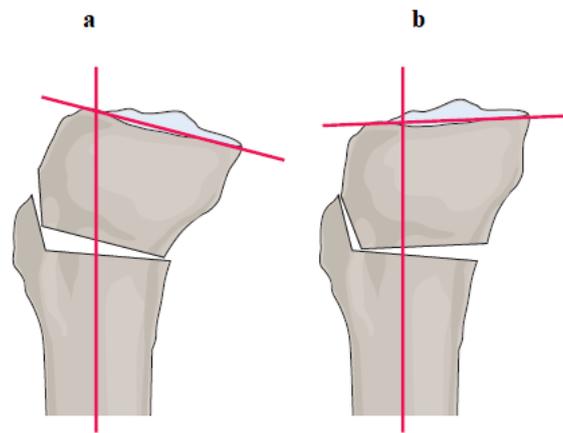


Abbildung 4 Veränderungen des Tibia Slope: **a** Flektierende biplanare Osteotomie mit Vergrößerung des Tibia Slope, **b** Extendierende biplanare Osteotomie mit gleichbleibenden oder verminderten Tibia Slope (4)

Die Beinachse wurde anschließend bei gestrecktem Bein unter radiologischer Kontrolle überprüft und ggf. der Öffnungswinkel der Osteotomie mit dem Arthrodesenspreizer wie präoperativ geplant angepasst.

Unter radiologischer Kontrolle wurde daraufhin entweder die winkelstabile *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz), oder die winkelstabile *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) auf der medialen Seite der Tibia eingebracht und mit Schrauben fixiert. Bei Patienten der Gruppe 1 wurde keine Auffüllung des Osteotomiespalts vorgenommen. Bei Patienten der Gruppe 2 wurde der Osteotomiespalt mit 10-15cm³ *Spierings Chips* (DIZG, Deutschland) aufgefüllt. Hierbei handelt es sich um allogene Humanspongiosa in Chipsform, gewonnen aus Hüftkopf oder Beckenkamm von Spendern und gemahlen mit der sog. *Spierings-Knochenmühle*. Dieses allogene Knochenmaterial war nach einem umfangreichen Screening des Spenders auf Infektionskrankheiten von der DIZG mittels Peressigsäure-Ethanol sterilisiert und gefriergetrocknet worden (116). Nachdem die Chips in einer physiologischen Kochsalzlösung für mindestens 30 Minuten rehydratisiert wurden, brachte man sie in den Osteotomiespalt ein. Die Menge des verwendeten allogenen Knochenmaterials richtete sich nach der Öffnungshöhe der Osteotomie und betrug meist 10cm³. Daraufhin erfolgte eine erneute radiologische Kontrolle zur Dokumentation der Platten- und Schraubenlage. Anschließend

legte man nach gründlicher Spülung eine Redondrainage ein. Letztlich erfolgte die Naht von Faszie, Subkutis und Haut, die Anlage eines sterilen Verbandes und die elastokompressive Wickelung des Beines.

2.2.3 Kombinationseingriffe

Es wurden bei ausgewählten Patienten folgende Eingriffe am Gelenkknorpel in Kombination mit der HTO durchgeführt: Debridement, Mikrofrakturierung, Abrasionsarthroplastik, MACT oder OCT. Mit Ausnahme der MACT erfolgten diese Knorpeltherapien im Rahmen der Arthroskopie unmittelbar vor der HTO.

Das Debridement beinhaltete eine arthroskopische Entfernung von Osteophyten und freien Gelenkkörpern, eine Knorpel- und Meniskusglättung, eine Teilsynovektomie mit Adhäsioolyse und eine Spülung des Gelenks (Lavage).

Kleine Gelenkknorpelschäden bis zu einer Größe von ca. 1cm² konnten mit einer Mikrofrakturierung oder einer Abrasionsarthroplastik behandelt werden. Bei der Mikrofrakturierung wurde der Knorpeldefekt und seine Umgebung zunächst debridiert und mit einer arthroskopischen Ahle wurden anschließend Löcher von ca. 2-4mm Tiefe und im Abstand von ca. 3-4mm in den subchondralen Knochen gemacht. Beim ähnlichen Verfahren der Abrasionsarthroplastik hingegen wurde am bestehenden Gelenkknorpeldefekt zunächst ein Debridement durchgeführt und anschließend der subchondrale Knochen oberflächlich bis zu einer Tiefe von 1-3mm mit einem elektrischen Shaver abgetragen.

Für vollschichtige chondrale oder osteochondrale Defekte ab einer Größe von ca. 4cm² mit intaktem Knorpel an allen Randbereichen des Defekts kam eine MACT in Frage. Die MACT wurde als zweizeitiger Eingriff durchgeführt. In der ersten OP wurden arthroskopisch Knorpelzellen aus dem superioren und lateralen Anteil der interkondylären Notch gewonnen. Diese wurden im Labor für 3-4 Wochen kultiviert und auf eine Kollagenmembran aufgebracht. In der zweiten OP wurde der fokale Gelenkknorpeldefekt mittels Arthrotomie zugänglich gemacht, tiefgehende osteochondrale Defekte wurden ggf. mit zuvor aus dem ipsilateralen Beckenkamm entnommenen Knochenmaterial oder mit allogenen Knochen der DIZG aufgefüllt und umgebende instabile Knorpelanteile wurden entfernt. Die mit Chondrozyten beimpfte Kollagenmembran passte man genau an die Größe des Defektes an und befestigte sie am umgebenden intakten Knorpelgewebe mit zirkulären Nähten. Beide für die MACT notwendige Eingriffe führte man entweder vor der HTO durch oder die Entnahme der Knorpelzellen erfolgte gemeinsam mit dieser. In jedem Fall betrug der zeitliche Abstand zwischen der HTO und der Implantation der Chondrozyten mindestens 3 Wochen.

Kleinere osteochondrale Knorpeldefekte wurden mit einer OCT versorgt. Hierbei wurden mittels Rundmeißel Knorpel-Knochen-Zylinder variablen Durchmessers aus dem wenig belasteten Teil der lateralen Femurkondyle entnommen und mit press-fit Technik in die Defektzone transplantiert. Dieses Verfahren wurde einzeitig und wenn möglich arthroskopisch durchgeführt.

2.2.4 Nachbehandlung

Nach Entfernung der Redondrainage und einem Verbandswechsel am 1. postoperativen Tag wurde mit der regelmäßigen passiven Bewegung des betroffenen Beins mittels *CAMOPed*-Schiene (OPED, Deutschland), einer motorbetriebenen Bewegungsschiene (Continuous passive Motion, CPM), begonnen. Die antibiotische Therapie wurde am 3. postoperativen Tag abgesetzt. Für 7 Tage legte man eine *MECRON*-Schiene (DARCO Europe, Deutschland), eine Knieruhigstellungsschiene in 0° Extensionsstellung, an. Die Fäden der Hautnaht konnten ab dem 12. postoperativen Tag vom Hausarzt der Patienten entfernt werden. Nach 2 Wochen Teilbelastung mit 15kg Körpergewicht an Unterarmgehstützen durften Patienten schmerzadaptiert mit der Steigerung der Belastung beginnen. Patienten, die man zusätzlich mit einer MACT behandelte, wurden angehalten die Knieruhigstellungsschiene nur 24 Stunden zu verwenden und nach 6 Wochen mit 15kg Teilbelastung an Unterarmgehstützen alle 2 Wochen die Belastung um 20kg bis zum Erreichen des eigenen Körpergewichts zu erhöhen. Eine Thromboseprophylaxe sollte bei allen Patienten unter hausärztlicher Thrombozytenkontrolle bis zum Erreichen der Vollbelastung durchgeführt werden. Im Rahmen der ersten Kontrolluntersuchung ca. 6 Wochen postoperativ wurden anterior-posterior (a.p.) und laterale Röntgenbilder, sowie Ganzbeinstandaufnahmen angefertigt und der Patient klinisch beurteilt. Krankengymnastik, Lymphdrainage und eine Anschlussheilbehandlung wurden empfohlen. Zeigte sich in den radiologischen Kontrollen eine vollständige Durchbauung des Osteotomiespalts, konnte die winkelstabile Platte in einem ambulanten Eingriff nach ca. 12 Monaten entfernt werden. Bestanden zu diesem Zeitpunkt noch klinische Beschwerden wurde im Rahmen der Plattenentfernung eine erneute Arthroskopie durchgeführt. Dabei wurden die Knorpelverhältnisse, Menisken und Kreuzbänder nochmals beurteilt und gegebenenfalls vorhandene Pathologien, wie beispielsweise freie Gelenkkörper oder Meniskusläsionen, entsprechend behandelt.

2.3 Auswertungsparameter

2.3.1 Demographische, operationsspezifische und klinische Daten

Bei jedem Patienten wurden folgende Daten mit dem Praxisverwaltungsprogramm *TURBOMED* (CompuGroup Medical, Deutschland) erhoben:

- Demographische Daten: Geschlecht, Alter zum Operationszeitpunkt, BMI, Voroperationen oder Trauma am betreffenden Kniegelenk, berufsgenossenschaftliche Behandlung, Beruf.
- Operationsspezifische Daten: operierte Seite, Operationstechnik (flektierend vs. extendierend), Auffüllungsmaterial des Osteotomiespalts, Befunde der präoperativen klinischen Untersuchung der Bandstabilität, Befunde der Arthroskopie vor der HTO, durchgeführte Kombinationseingriffe, Grad der Achskorrektur, verwendete Platte.
- Klinische Daten: Zeit bis zur Plattenentfernung, Bewegungsumfang präoperativ und zum Zeitpunkt der Plattenentfernung, Komplikationen und ggf. Revisionen, ggf. erneut durchgeführte Arthroskopie im Rahmen der Plattenentfernung.

2.3.2 Radiologische Messungen

Bei allen Patienten wurden präoperativ und postoperativ Röntgenaufnahmen des betreffenden Knies angefertigt. Diese enthielten jeweils eine a.p. und eine laterale Aufnahme, sowie eine a.p. Ganzbeinstandaufnahme. Bei einem Großteil der Patienten erfolgten mindestens 2 postoperative Röntgenkontrollen zu den Zeitpunkten 6 Wochen (4-8 Wochen) postoperativ, 16 Wochen (12-18 Wochen) postoperativ, 28 Wochen (24-32 Wochen) postoperativ und 53 Wochen (44-60 Wochen) postoperativ. Alle im Folgenden beschriebenen Winkel und Achsen wurden mit der digitalen Bild- und Dokumentenarchiv-Software *mediDOK* (Version V2.0, mediDOK Software, Deutschland) vermessen.

An der präoperativen a.p. Ganzbeinstandaufnahme wurde neben der Planung des Korrekturwinkels auch eine Messung des mechanischen lateralen distalen Femurwinkels (mLDFW) und des mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels (mMPTW) vorgenommen (Abbildung 5). Der mLDFW ist der Winkel zwischen der Kniebasislinie (entspricht der Verbindungslinie der beiden tiefsten Punkte der Femurkondylen) und der Mikulicz-Linie, der mMPTW schließt die Tibiaplateaulinie (entspricht der Tangente an der Gelenkfläche der Tibia) und die Mikulicz-Linie ein. Der Normwert für beide Winkel beträgt jeweils $87^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (1). Die Messung von mLDFW und mMPTW wurde an der ersten postoperativen Ganzbeinstandaufnahme wiederholt.



Abbildung 5 Messung des mLDFW und des mMPTW

An der präoperativen und der ersten postoperativen lateralen Kniegelenksaufnahme wurde der Tibia Slope nach der Technik von Brandon et al. gemessen (117). Hierfür wurde die Längsachse der Tibia durch die Verbindung der Mittelpunkte von zwei Hilfslinien bestimmt. Diese Hilfslinien reichten jeweils vom anterioren bis zum posterioren Kortex der Tibia. Eine Hilfslinie wurde direkt unter der Tuberositas tibiae gezogen, die andere mindestens 5cm weiter distal. Auf Höhe des Tibiaplateaus wurde eine senkrechte Linie zur Längsachse der Tibia eingezeichnet. Der Tibia Slope ergab sich aus dem Winkel zwischen dieser Senkrechten und einer Tangente am Tibiaplateau (Abbildung 6).

Die knöcherne Konsolidierung des Osteotomiespalts wurde mit der radiologischen Auswertungsmethode von Brosset et al. evaluiert (79). Hierfür wurde in den postoperativen a.p. Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten der Osteotomiespalt in 5 Zonen unterteilt. Zone 1 befand sich dabei am lateralen Kortex und Zone 5 am medialen Kortex der Tibia. Ein Osteotomiespalt galt als komplett durchbaut, sobald alle 5 Zonen konsolidiert waren.



Abbildung 6 Messung des Tibia Slope

Eine Zone wurde als konsolidiert angesehen, sobald sie vollständig mit Knochenmaterial gefüllt war und sich kein Osteotomiespalt mehr abgrenzen ließ. War eine Auffüllung des Osteotomiespalts vorgenommen worden, wurde die knöcherne Konsolidierung in jeder der 5 Zonen mit dem Bewertungsmaßstab von van Hemert et. al beurteilt. Hierbei galt eine Zone als durchbaut, wenn sich kein Spalt zwischen dem Auffüllungsmaterial und dem soliden Knochen mehr abgrenzen ließ, auch wenn das Fremdmaterial noch nicht vollständig resorbiert war (118) (Abbildung 7).

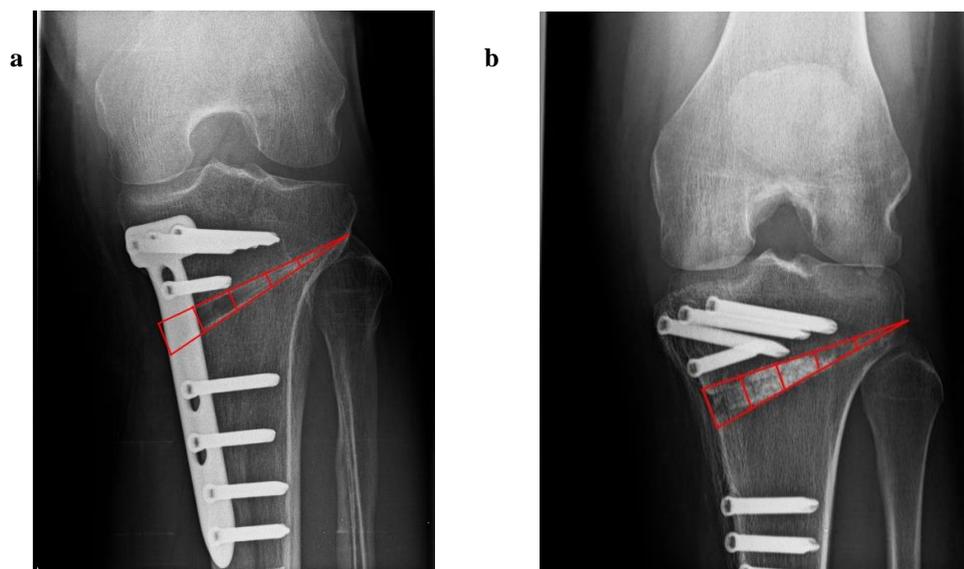


Abbildung 7 a 47-jähriger Patient ohne Auffüllung nach 6 Wo, *b* 28-jährige Patientin mit Auffüllung nach 6 Wo

Zu den festgelegten Zeitpunkten wurde der Anteil der vollständig durchbauten Patienten zwischen den Gruppen verglichen. Außerdem wurde die individuelle Zeit bis zur vollständigen knöchernen Konsolidierung erfasst.

War der Osteotomiespalt mindestens 6 Monate nach der HTO röntgenologisch noch nicht vollständig durchbaut, schloss man eine CT-Untersuchung an. Zeigte diese ebenfalls keine vollständige knöcherne Konsolidierung, aber eine ausreichende Stabilität, wurde dies als unvollständige Durchbauung definiert und der Restdefekt im Rahmen der Plattenentfernung mit allogener Spongiosa aufgefüllt. Von fehlender Durchbauung (non-union) wurde nach 6 Monaten bei ausbleibender Progression der Knochenheilung über Zone 3 hinaus gesprochen und die Osteotomie wurde als instabil angesehen. Eine non-union machte einen Revisionseingriff mit Auffüllung des Restdefekts mit allogenen Knochen oder autologem Knochen aus dem Beckenkamm notwendig. Der Plattenfixateur wurde dabei belassen.

2.3.3 Subjektiver IKDC 2000 Score

Präoperativ, 3 Monate postoperativ, 6 Monate postoperativ und zum Abschluss des Nachuntersuchungszeitraums ließ man den Patienten den Subjektiven IKDC 2000 Score, zusammen mit dem Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score und dem Tegner-Aktivitätsscore, zukommen.

Die ursprüngliche Form des subjektiven IKDC 2000 Scores (Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies) wurde vom International Knee Documentation Committee (IKDC) im Jahr 1993 veröffentlicht und bis zu seiner finalen Version im Jahr 2000 mehrmals verbessert. Der Score wurde mit dem Ziel entwickelt, ein Messinstrument für das klinische Ergebnis, bezogen auf Symptome, Funktion und sportliche Aktivität von Patienten mit verschiedenen Kniebeschwerden, zu schaffen. Er ist eine valide, zuverlässige und änderungssensitive Methode zur Erfassung von subjektiven Behandlungsergebnissen bei Patienten mit Verletzungen des Bandapparats, der Menisken und des Gelenkknorpels und bei Patienten mit Arthrose und patellofemorale Beschwerden (119,120).

Insgesamt sind 18 Fragen, unterteilt in 3 Kategorien, vom Patienten zu beantworten. Die erste Kategorie widmet sich den Symptomen und enthält 7 Fragen zu den Themen Schmerzen, Steifheit bzw. Schwellung des Kniegelenks, Blockierung des Gelenks und durch das Kniegelenk verursachte Gangunsicherheit. In der zweiten Kategorie werden 10 Fragen zur sportlichen Aktivität gestellt. Es wird nach der höchsten regelmäßig tolerierbaren Aktivitätsstufe und nach Schwierigkeiten bei genau beschriebenen Tätigkeiten, u.a. Treppensteigen und Sitzen, gefragt. Die dritte Kategorie bezieht sich auf die Funktionalität.

Dabei wird mit 2 Teilfragen die Funktionsfähigkeit des Knies vor und nach der Knieverletzung untersucht.

Bei der Auswertung des Fragebogens wurde jeder Antwortmöglichkeit ein Punktwert von 1 bis 5, bzw. bei den Fragen „Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten der Verletzung Schmerzen?“ (2. Frage), „Wie stark sind ihre Schmerzen?“ (3. Frage) und „Derzeitige Funktionsfähigkeit ihres Knies“ (10. Frage) 1 bis 11 Punkte zugeordnet. Der Wert 1 bezeichnet dabei immer die schlimmste Ausprägung eines Symptoms, bzw. die stärkste Funktionseinschränkung. So wurde beispielsweise bei der achten Frage „Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?“ für die Antworten „Ich kann aufgrund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen“ ein Punkt und für „Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Fußball, Basketball)“ 5 Punkte vergeben. Bei der oben beschriebenen zweiten Frage wurde den Antworten „ständig Schmerzen“ ein Punkt und „Nie“ 11 Punkte zugeordnet. Nicht in der Auswertung berücksichtigt wurde die zweite Teilfrage der zehnten Frage nach der Funktionsfähigkeit des Knies vor der Knieverletzung. Die erzielten Punktwerte der einzelnen Fragen wurden addiert und mithilfe der folgenden Formel in eine Skala von 0 bis 100 übertragen:

$$\frac{\text{Rohergebnis} - \text{niedrigste mögliche Punktzahl}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100 = \text{Testergebnis}$$

Die niedrigste mögliche Punktzahl war 18 und der Punktzahlbereich 87. Wenn man als Score 60 Punkte annehmen würde, käme also folgendes Ergebnis zustande:

$$\frac{60-18}{87} \times 100 = 48,3$$

Je höher der Testwert auf der Skala von 0-100, desto höher war auch die Funktionsfähigkeit des Knies, bzw. desto niedriger war die Symptomausprägung. Einen maximalen Score von 100 interpretierte man als uneingeschränkte Funktionsfähigkeit in Alltag und Sport mit völliger Abwesenheit von Symptomen (119).

Auch wenn nur 90% der Fragen (16 von 18 Fragen) beantwortet wurden, konnte ein aussagekräftiger subjektiver IKDC 2000 Score berechnet werden. Die fehlenden Punktwerte

wurden durch die Durchschnittswerte der anderen Fragen ersetzt und wie beschrieben in die Formel eingefügt (119).

2.3.4 Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score

Im Rahmen einer Übersichtsarbeit der damaligen Messinstrumente für funktionelle Einschränkungen bei Patienten mit vorderer Kreuzbandinsuffizienz, publizierten Noyes et al. im Jahr 1984 das „Cincinnati Rating System“, die erste Version des in der Studie verwendeten „Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score“. Der Score ist ein subjektives, numerisches Bewertungssystem, das besonderen Wert auf den Zusammenhang zwischen Symptomen bzw. Funktionseinschränkungen und den Belastungen, unter der diese auftreten, legt. Er besteht aus insgesamt 8 unterschiedlich gewichteten Fragen, aufgeteilt in 5 Kategorien (121):

1. Schmerz (1 Frage), 2. Schwellung/Gelenkerguss (1 Frage), 3. Instabilität/Giving Way (1 Frage), 4. Funktion (4 Fragen), 5. Generelles Aktivitätsniveau (1 Frage).

Maximal 20 Punkte wurden bei den Fragen „Schmerzen“, „Instabilität/Giving Way“ und „generelles Aktivitätsniveau“ vergeben. Bei den Fragen „Schwellung/Gelenkerguss“, „Gehen“ und „Treppensteigen“ waren bestenfalls 10 Punkte zu erreichen. Den Fragen „Laufen/Joggen“ und „Sprung- und Kontaktsportarten“ wurden höchstens 5 Punkte zugeordnet. Nach Addition aller einzelner Punktwerte, war ein maximaler Score von 100 Punkten zu erreichen (121).

Der Gesamtscore wurde als „hervorragend“ (>80), „gut“ (55-79), „befriedigend“ (30-54) oder „schlecht“ (<30) eingestuft (122).

2.3.5 Tegner-Aktivitätsscore

Der Tegner-Aktivitätsscore wurde 1985 von Tegner et al. veröffentlicht und besteht aus einer Skala, die die körperliche Aktivität von Patienten bei Arbeit und Sport einstuft. In Kombination mit funktionellen Scores soll der Tegner-Aktivitätsscore gewährleisten, dass Einschränkungen in der Kniefunktion nicht durch ein unfreiwillig angepasstes, niedriges Aktivitätsniveau verschleiert werden. Er beinhaltet eine Liste von 11 unterschiedlich gewichteten Aktivitätsstufen, die jeweils Aktivitäten des täglichen Lebens, sowie Freizeit- und Leistungssportarten enthalten (123).

Der Patient wählte diejenige Stufe aus, die am ehesten seinem momentanen Aktivitätslevel entsprach. Ein maximaler Score von 10 wurde bei Teilnahme an nationalen oder internationalen Turnieren in Fußball, Handball oder Basketball vergeben, wohingegen ein Score von 0 bedeutete, dass der Patient aufgrund von Knieproblemen zur Zeit der Erhebung des Tegner-

Aktivitätsscores krankgeschrieben war. 6 bis 10 Punkte konnten nur erreicht werden, wenn regelmäßig Freizeit- oder Leistungssport betrieben wurde (123).

2.3.6 Abschließender Zusatzfragebogen

Der für die vorliegende Studie erstellte abschließende Zusatzfragebogen wurde allen Patienten zum Ende des Untersuchungszeitraums zugeschickt.

Zu Beginn des Fragebogens wurden neben der erneuten Abfrage von allgemeinen Angaben wie Größe, Gewicht, Nebenerkrankungen und Medikation auch der Umfang von Alkohol- und Nikotinkonsum erhoben. Außerdem wurden die Patienten nach etwaigen Operationen am betreffenden Knie nach der HTO gefragt, von besonderem Interesse war dabei, ob und wann eine Konversion zu einer Totalendoprothese erfolgt war.

Anschließend folgte eine Einschätzung der Patientenzufriedenheit bezüglich des Operationsergebnisses. Hierbei konnte aus 5 Auswahlmöglichkeiten zwischen „sehr zufrieden“ und „sehr unzufrieden“ gewählt werden. Zudem wurde der Patient gefragt, ob er sich der OP ein zweites Mal unterziehen und wie er den aktuellen Gesamtzustand seines Kniegelenks (0–100 %) bewerten würde. Außerdem sollten vorhandene Schmerzen sowohl in Ruhe als auch in Bewegung anhand einer numerischen Schmerzskala von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkste vorstellbare Schmerzen) eingeschätzt werden.

Zuletzt wurden Fragen zum Aktivitätsniveau gestellt. Dabei wurde auf die sportliche und berufliche Betätigung vor und nach der OP eingegangen. Bei den Fragen zur sportlichen Aktivität wurde eruiert, welche und wie viele Sportarten, in welcher Häufigkeit und auf welchem Wettkampfniveau (Hochleistungssport, Vereinssport, Gelegenheitssport, kein Sport) vor der OP und zum aktuellen Zeitpunkt durchgeführt wurden. Die angegebenen Sportarten wurden bei der Auswertung des Fragebogens mittels eines modifizierten Bewertungssystems von Bonnin et al. und Kim et al. nach Intensität in 4 Kategorien eingeteilt: kein Sport, geringe Intensität (z.B. Schwimmen, Radfahren), mittlere Intensität (z.B. Krafttraining, Wandern) und hohe Intensität (z.B. Laufen, Fußball) (124,125). Des Weiteren war von Bedeutung, nach wie vielen Wochen der Patient komplett auf Unterarmgehstützen verzichten und wieder Sport betreiben konnte.

Bei den Fragen zur beruflichen Aktivität war zuerst die Einordnung der Tätigkeit in eine von drei Kategorien (überwiegend sitzend, überwiegend stehend, körperlich belastend) gefordert. Anschließend wurde genauer betrachtet, ob und nach wie vielen Wochen der Patient nach der OP in seinen bisherigen Beruf zurückkehren konnte. Zum Ende des Fragebogens wurde nach möglichen Einschränkungen bei der Berufsausübung gefragt.

2.4 Statistische Analyse

Sämtliche Daten wurden mittels *Excel* (Version 2016, Microsoft Corporation, USA) erhoben und organisiert und zur statistischen Analyse in *SPSS Statistics* (Version 26, IBM, USA) importiert. Tabellen wurden mit *Word* (Version 2016, Microsoft Corporation, USA) angefertigt. Graphen wurden mit *GraphPad PRISM* (Version 9.1.1, GraphPad Software Inc., USA) erstellt.

Statistische Tests wurden durchwegs ungerichtet zweiseitig durchgeführt, p -Werte $<.05$ galten als signifikant. Alle Ergebnisse wurden als Mittelwerte bzw. Median mit Standardabweichung und ggf. Spannweite angegeben.

Der adäquate statistische Test wurde nach dem Skalenniveau und der Häufigkeitsverteilung der zu testenden Variable ausgewählt. Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgte graphisch und mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test. Nominale Variablen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson analysiert, bei zu geringen erwarteten Zellhäufigkeiten nutzte man als Alternative den exakten Test nach Fisher. Zwei unabhängige, metrisch und normalverteilt skalierte Variablen wurden mit dem ungepaarten t-Test analysiert. Erfüllten die Variablen nicht die Voraussetzungen für diesen parametrischen Test, griff man auf den nicht-parametrischen Mann-Whitney-U-Test zurück. Analog dazu wurde für 2 abhängige, metrisch und normalverteilt skalierte Variablen der gepaarte t-Test bzw. bei nicht erfüllten Testkriterien der Wilcoxon-Test durchgeführt.

Der zeitliche Verlauf der klinischen Scores über die 4 Messzeitpunkte kam aufgrund der schiefen Verteilung der Scores nicht für die parametrische, einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung in Frage, stattdessen wurden die Daten mit dem nicht-parametrischen Friedman-Test und anschließenden post-hoc-Tests, den Dunn-Bonferroni-Tests, analysiert.

Der lineare Zusammenhang zweier metrisch skalierten Variablen wurde mit der Pearson-Korrelation untersucht. Bei mindestens ordinalem Skalenniveau beider Variablen wurde ihr bivariater Zusammenhang mit dem Kendall-tau-b-Korrelationskoeffizienten berechnet. Nach Cohen et al. wurden Korrelationskoeffizienten $r < 0.3$ als geringe Effektstärke, $r = 0.3-0.5$ als mittlere Effektstärke und $r > 0.5$ als große Effektstärke interpretiert (126).

Zur Analyse der Korrelation zwischen einer nominal und einer metrisch bzw. ordinal skalierten Variable wurde der Eta-Koeffizient bzw. der Chi-Quadrat-Test nach Pearson herangezogen. Der bivariate Zusammenhang eines nominal skalierten Variablenpaares wurde mit dem Phi-Koeffizienten bzw. Cramer's V untersucht. Es wurde außerdem eine Subgruppenanalyse mit dem Vergleich von Patienten mit und ohne kombinierter Knorpeltherapie vorgenommen.

Mittels einer weiteren Subgruppenanalyse wurde ein möglicher Unterschied zwischen den beiden verwendeten Plattenfixateuren in beiden Gruppen untersucht.

2.5 Studienpopulation

2.5.1 Ein- /Ausschlüsse und Gruppeneinteilung

Insgesamt wurden im Rahmen der Datenerhebung 317 Patienten untersucht. Insgesamt 66 Patienten wurden aus den folgenden Gründen von der Studie ausgeschlossen (Abbildung 8): fehlendes Einverständnis zur Teilnahme an der Studie ($N=31$), Tod während des Nachuntersuchungszeitraums ohne Zusammenhang mit der Operation ($N=1$), Alter unter 18 Jahren ($N=1$), fehlendes Sprachverständnis ($N=9$), zusätzlich durchgeführte femorale Umstellungsosteotomie ($N=1$), Umstellungsosteotomie beidseitig zu verschiedenen Zeitpunkten während des Nachuntersuchungszeitraums ($N=11$), Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis ($N=4$), Auffüllung des Osteotomiespalts mit autologem Knochen ($N=8$).

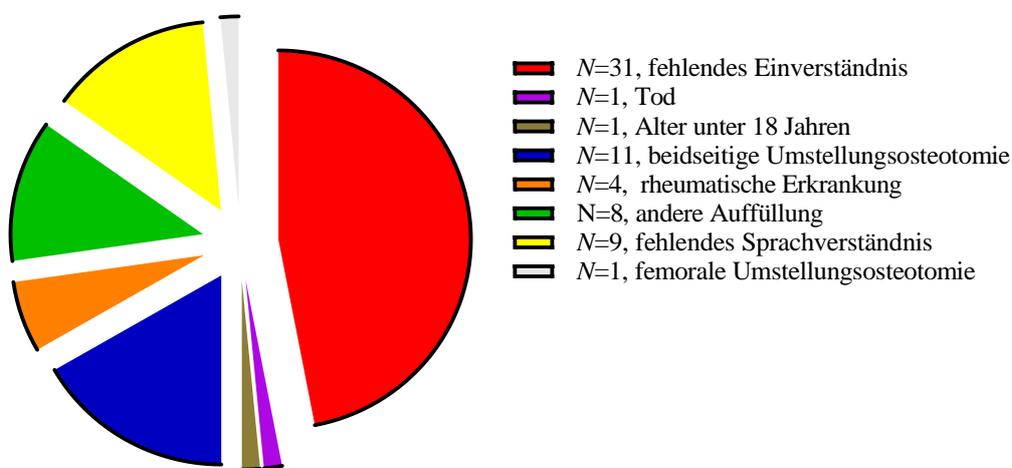


Abbildung 8 Ausschlüsse von der Studie

Die verbleibenden 251 Patienten wurden in die Studie eingeschlossen. Gruppe 1 wurde aus 114 Patienten ohne Auffüllung des Osteotomiespalts gebildet. Gruppe 2 beinhaltete 137 Patienten, bei denen eine Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogener Humanspongiosa in Chipsform (*Spierings Chips*, DIZG, Deutschland) erfolgte.

2.5.2 Demographische Daten

Bezüglich Geschlechterverteilung, Alter, BMI, Raucherstatus, Alkoholkonsum, Schwere des ausgeübten Berufs, Trauma am betreffenden Knie in der Vorgeschichte und berufsgenossenschaftlicher Behandlung ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (Tabelle 1). Einzig im Zeitpunkt der abschließenden Nachuntersuchung, also der Länge des Nachuntersuchungszeitraums, unterschieden sich die beiden Gruppen signifikant ($p < .001$). Der Zeitraum betrug 21.6 ± 3.8 Monate in Gruppe 1 und 13.6 ± 1.4 Monate in Gruppe 2.

Tabelle 1
Demographische Daten

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
Geschlecht									.345
männlich	93/114(81.6)				105/137(76.6)				
weiblich	21/114(18.4)				32/137(23.4)				
Alter (Jahre)		45.8	8.5	23-66		46.3	9.5	21-66	.671
BMI (kg/m²)		28.4	3.8	19-39		27.5	4	19-39	.063
Raucherstatus									.840
Raucher	20/114(17.5)				24/137(17.5)				
Nichtraucher	70/114(61.4)				90/137(65.7)				
Keine Angabe	24/114(21.1)				23/137(16.8)				
Alkoholkonsum									.482
nie	8/114(7.0)				17/137(12.4)				
gelegentlich	71/114(62.3)				88/137(64.2)				
regelmäßig	6/114(5.3)				7/137(5.1)				
Keine Angabe	29/114(25.4)				25/137(18.2)				
Beruf									.428
überwiegend sitzend	45/114(39.5)				53/137(38.7)				
überwiegend stehend	36/114(31.6)				35/137(25.5)				
körperlich belastend	33/114(28.9)				49/137(35.8)				
Trauma	18/114(15.8)				25/137(18.2)				.607
BG-Behandlung	0/114(0.0)				2/137(1.5)				.502
Nachuntersuchungs- -zeitraum (Monate)		21.6	3.8	12-29		13.6	1.4	12-17	<.001

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite; BG=Berufsgenossenschaft

2.5.3 Operationsspezifische Daten

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Seitenverteilung der Operation, der verwendeten Technik (flektierend vs. extendierend), den Voroperationen des betreffenden Knies, dem Knorpelstatus der verschiedenen Kompartimente, dem Status von Menisken, Kreuz- und Innenband, der durchgeführten Kombinationseingriffe

am Gelenkknorpel und dem Korrekturwinkel (Tabelle 2). Allein in der verwendeten winkelstabilen Platte unterschieden sich die Gruppen signifikant ($p < .001$). Die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) verwendete man in Gruppe 1 bei 86.0% ($N=98$) der Patienten und in Gruppe 2 bei 48.9% ($N=67$) der Patienten. Die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) kam bei 14.0% ($N=16$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 51.1% ($N=70$) der Patienten in Gruppe 2 zum Einsatz.

Tabelle 2*Operationsspezifische Daten*

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
Operierte Seite									.917
rechts	59/114(51.8)				70/137(51.1)				
links	55/114(48.2)				67/137(48.9)				
Operationstechnik									.744
extendierend	108/114(94.7)				131/137(95.6)				
flektierend	6/114(5.3)				6/137(4.4)				
Voroperationen	81/114(71.1)				104/137(75.9)				.384
Knorpel									.720
patellofemoral									
ICRS 1	1/114(0.9)				0/137(0.0)				
ICRS 2	35/114(30.7)				46/137(33.6)				
ICRS 3	59/114(51.8)				72/137(52.6)				
ICRS 4	19/114(16.7)				19/137(13.9)				
Knorpel medial									.697
ICRS 2	3/114(2.6)				7/137(5.1)				
ICRS 3	13/114(11.4)				12/137 (8.8)				
ICRS 4	42/114(36.8)				49/137(35.8)				
fokale Läsion	56/114(49.1)				69/137(50.4)				
Knorpel lateral									.114
ICRS 0	17/114(14.9)				19/137(13.9)				
ICRS 1	1/114(0.9)				0/137(0.0)				
ICRS 2	96/114(84.2)				113/137(82.5)				
fokale Läsion	0/114(0.0)				5/137(3.6)				
Innenmeniskus									.394
intakt	24/114(21.1)				22/137(16.1)				
Z.n. (Teil-)Resektion	32/114(28.1)				34/137(24.8)				
(Teil-)Resektion erfolgt	58/114(50.9)				81/137(59.1)				
Außenmeniskus									.480
intakt	103/114(90.4)				128/137(93.4)				
Z.n. (Teil-)Resektion	2/114(1.8)				3/137(2.2)				
(Teil-)Resektion erfolgt	9/114(7.9)				6/137(4.4)				
Insuffizienz VKB	14/114(12.3)				28/137(20.4)				.085
Insuffizienz HKB	7/114(6.1)				5/137(3.6)				.357
Insuffizienz Innenband	7/114(6.1)				7/137(5.1)				.723
Kombinationseingriffe									.259
Gesamt	56/114(49.1)				74/137(54.0)				
Mikrofrakturierung	33/114(28.9)				54/137(39.4)				
Abrasionsarthroplastik	7/114(6.1)				4/137(2.9)				
MACT/OCT	16/114(14.0)				16/137(11.7)				
Platte									<.001
TomoFix	98/114(86.0)				67/137(48.9)				
PEEKPower	16/114(14.0)				70/137(51.1)				
Korrekturwinkel (°)		6.2	1.2	4-9		6.5	1.9	4-16	.578

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite; Z.n.=Zustand nach; VKB=vorderes Kreuzband; HKB=hinteres Kreuzband; MACT=Matrix-assoziierte autologe Chondrozytentransplantation; OCT=osteochondraler Zylindertransfer; ICRS=Interantional Cartilage Research Society

3. ERGEBNISSE

3.1 Radiologische Ergebnisse

3.1.1 Knöcherne Durchbauung des Osteotomiespalts

Die Zeit bis zur vollständigen knöchernen Durchbauung des Osteotomiespalts betrug 30.7 ± 12.4 Wochen in Gruppe 1 und 18.6 ± 13.3 Wochen in Gruppe 2. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p < .001$).

Bei 6.1% ($N=6$) der Patienten ohne Auffüllung zeigte sich der Osteotomiespalt auf der a.p. Aufnahme nach 6 Wochen (4-8 Wochen) vollständig durchbaut (Durchbauung aller 5 Zonen). Bei Patienten mit Auffüllung vollzog sich die knöcherne Konsolidierung signifikant schneller ($p < .001$). Zum selben Zeitpunkt war der Osteotomiespalt bereits bei 30.7% ($N=35$) der Patienten durchbaut. Obwohl auch nach 16 Wochen (12-18 Wochen) mit 60.9% ($N=28$) der Patienten in Gruppe 2 im Vergleich zu 36.8% ($N=7$) der Patienten in Gruppe 1 ein größerer Anteil eine komplette Knochenheilung aufzuweisen hatte, blieb dieser Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant ($p = .077$). Nach 28 Wochen (24-32 Wochen) wiederum war der Osteotomiespalt bei 52.6% ($N=30$) der Patienten ohne Auffüllung und bei 76.0% ($N=38$) der Patienten mit Auffüllung vollständig konsolidiert. Dieser Unterschied erreichte statistische Signifikanz ($p = .012$). In beiden Gruppen war der Osteotomiespalt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nach 53 Wochen (44-60 Wochen) postoperativ durchbaut (Tabelle 3, Abbildung 9).

Tabelle 3
Knöcherne Durchbauung des Osteotomiespalts

	Gruppe 1	Gruppe 2	<i>p</i>
	(ohne Auffüllung)	(allogene Spongiosa)	
	<i>N (%)</i>	<i>N (%)</i>	
6(4-8) Wochen	6/98(6.1)	35/114(30.7)	<.001
16(12-18) Wochen	7/19(36.8)	28/46(60.9)	.077
28(24-32) Wochen	30/57(52.6)	38/50(76.0)	.012
53(44-60) Wochen	16/17(94.1)	12/13(92.3)	1

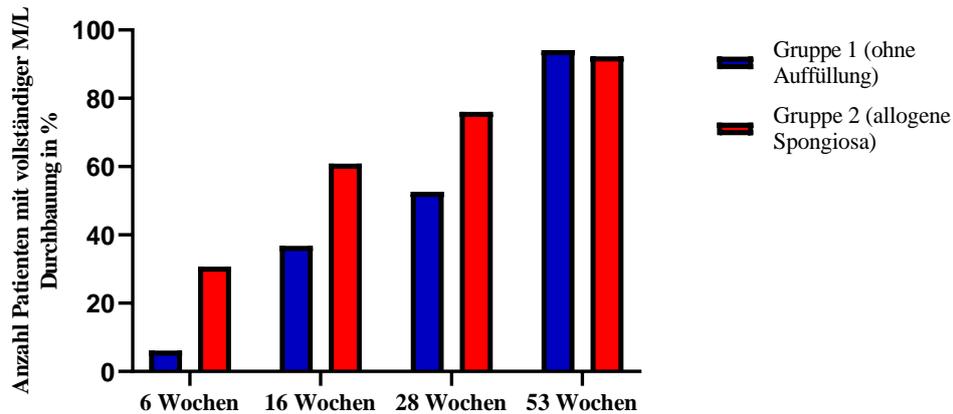


Abbildung 9 Anzahl Patienten mit vollständiger mediolateraler (M/L) Durchbauung in %

3.1.2 Radiologische Winkel

Der mLDFW und der mMPTW konnten von 95.6% ($N=109$) der Patienten in Gruppe 1 und von 98.5% ($N=135$) der Patienten in Gruppe 2 prä- und postoperativ erhoben werden. Der mLDFW betrug präoperativ $87.7 \pm 1.9^\circ$ in Gruppe 1 und $87.2 \pm 2^\circ$ in Gruppe 2. Postoperativ betrug der mLDFW $89.7 \pm 2.1^\circ$ in Gruppe 1 und $89.8 \pm 2.1^\circ$ in Gruppe 2. Der Anstieg des mLDFW von präoperativ nach postoperativ erreichte in beiden Gruppen statistische Signifikanz ($p < .001$, Abbildung 10).

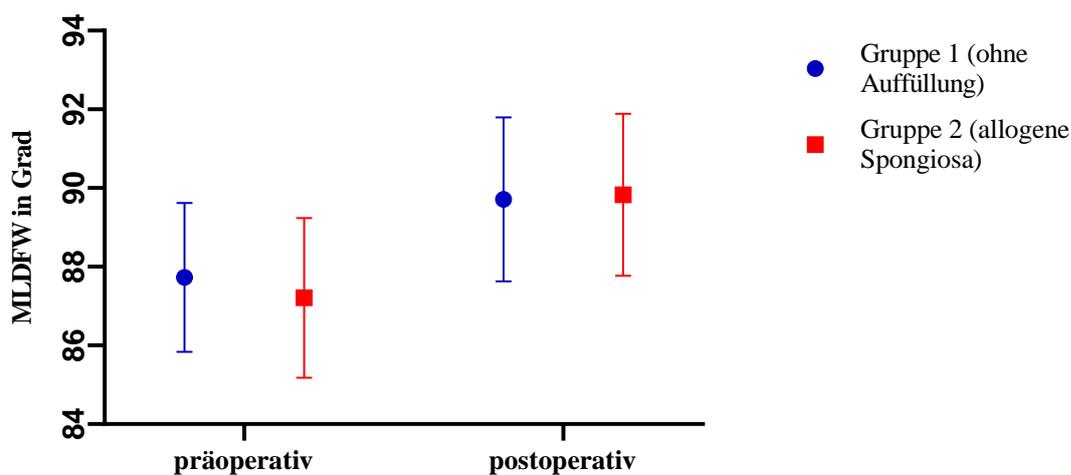


Abbildung 10 mechanischer lateraler distaler Femurwinkel prä- und postoperativ

Der mMPTW betrug präoperativ $90.6^{\circ} \pm 1.9^{\circ}$ in Gruppe 1 und $89.8^{\circ} \pm 2.0^{\circ}$ in Gruppe 2. Postoperativ betrug der Winkel $91.5^{\circ} \pm 2.2^{\circ}$ in Gruppe 1 und $91.4^{\circ} \pm 1.9^{\circ}$ in Gruppe 2. Diese Zunahme des mMPTW von prä- nach postoperativ war in beiden Gruppen statistisch signifikant ($p < .001$, Abbildung 11).

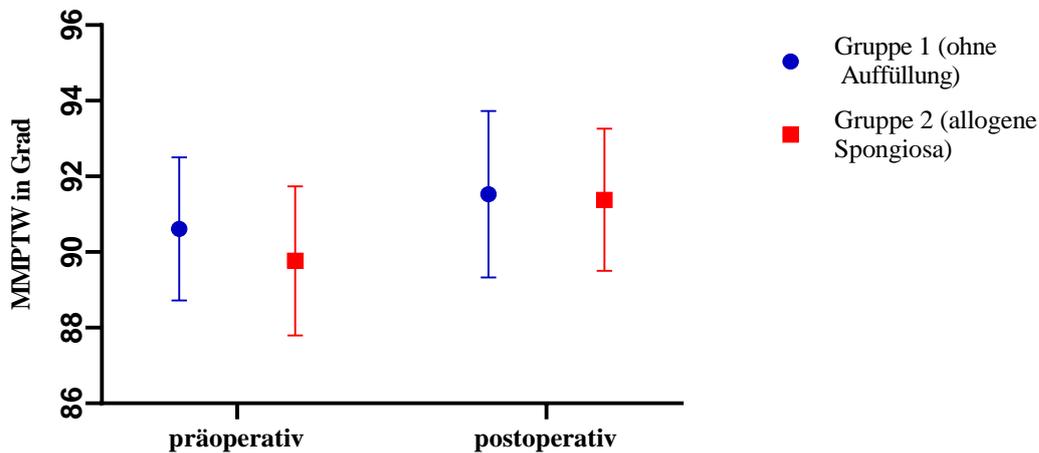


Abbildung 11 mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel prä- und postoperativ

Der Tibia Slope konnte von 77.2% ($N=88$) der Patienten in Gruppe 1 und von 70.8% ($N=97$) der Patienten in Gruppe 2 prä- und postoperativ analysiert werden. Ausgehend von präoperativen Werten von $9.9^{\circ} \pm 2.6^{\circ}$ in Gruppe 1 und $9.5^{\circ} \pm 3.3^{\circ}$ in Gruppe 2 stieg der Tibia Slope postoperativ signifikant ($p=.026$) auf $10.7^{\circ} \pm 3.1^{\circ}$ in Gruppe 1 und $10.4^{\circ} \pm 3.7^{\circ}$ in Gruppe 2 ($p=.019$, Abbildung 12).

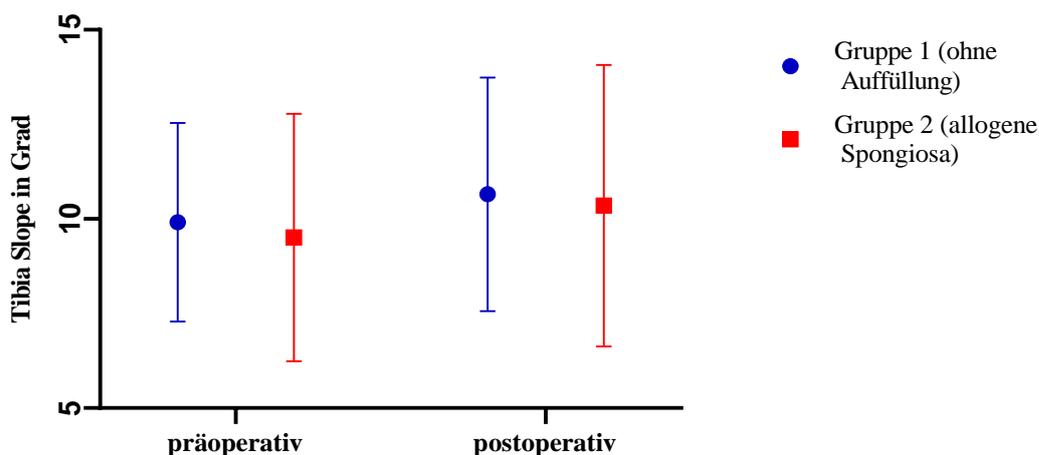


Abbildung 12 Tibia Slope prä- und postoperativ

3.2 Klinische Ergebnisse

3.2.1 Subjektiver IKDC 2000 Score

Zu keinem Zeitpunkt unterschieden sich die beiden Gruppen signifikant im subjektiven IKDC 2000 Score (Tabelle 4).

Tabelle 4
Subjektiver IKDC 2000 Score

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
präoperativ	41/114(36.0)	50.4	17.1	20.7-92.0	38/137(27.7)	47.4	15.8	25.3-83.9	.336
3 Monate postoperativ	65/114(57.0)	56.9	15.7	13.8-87.4	79/137(57.7)	55.6	14.6	13.8-85.5	.594
6 Monate postoperativ	59/114(51.8)	63.3	18.1	17.2-93.1	74/137(54.0)	60.9	15.2	28.7-93.1	.403
Abschluss	82/114(71.9)	69.0	17.2	19.5-100.0	109/137(79.6)	69.9	15.2	28.7-97.7	.834

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite

Die Auswertung des Verlaufs des Scores über alle 4 Zeitpunkte war für 16.7% (*N*=19) der Patienten in Gruppe 1 und für 13.9% (*N*=19) der Patienten in Gruppe 2 möglich (Abbildung 13).

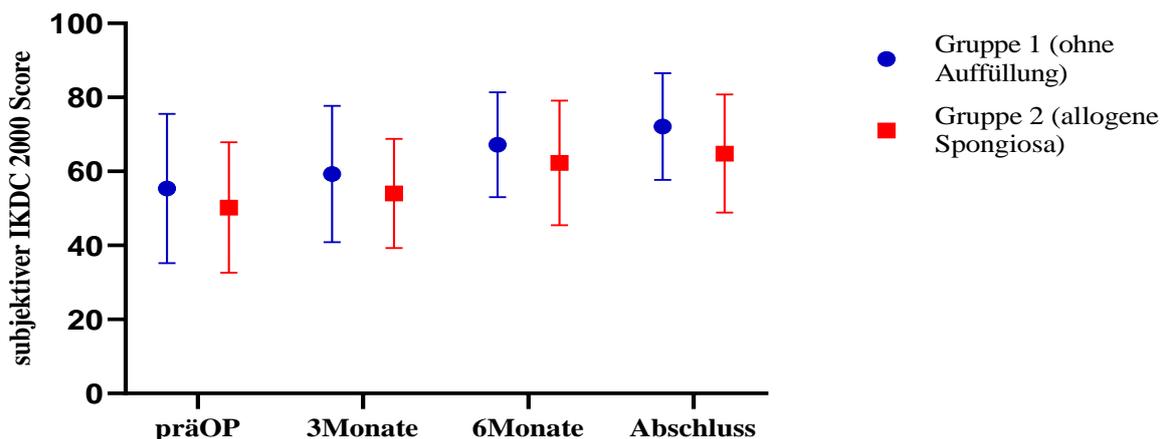


Abbildung 13 subjektiver IKDC 2000 Score im zeitlichen Verlauf

In Gruppe 1 stieg der präoperative Score von 55.4 ± 20.2 auf 59.3 ± 18.4 nach 3 Monaten, weiter auf 67.2 ± 14.2 nach 6 Monaten und erreichte schließlich einen Wert von 72.2 ± 14.4 bei der abschließenden Nachuntersuchung. In Gruppe 2 steigerte sich der Score von 50.2 ± 17.6

präoperativ auf 54.1 ± 14.7 nach 3 Monaten, weiter auf 62.3 ± 16.8 . Bei der abschließenden Nachuntersuchung betrug er 64.8 ± 16.0 . In beiden Gruppen erreichte der Anstieg des subjektiven IKDC 2000 Scores zwischen den Zeitpunkten präoperativ-Abschluss und 3 Monate postoperativ-Abschluss statistische Signifikanz ($p < .05$).

3.2.2 Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score

Es fand sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score zwischen den Gruppen (Tabelle 5).

Tabelle 5
Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
präoperativ	24/114(21.1)	53.6	21.3	16-93	34/137(24.8)	49.4	19.3	15-84	.433
3 Monate postoperativ	43/114(37.7)	56.1	20.7	14-98	62/137(45.3)	53.9	15.1	14-84	.542
6 Monate postoperativ	40/114(35.1)	64.9	23.0	14-100	63/137(46.0)	59.9	18.2	12-98	.230
Abschluss	75/114(65.8)	68.0	18.3	14-100	108/137(78.8)	69.4	18.2	18-100	.698

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite

Die Entwicklung des Scores über alle 4 Zeitpunkte konnte von 8.8% ($N=10$) der Patienten in Gruppe 1 und von 12.4% ($N=17$) der Patienten in Gruppe 2 analysiert werden (Abbildung 14).

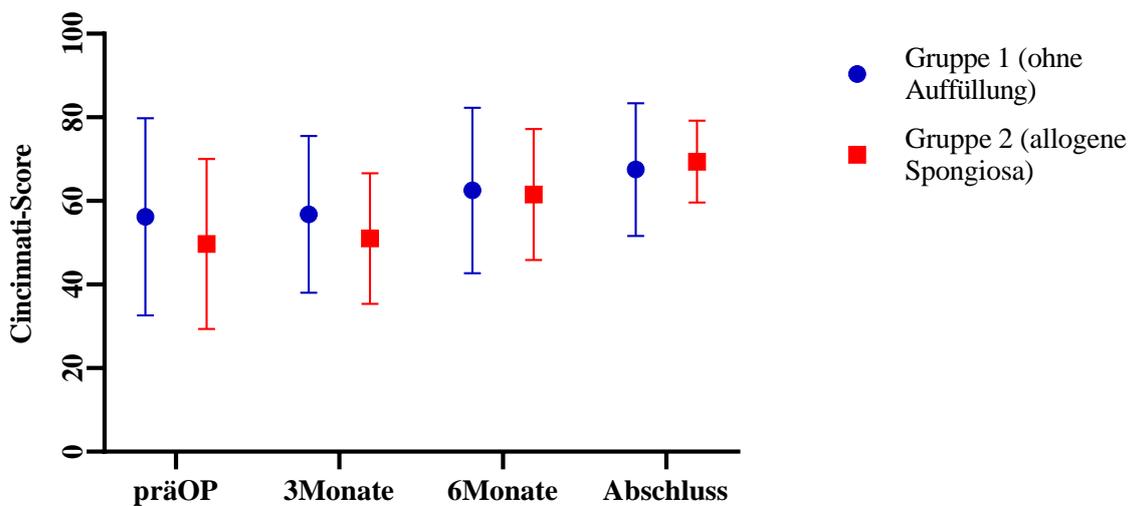


Abbildung 14 Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score im zeitlichen Verlauf

In Gruppe 1 betrug der Score präoperativ 56.2 ± 23.6 , verbesserte sich auf 56.8 ± 18.8 nach 3 Monaten, weiter auf 62.5 ± 19.8 nach 6 Monaten und erreichte schließlich einen abschließenden Wert von 67.5 ± 15.9 . In Gruppe 2 lag der präoperative Ausgangswert bei 49.7 ± 20.4 , stieg nach 3 Monaten auf 51.0 ± 15.6 , nach 6 Monaten weiter auf 61.5 ± 15.7 und betrug beim Abschluss der Nachuntersuchung 69.4 ± 9.8 . Statistisch signifikant zeigte sich nur der Anstieg des Scores in Gruppe 2 zwischen den Zeitpunkten präoperativ-Abschluss ($p=.007$), 3 Monate postoperativ-6 Monate postoperativ ($p=.017$) und 3 Monate postoperativ-Abschluss ($p<.001$).

3.2.3 Tegner-Aktivitätsscore

Patienten der Gruppe 2 hatten mit 4.5 ± 2.1 einen signifikant höheren präoperativen Tegner-Aktivitätsscore als Patienten der Gruppe 1 mit 2.6 ± 1.6 ($p=.002$). Zu keinem weiteren Zeitpunkt war ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen vorhanden (Tabelle 6).

Tabelle 6
Tegner-Aktivitätsscore

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
präoperativ	28/114(24.6)	2.6	1.6	0-5	29/137(21.2)	4.5	2.1	1-9	.002
3 Monate postoperativ	49/114(43.0)	2.8	2.1	0-9	65/137(47.4)	3.1	2.1	0-10	.666
6 Monate postoperativ	46/114(40.4)	3.2	1.7	0-6	61/137(44.5)	3.5	1.8	0-9	.974
Abschluss	65/114(57.0)	3.8	1.5	0-8	96/137(70.1)	4.0	1.5	0-8	.246

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite

Die Veränderung des Tegner-Aktivitätsscores über die verschiedenen Zeitpunkte konnte von 9.6% ($N=11$) der Patienten aus Gruppe 1 und von 7.3% ($N=10$) der Patienten aus Gruppe 2 erhoben werden (Abbildung 15).

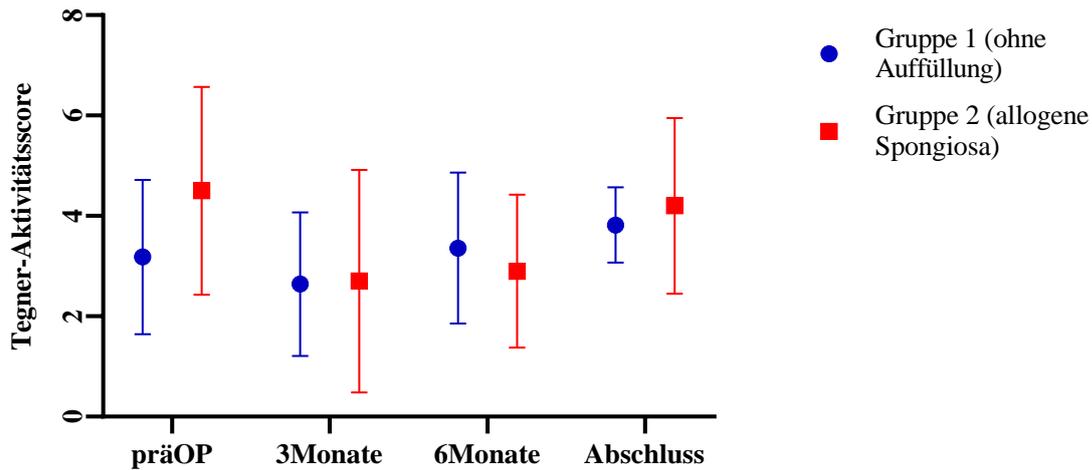


Abbildung 15 Tegner-Aktivitätsscore im zeitlichen Verlauf

In Gruppe 1 sank der Score beginnend mit 3.2 ± 1.5 nach 3 Monaten auf 2.6 ± 1.4 , stieg nach 6 Monaten auf 3.4 ± 1.5 und endete bei 3.8 ± 0.8 . Auch in Gruppe 2 sank der Ausgangswert von 4.5 ± 2.1 nach 3 Monaten auf 2.7 ± 2.2 , verbesserte sich nach 6 Monaten auf 2.9 ± 1.5 und blieb bei der abschließenden Nachuntersuchung bei 4.2 ± 1.8 . In keiner der beiden Gruppen erreichten die Veränderungen des Tegner-Aktivitätsscores im zeitlichen Verlauf statistische Relevanz.

3.2.4 Subjektive Patientenzufriedenheit

Es ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Patientenzufriedenheit, der Wiederholungsbereitschaft der Patienten und dem subjektiven Gesamtzustand des Knies zwischen den beiden Gruppen (Tabelle 7).

Tabelle 7

Subjektive Patientenzufriedenheit

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				p
	N (%)	M	SD	R	N (%)	M	SD	R	
Zufriedenheit									.701
sehr zufrieden	27/84(32.1)				35/111(31.5)				
zufrieden	32/84(38.1)				50/111(45.0)				
ausreichend zufrieden	21/84(25.0)				19/111(17.1)				
unzufrieden	4/84(4.8)				5/111(4.5)				
sehr unzufrieden	0/84(0.0)				2/111(1.8)				
Erneute OP-Entscheidung									.942
ja	67/84(79.8)				89/111(80.2)				
nein	17/84(20.2)				22/111(19.8)				
Gesamtzustand Knie (%)	86/114(75.4)	71.6	18.3	25-100	111/137(81.0)	71.5	17.7	2-100	.788

M=Mittelwert; SD=Standardabweichung; R=Spannweite

3.2.5 Schmerzen in Ruhe und bei Bewegung

Informationen zu Schmerzen in Ruhe bzw. bei Bewegung am Ende des Nachuntersuchungszeitraums konnten mittels einer numerischen Schmerzskala von 75.4% ($N=86$) bzw. 71.1% ($N=81$) der Patienten in Gruppe 1 und von 81.0% ($N=111$) bzw. 78.8% ($N=108$) der Patienten in Gruppe 2 gewonnen werden. Der Median lag in beiden Gruppen in Ruhe bei 1.0 (0-8) und in Bewegung bei 3.0 (0-10). Es ergab sich weder für Schmerzen in Ruhe, noch in Bewegung ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

3.2.6 Bewegungsumfang

Der Bewegungsumfang des betreffenden Kniegelenks konnte bei 89.5% ($N=102$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 87.6% ($N=120$) der Patienten in Gruppe 2 präoperativ und im Rahmen der Plattenentfernung nach 12.4 ± 4.2 Monaten gemessen werden. Der präoperative Wert in Gruppe 1 war mit $119.8 \pm 5.6^\circ$ signifikant höher als in Gruppe 2 mit $118.3 \pm 5.2^\circ$ ($p=.039$). Der Bewegungsumfang verbesserte sich in beiden Gruppen signifikant ($p<.001$) auf $123.8 \pm 7.2^\circ$ in Gruppe 1 und auf $125.3 \pm 6.6^\circ$ in Gruppe 2 (Abbildung 16). Zwischen den beiden Gruppen bestand bei der Plattentfernung nicht länger ein signifikanter Unterschied.

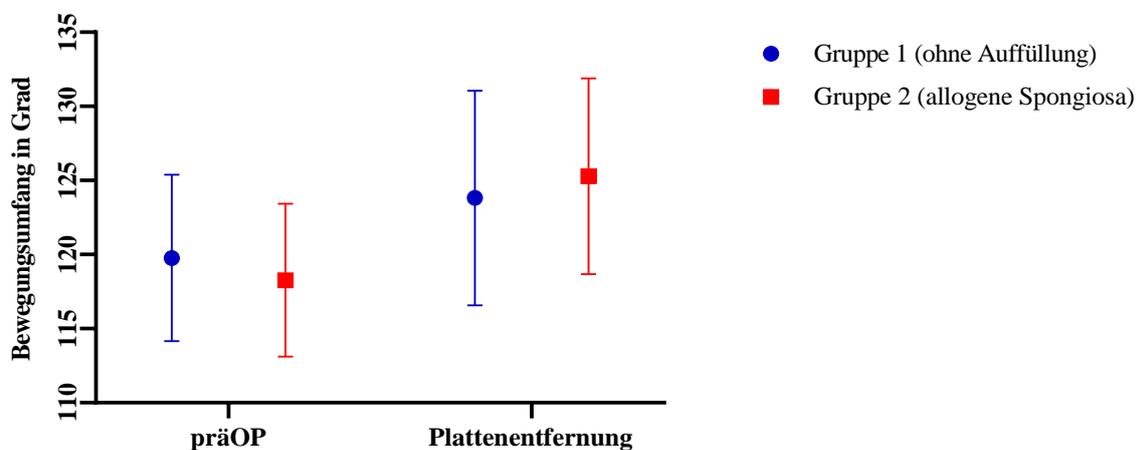


Abbildung 16 Bewegungsumfang präoperativ und bei Plattenentfernung

3.2.7 Zeit bis zur Vollbelastung

Zeitangaben bis zum Verzicht auf Unterarmgehstützen, wurden von 77.2% ($N=88$) der Patienten in Gruppe 1 und von 81.0% ($N=111$) der Patienten in Gruppe 2 gemacht. Patienten mit Auffüllung des Osteotomiespalts konnten bereits nach 8.2 ± 4.5 Wochen und damit

signifikant schneller ($p=.007$) zur Vollbelastung übergehen als Patienten ohne Auffüllung, welche dies erst nach 10.7 ± 7.8 Wochen schafften.

3.2.8 Rückkehr zur Arbeit

Zwischen den Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der Rückkehr in den vor der Operation ausgeübten Beruf und möglichen Einschränkungen in dessen Ausübung gezeigt werden (Tabelle 8). Trotz einer kürzeren Dauer bis zur Rückkehr zur Arbeit von 13.1 ± 9.0 Wochen in der Gruppe mit Auffüllung im Vergleich zu 15.1 ± 15.7 Wochen in der Gruppe ohne Auffüllung, erreichte dieser Unterschied keine statistische Signifikanz. Auffallend war eine signifikante Korrelation mit mittlerer Effektstärke zwischen der Schwere des Berufs (überwiegend sitzend, überwiegend stehend und körperlich belastend) und der Dauer der Arbeitsunfähigkeit auf: je belastender der Beruf, desto länger brauchten die Patienten um zur Arbeit zurückzukehren ($p<.001$, $r=.311$). Untersuchte man nur Patienten mit überwiegend sitzender Tätigkeit, ergab sich ebenso kein signifikanter Unterschied in der Zeit bis zur Arbeitsrückkehr zwischen den Gruppen (9.2 ± 5.9 Wochen vs. 9.3 ± 4.4 Wochen, $p=.895$). Auch den Subgruppen mit überwiegend stehender (18.8 ± 20.5 Wochen vs. 13.6 ± 10.7 Wochen, $p=.308$) und körperlich belastender Tätigkeit (20.3 ± 18 Wochen vs. 16.4 ± 10.2 Wochen, $p=.357$) zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Tabelle 8
Rückkehr zur Arbeit

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
Rückkehr in bisherigen Beruf									.995
ja	77/83(92.8)				103/111(92.8)				
nein	6/83(7.2)				8/111(7.2)				
Zeit bis zur Rückkehr (Wochen)	79/114(69.3)	15.1	15.7	0-89	106/137(77.4)	13.1	9.0	0-52	.863
Einschränkungen im Beruf									.894
ja	37/83(44.6)				51/112(45.5)				
nein	46/83(55.4)				61/112(54.5)				

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite

3.2.9 Rückkehr zum Sport

Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in der Rückkehr zum Sport, Anzahl der ausgeübten Sportarten, Sportintensität, Wettkampfniveau und Anzahl der

Sporteinheiten pro Woche jeweils im prä- und postoperativen Vergleich (Tabelle 9). Patienten mit aufgefülltem Osteotomiespalt kehrten zwar schneller, bereits nach 19.5 ± 14.7 Wochen, zum Sport zurück als Patienten ohne Auffüllung, welche nach 27.1 ± 21.8 Wochen ihre sportliche Aktivität wiederaufnehmen konnten. Dieser klinisch bedeutsame Unterschied erreichte jedoch knapp keine statistische Signifikanz ($p=.091$). In beiden Gruppen nahm die Anzahl an ausgeübten Sportarten zwischen den Zeitpunkten präoperativ und abschließender Nachuntersuchung signifikant ab ($p=.01$ in Gruppe 1 bzw. $p=.008$ in Gruppe 2). Patienten der Gruppe 1, die präoperativ noch 1.9 ± 1.3 Sportarten ausgeübt hatten, partizipierten postoperativ noch in 1.6 ± 1.1 Sportarten. Bei Patienten der Gruppe 2 sank diese Anzahl von 1.8 ± 1.5 auf 1.5 ± 1.3 . Ähnlich verhielt sich die Anzahl der Sporteinheiten pro Woche, diese verringerte sich ebenfalls in beiden Gruppen, erreichte allerdings keine statistische Signifikanz ($p=.102$ in Gruppe 1 und $p=.085$ in Gruppe 2). Patienten ohne Auffüllung trainierten präoperativ 2.2 ± 1.7 und postoperativ 2.0 ± 1.6 Mal pro Woche. Patienten mit Auffüllung verringerten die Anzahl der Sporteinheiten von 2.1 ± 1.7 auf 1.8 ± 1.6 pro Woche. In beiden Gruppen sank außerdem die Intensität (kein Sport, geringe, mittlere oder hohe Intensität) des ausgeübten Sports nach der Operation signifikant ($p=.004$ in Gruppe 1 bzw. $p<.001$ in Gruppe 2). In Gruppe 1 kehrten 47.7% ($N=41$) der untersuchten Patienten zu sportlicher Aktivität der gleichen Intensität zurück. 12.8% ($N=11$) der Patienten steigerten die Intensität ihres Sports und 39.5% ($N=34$) der Patienten verringerten diese postoperativ. In Gruppe 2 hielten 52.2% ($N=59$) der Patienten ihre präoperative Sportintensität. 10.6% ($N=12$) der Patienten konnten die Intensität steigern und bei 37.2% ($N=42$) der Patienten sank die Sportintensität postoperativ. Auch das Wettkampfniveau (kein Sport, Gelegenheitssport, Vereinssport oder Hochleistungssport) sank in beiden Gruppen nach der Operation signifikant ($p=.003$ in Gruppe 1 bzw. $p<.001$ in Gruppe 2). In Gruppe 1 kehrten 62.8% ($N=54$) der Patienten auf das gleiche Wettkampfniveau wie vor der Operation zurück. 8.1% ($N=7$) der Patienten konnten postoperativ Sport auf einem höheren Wettkampfniveau ausüben und 29.1% ($N=25$) der Patienten verringerten postoperativ ihr Wettkampfniveau. In Gruppe 2 blieb das Wettkampfniveau bei 64.0% ($N=73$) der Patienten gleich, stieg bei 7.0% ($N=8$) der Patienten und nahm bei 28.9% ($N=33$) der Patienten ab.

Tabelle 9
Rückkehr zum Sport

	Gruppe 1 (ohne Auffüllung)				Gruppe 2 (allogene Spongiosa)				<i>p</i>
	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	<i>N</i> (%)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>	
Rückkehr zum Sport									.372
ja	70/76(92.1)				84/96(87.5)				
nein	6/76(7.9)				12/96(12.5)				
Zeit bis zur Rückkehr (Wochen)	69/114(60.5)	27.1	21.8	2-104	84/137(61.3)	19.5	14.7	1-78	.091
Anzahl Sportarten									
präoperativ	88/114(77.2)	1.9	1.3	0-5	117/137(85.4)	1.8	1.5	0-5	.384
postoperativ	86/114(75.4)	1.6	1.1	0-4	113/137(82.5)	1.5	1.3	0-5	.526
Sportintensität									.935
präoperativ									
kein Sport	16/88(18.2)				25/117(21.4)				
geringe Intensität	14/88(15.9)				19/117(16.2)				
mittlere Intensität	12/88(13.6)				7/117(6.0)				
hohe Intensität	46/88(52.3)				66/117(56.4)				
Sportintensität postoperativ									.493
kein Sport	16/86(18.6)				29/113(25.7)				
geringe Intensität	27/86(31.4)				30/113(26.5)				
mittlere Intensität	22/86(25.6)				28/113(24.8)				
hohe Intensität	21/86(24.4)				26/113(23.0)				
Wettkampfniveau									.344
präoperativ									
kein Sport	17/88(19.3)				25/116(21.6)				
Gelegenheitssport	37/88(42.0)				55/116(47.4)				
Vereinssport	33/88(37.5)				34/116(29.3)				
Hochleistungssport	1/88(1.1)				2/116(1.7)				
Wettkampfniveau postoperativ									.070
kein Sport	16/86(18.6)				29/114(25.4)				
Gelegenheitssport	56/86(65.1)				76/114(66.7)				
Vereinssport	14/86(16.3)				9/114(7.9)				
Hochleistungssport	0/86(0.0)				0/114(0.0)				
Anzahl Einheiten pro Woche									
präoperativ	82/114(71.9)	2.2	1.7	0-7	112/137(81.0)	2.1	1.7	0-7	.565
postoperativ	83/114(72.8)	2.0	1.6	0-7	112/137(81.0)	1.8	1.6	0-7	.485

M=Mittelwert; *SD*=Standardabweichung; *R*=Spannweite

3.2.10 Komplikationen, Revisionen und Konversionen zur Totalendoprothese

Die Komplikationsrate betrug 24.6% (*N*=28) in Gruppe 1 und 23.4% (*N*=32) in Gruppe 2 (Abbildung 17), es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (*p*=.112). Eine Revisionsoperation wurde bei 6.1% (*N*=7) der Patienten in Gruppe 1 und bei 1.5% (*N*=2) der Patienten in Gruppe 2 notwendig. Dieser Unterschied erreichte ebenfalls keine statistische Relevanz (*p*=.100). Während eine non-union (nach sechs Monaten ausbleibende Knochenheilung über Zone drei hinaus mit Instabilität der Osteotomie) bei 2.6% (*N*=3) der Patienten ohne Auffüllung auftrat, kam diese Komplikation bei Patienten mit Auffüllung nicht

vor. In einem Revisionseingriff wurde bei diesen Patienten der Osteotomiespalt nachträglich mit allogenen oder autologem Knochenmaterial aufgefüllt. Eine unvollständige Durchbauung des Osteotomiespalts (unvollständige knöcherne Konsolidierung nach sechs Monaten mit vorhandener Stabilität der Osteotomie) wiesen 13.2% ($N=15$) der Patienten in Gruppe 1 und 13.1% ($N=18$) der Patienten in Gruppe 2 auf. Bei diesen Patienten wurde der Restdefekt des Osteotomiespalts im Rahmen der Plattenentfernung mit allogener Corticospongiosa der DIZG aufgefüllt. Eine Wundinfektion trat bei 4.4% ($N=5$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 6.6% ($N=9$) der Patienten in Gruppe 2 auf. Diese wurden antibiotisch therapiert, eine Revision mit Wunddebridement wurde bei jeweils zwei Fällen pro Gruppe notwendig. Bei jeweils einem Patienten mit Wundinfektion pro Gruppe kam es im Verlauf zu einer unvollständigen Durchbauung des Osteotomiespalts. Eine laterale Hingefraktur trat bei 1.8% ($N=2$) der Patienten in Gruppe 1 und bei keinem Patienten in Gruppe 2 auf. Eine Fraktur entstand intraoperativ und die andere bei einem postoperativen Fahrradsturz. Die Frakturen wurden konservativ therapiert. In einem Fall kam es im Verlauf zu einer unvollständigen Durchbauung des Osteotomiespalts. Eine Tibiaplateaufraktur kam bei 0.9% ($N=1$) der Patienten in Gruppe 1 und in 2.2% ($N=3$) der Patienten in Gruppe 2 vor. In einem Fall pro Gruppe entstand diese traumatisch nach der Operation, in zwei Fällen in Gruppe 2 ereignete sich die Komplikation intraoperativ. In einem Fall in Gruppe 2 konnte konservativ behandelt werden, die anderen drei Frakturen wurden mittels Plattenosteosynthese, bei intraoperativem Auftreten im selben Eingriff, stabilisiert. Bei einer Tibiaplateaufraktur in Gruppe 2 trat im Verlauf eine unvollständige Durchbauung des Osteotomiespalts auf. Bei 1.8% ($N=2$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 0.7% ($N=1$) der Patienten in Gruppe 2 trat ein Wundhämatom auf. Bei einem Patienten in Gruppe 1 wurde dieses operativ ausgeräumt, die anderen Patienten behandelte man prophylaktisch mit Antibiotika. In 0.7% ($N=1$) der Fälle in Gruppe 2 kam es perioperativ zu einer allergischen Reaktion auf Schmerzmedikamente, welche medikamentös therapiert wurde.

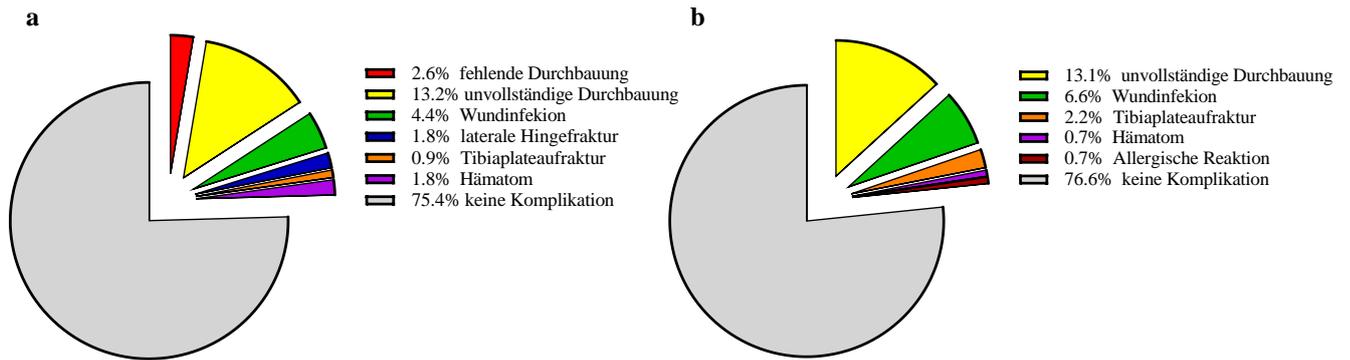


Abbildung 17 Komplikationen: **a** Gruppe 1, **b** Gruppe 2

Bei keinem Patienten erfolgte im Nachuntersuchungszeitraum die Konversion zu einer Totalendoprothese. Das Überleben der Osteotomie betrug somit jeweils 100% für den Zeitraum von 21.6 ± 3.8 Monaten in Gruppe 1 und 13.6 ± 1.4 Monaten in Gruppe 2.

3.2.11 Zeit bis zur Plattenentfernung

Bei 91.2% ($N=104$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 88.3% ($N=121$) der Patienten in Gruppe 2 erfolgte die Plattenentfernung während des Nachuntersuchungszeitraums. In Gruppe 2 geschah dies nach 11.3 ± 2.8 Monaten und somit signifikant schneller ($p < .001$) als in Gruppe 1 nach 13.8 ± 5.0 Monaten. Im Rahmen der Materialentfernung wurde bei 35.1% ($N=40$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 29.2% ($N=40$) der Patienten in Gruppe 2 eine erneute Arthroskopie durchgeführt, dieser Unterschied zwischen den Gruppen blieb nicht signifikant ($p = .319$).

3.3 Korrelationen

Die patienten- und operationsspezifischen Faktoren Geschlecht, Alter, BMI, Raucherstatus, Korrekturwinkel der Osteotomie und präoperativer Knorpelstatus im medialen Kompartiment wurden mit dem Auftreten einer fehlenden oder unvollständigen Durchbauung des Osteotomiespalts einerseits und mit den klinischen Ergebnissen am Ende des Nachuntersuchungszeitraums andererseits korreliert. Diese klinischen Ergebnisse beinhalteten den subjektiven IKDC 2000 Score, den Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score, den Tegner-Aktivitätsscore, die Patientenzufriedenheit, Schmerzen in Ruhe und bei Bewegung, Bewegungsumfang des Knies und die jeweils vergangene Zeit bis zur Vollbelastung, Arbeits- und Sportrückkehr (Tabelle 10). Es konnte eine signifikante Korrelation mit geringer Effektstärke zwischen dem Korrekturwinkel der Osteotomie und dem

Auftreten einer non-union oder einer unvollständigen Durchbauung des Osteotomiespalts gezeigt werden (Eta-Koeffizient=.142, $p=.025$). Patienten mit einem größeren Korrekturwinkel hatten somit ein höheres Risiko für eine Komplikation bei der Knochenheilung. Ein Zusammenhang zwischen Rauchen und fehlender bzw. unvollständiger Durchbauung erreichte knapp keine statistische Relevanz (Cramer's $V=.126$, $p=.073$). Der BMI der Patienten korrelierte jeweils signifikant invers mit niedriger Effektstärke mit den klinischen Scores zum Ende des Nachuntersuchungszeitraums. Je höher der BMI, desto niedriger waren die Ergebnisse im subjektiven IKDC 2000 Score (Pearson-Korrelation=-.242, $p=.001$), im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score (Pearson-Korrelation=-.226, $p=.002$) und im Tegner-Aktivitätsscore (Pearson-Korrelation=-.207, $p=.001$). Außerdem konnte ein signifikanter Zusammenhang mit niedriger Effektstärke für den BMI mit Schmerzen in Ruhe (Kendall-b-tau-Korrelationskoeffizient=.127, $p=.020$) nachgewiesen werden. Je höher der BMI, desto mehr Schmerzen in Ruhe gaben die Patienten bei der abschließenden Nachuntersuchung an. Eine invers signifikante Korrelation mit niedriger Effektstärke fand sich zwischen dem BMI und dem Bewegungsumfang bei der Plattenentfernung. Ein höherer BMI war mit einem geringeren Bewegungsumfang vergesellschaftet (Pearson-Korrelation=-.143, $p=.034$). Ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit niedriger Effektstärke bestand desweiteren zwischen dem BMI und der Zeit bis zur Arbeitsrückkehr. Ein höherer BMI ging mit einer längeren Zeit der Arbeitsunfähigkeit einher (Pearson-Korrelation=.186, $p=.011$). Ein ähnlicher Zusammenhang zwischen BMI und der Zeit bis zur Vollbelastung erreichte knapp keine statistische Signifikanz (Pearson-Korrelation=.128, $p=.072$). Rauchen korrelierte signifikant mit niedriger Effektstärke mit der Zeit bis zur Vollbelastung. Rauchen ist somit ein Faktor, der die Zeit bis zum Erreichen der Vollbelastung ohne Gehstützen verlängert (Eta-Koeffizient=.203, $p=.003$). Eine ähnliche Korrelation zwischen Rauchen und der Zeit bis zur Sportrückkehr blieb knapp nicht signifikant (Eta-Koeffizient=.136, $p=.095$).

Neben dem BMI korrelierte außerdem das Geschlecht und das Alter der Patienten signifikant mit niedriger Effektstärke mit der Zeit bis zur Arbeitsrückkehr. So war sowohl das weibliche Geschlecht (Eta-Koeffizient=.152, $p=.039$), als auch ein höheres Alter (Pearson-Korrelation=.183, $p=.013$) mit einer längeren Zeit der Arbeitsunfähigkeit assoziiert. Zwischen den anderen Variablen konnte kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden (Tabelle 10).

Tabelle 10
Korrelationen

		Geschlecht	Alter	BMI	Rauchen	Korrekturwinkel	Knorpelstatus medial
fehlende/unvollständige Durchbauung	<i>r</i>	.039 ⁴	.038 ³	.098 ³	.126 ⁴	.142 ^{3*}	.064 ⁴
	<i>p</i>	.537	.551	.123	.073	.025	.770
IKDC-Score	<i>r</i>	.070 ³	-.106 ¹	-.242 ^{1**}	.023 ³	-.104 ¹	-.090 ²
	<i>p</i>	.338	.145	.001	.756	.154	.289
Cincinnati-Score	<i>r</i>	.052 ³	-.095 ¹	-.226 ^{1**}	.002 ³	-.052 ¹	-.131 ²
	<i>p</i>	.482	.201	.002	.976	.488	.134
Tegner-Score	<i>r</i>	.293 ⁴	-.076 ²	-.207 ^{2**}	.160 ⁴	.041 ²	-.051 ²
	<i>p</i>	.088	.202	.001	.845	.521	.612
Patientenzufriedenheit	<i>r</i>	.136 ⁴	-.072 ²	-.004 ²	.116 ⁴	-.059 ²	-.008 ²
	<i>p</i>	.461	.194	.943	.625	.330	.935
Schmerzen in Ruhe	<i>r</i>	.201 ⁴	.011 ²	.127 ^{2*}	.197 ⁴	-.030 ²	.002 ²
	<i>p</i>	.441	.837	.020	.469	.601	.982
Schmerzen bei Bewegung	<i>r</i>	.252 ⁴	-.026 ²	.088 ²	.180 ⁴	.042 ²	-.085 ²
	<i>p</i>	.284	.618	.102	.807	.464	.342
Bewegungsumfang	<i>r</i>	.084 ³	-.079 ¹	-.143 ^{1*}	.030 ³	-.047 ¹	-.089 ²
	<i>p</i>	.212	.239	.034	.681	.482	.281
Zeit bis zur Vollbelastung	<i>r</i>	.064 ³	-.005 ¹	.128 ¹	.203 ^{3**}	-.037 ¹	.014 ²
	<i>p</i>	.370	.945	.072	.004	.602	.870
Zeit bis zur Arbeitsrückkehr	<i>r</i>	.152 ^{3*}	.183 ^{1*}	.186 ^{1*}	.024 ³	.000 ¹	.074 ²
	<i>p</i>	.039	.013	.011	.742	.999	.389
Zeit bis zur Sportrückkehr	<i>r</i>	.092 ³	.083 ¹	.062 ¹	.136 ³	-.096 ¹	.019 ²
	<i>p</i>	.257	.310	.446	.095	.237	.843

r=Korrelationskoeffizient; ¹=Pearson-Korrelation; ²=Kendall-tau-b-Korrelationskoeffizient; ³=Eta-Koeffizient; ⁴= Cramer's V; *=die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant; **=die Korrelation ist auf dem Niveau 0.01 (2-seitig) signifikant

3.4 Subgruppenanalyse

3.4.1 HTO mit Knorpeltherapie

Bei 51.8% (*N*=130) der Patienten wurde die HTO mit einer Knorpeltherapie (Mikrofrakturierung, Abrasionsarthroplastik, OCT oder MACT) kombiniert. In 43.1% (*N*=56) dieser Fälle blieb der Osteotomiespalt offen, in 56.9% (*N*=74) erfolgte eine Auffüllung mit allogener Corticospongiosa. Die Zeit bis zur vollständigen knöchernen Durchbauung betrug 32±16.6 Wochen ohne Auffüllung und 16.9±11.4 Wochen mit Auffüllung (*p*<.001). Nach 6 Wochen waren bei 10.6% (*N*=5) der Patienten ohne Auffüllung alle 5 Zonen des Osteotomiespalts auf der a.p. Aufnahme durchbaut. Dieser Anteil war in der Gruppe mit

Allograft mit 28.8% ($N=19$) signifikant größer ($p=.02$). Nach 16 Wochen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in der Durchbauung (37.5%, $N=3$ vs. 66.7%, $N=18$, $p=.221$). Nach 28 Wochen zeigten in der Gruppe mit Auffüllung 82.1% ($N=23$) der Patienten eine vollständige Konsolidierung aller 5 Zonen im Vergleich mit 51.9% ($N=14$) in der Gruppe ohne Auffüllung ($p=.017$). Nach 53 Wochen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (100%, $N=10$ vs. 80%, $N=4$, $p=.333$).

Bezüglich des subjektiven IKDC 2000 Scores bestand präoperativ (53.3 ± 20.1 vs. 49.7 ± 13.7 , $p=.421$), nach 3 Monaten (57 ± 16.7 vs. 55 ± 14.8 , $p=.497$), nach 6 Monaten (62.9 ± 14.3 vs. 65.7 ± 14 , $p=.264$) und zum Abschluss der Nachuntersuchung (66.2 ± 20 vs. 70.6 ± 15.8 , $p=.787$) kein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten ohne und mit Auffüllung des Osteotomiespalts. Auch im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score präoperativ (57.1 ± 22.2 vs. 53.7 ± 17.8 , $p=.671$), nach 3 Monaten (59.2 ± 19.5 vs. 54 ± 15.5 , $p=.348$), nach 6 Monaten (64.8 ± 22 vs. 63.4 ± 16.9 , $p=.145$) und bei der abschließenden Nachuntersuchung (67.1 ± 20.1 vs. 69.8 ± 17.8 , $p=.646$) unterschieden sich die beiden Gruppen nicht signifikant voneinander. Beim Tegner-Aktivitätsscore zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zu den Zeitpunkten präoperativ (2.8 ± 1.6 vs. 4.3 ± 2.2 , $p=.115$), nach 3 Monaten (3 ± 2.4 vs. 3.2 ± 2.4 , $p=.989$), nach 6 Monaten (3.2 ± 1.8 vs. 3.9 ± 1.8 , $p=.051$) und zum Abschluss der Studie (3.6 ± 1.7 vs. 4.1 ± 1.5 , $p=.061$). In beiden Gruppen war der Großteil der Patienten mit dem Operationsergebnis „zufrieden“ oder sogar „sehr zufrieden“ (69.8%, $N=30$ vs. 71.5%, $N=45$, $p=.916$) und 76.7% ($N=33$) bzw. 79.4% ($N=50$) der Patienten würden sich erneut für die OP entscheiden ($p=.748$). Den Gesamtzustand ihres Kniegelenks schätzten Patienten ohne Auffüllung mit $71.6\pm 18.4\%$ und Patienten mit Auffüllung mit $71.5\pm 18.7\%$ ein ($p=.904$). Auf der numerischen Schmerzskala lag der Median für Schmerzen in Ruhe bei 1.0 (0-8) in Gruppe 1 bzw. 0.0 (0-8) in Gruppe 2 ($p=.707$). Für Schmerzen bei Bewegung ergab sich ein Median von 3.0 (0-8) bzw. 3.0 (0-9, $p=.266$). Der Bewegungsumfang stieg in der Gruppe ohne Auffüllung von $120.7\pm 5.7^\circ$ auf $124\pm 7.2^\circ$ und in der Gruppe mit Auffüllung von $118.3\pm 5.1^\circ$ auf $125\pm 7^\circ$. Der präoperative Unterschied zwischen den Gruppen ($p=.045$) erreichte postoperativ nicht länger statistische Signifikanz ($p=.498$). Es bestand kein Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Zeit bis zur Vollbelastung (10.9 ± 8.7 vs. 8.5 ± 4.6 , $p=.076$), Zeit bis zur Arbeitsrückkehr (10.4 ± 5.7 vs. 12.3 ± 7.5 , $p=.392$) und Zeit bis zur Sportrückkehr (24.8 ± 18.2 vs. 20.6 ± 16.2 , $p=.484$). Ein größerer Anteil der Patienten mit Auffüllung konnte postoperativ in ihren präoperativen Beruf zurückkehren (98.4%, $N=62$ vs. 86%, $N=43$, $p=.018$). Die Komplikationsrate betrug 21.4% ($N=12$) bei Patienten ohne Auffüllung mit 6 Fällen von unvollständiger und 1 Fall von fehlender knöcherner Durchbauung (10.7% bzw. 1.8%). Bei

Patienten mit Allograft zeigte sich eine Komplikationsrate von 21.6% ($N=16$) mit 7 Fällen (9.5%) von unvollständiger Durchbauung ohne einer fehlender Durchbauung ($p=.155$). Eine Revision wurde bei 5.4% ($N=3$) der Patienten in Gruppe 1 notwendig. In Gruppe 2 wurde keine Revison durchgeführt ($p=.077$).

3.4.2 HTO ohne Knorpeltherapie

Bei 48.2% ($N=121$) der untersuchten Patienten wurde eine isolierte HTO ohne begleitende Knorpeltherapie durchgeführt. Bei 47.9% ($N=58$) dieser Patienten blieb der Osteotomiespalt offen, wohingegen bei 52.1% ($N=63$) eine Auffüllung mit allogenen Knochen vorgenommen wurde. Nach 30 ± 14.2 Wochen war der Osteotomiespalt ohne Auffüllung auf dem a.p. Röntgen vollständig durchbaut, mit Auffüllung war dies bereits nach 19.2 ± 15.6 Wochen der Fall ($p=.005$). Nach 6 Wochen waren bei 33.3% ($N=16$) der Patienten mit Allograft alle 5 Zonen des Osteotomiespals auf der a.p.-Aufnahme durchbaut im Vergleich mit 2% ($N=1$) der Patienten ohne Auffüllung ($p<.001$). Nach 16 Wochen zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in der Durchbauung (36.4%, $N=4$ vs. 52.6%, $N=10$, $p=.389$). Auch nach 28 Wochen (53.3%, $N=16$ vs. 68.2%, $N=15$, $p=.281$) bzw. 53 Wochen (85.7%, $N=6$ vs. 100%, $N=8$, $p=.467$) unterschieden sich die beiden Gruppen nicht signifikant. Zu den Zeitpunkten präoperativ (44.1 ± 22.1 vs. 47.1 ± 19.4 , $p=.501$), 3 Monate postoperativ (51.1 ± 17.5 vs. 53.8 ± 11.2 , $p=.814$), 6 Monate postoperativ (63.6 ± 17.5 vs. 53.5 ± 14.5 , $p=.425$) und zum Abschluss der Nachuntersuchung (68.8 ± 16 vs. 67.9 ± 14.6 , $p=.963$) unterschieden sich die Patienten ohne und mit Auffüllung des Osteotomiespals nicht signifikant im subjektiven IKDC 2000 Score. Auch im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score präoperativ (47.5 ± 25.3 vs. 47.3 ± 22.3 , $p=.714$), nach 3 Monaten (51.8 ± 22.8 vs. 53.4 ± 15.5 , $p=.983$), nach 6 Monaten (64.5 ± 22.5 vs. 52.3 ± 18.8 , $p=.306$) und bei der abschließenden Nachuntersuchung (68.2 ± 18 vs. 67.7 ± 19.3 , $p=.967$) ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Der präoperative Tegner-Aktivitätsscore war mit 4.5 ± 2.2 bei Patienten mit Allograft signifikant größer als bei Patienten ohne Auffüllung mit 2.2 ± 1.9 ($p=.007$). Nach 3 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten ohne Auffüllung (2.6 ± 2) und den Patienten mit Auffüllung (2.7 ± 1.8 , $p=.581$). Nach 6 Monaten überstieg das Ergebnis im Tegner-Aktivitätsscore von Patienten ohne Auffüllung mit 3.7 ± 1.6 signifikant das von Patienten mit Allograft mit 2.5 ± 1.7 ($p=.028$). Bei der abschließenden Nachuntersuchung unterschieden sich die beiden Gruppen nicht länger signifikant (4.1 ± 1.2 vs. 3.8 ± 1.6 , $p=.710$). Ein ähnlich hoher Anteil der Patienten in beiden Gruppen gab an mindestens „zufrieden“ mit dem Ergebnis zu sein (70.7%, $N=29$ vs. 83.3, $N=40$, $p=.585$) und 82.9% ($N=34$) bzw. 81.3%

($N=39$) würden sich der HTO erneut unterziehen ($p=.837$). Patienten ohne Auffüllung schätzten den Gesamtzustand ihres Kniegelenks mit $71.7\pm 18.4\%$ ein im Vergleich mit Patienten mit Auffüllung, welche einen durchschnittlichen Wert von $71.6\pm 16.6\%$ angaben ($p=.774$). Der Median der numerischen Schmerzskala für Schmerzen in Ruhe lag bei 1.0 (0-8) in Gruppe 1 und bei 0.5 (0-8) in Gruppe 2 ($p=.881$). Auch bezüglich der Schmerzen bei Bewegung ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 mit einem Median von 2.0 (0-10) und Gruppe 2 mit 2.5 (0-9, $p=.99$). Der Bewegungsumfang unterschied sich weder präoperativ ($118.8\pm 5.4^\circ$ vs. $118.2\pm 5.2^\circ$, $p=.211$) noch bei Plattenentfernung ($123.6\pm 7.3^\circ$ vs. $125.6\pm 6.2^\circ$, $p=.112$) signifikant zwischen den Gruppen. Patienten mit Auffüllung des Osteotomiespalts kehrten bereits nach 7.7 ± 4.5 Wochen und damit signifikant schneller zur Vollbelastung zurück als Patienten ohne Auffüllung (10.4 ± 6.8 Wochen, $p=.039$). Bezüglich der Rückkehr zu Arbeit (19.6 ± 20.5 Wochen vs. 14 ± 10.6 Wochen, $p=.620$) und zum Sport (29.5 ± 25 Wochen vs. 14.3 ± 13.1 Wochen, $p=.086$) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten ohne und mit Auffüllung des Osteotomiespaltes erfasst werden. Alle Patienten ohne Auffüllung ($N=40$) konnten in ihren präoperativen Beruf zurückkehren im Vergleich zu 85.7% ($N=42$) der Patienten mit Auffüllung ($p=.015$). Die Komplikationsrate lag für Patienten ohne Auffüllung bei 25.9% ($N=15$) mit 7 Fällen von unvollständiger und 2 Fällen von fehlender knöcherner Durchbauung (12.1% bzw. 3.4%). Bei Patienten mit Allograft betrug die Komplikationsrate 27% ($N=17$) mit 9 Fällen (14.3%) von unvollständiger Durchbauung ($p=.584$). Eine non-union trat in dieser Gruppe nicht auf. Eine Revision musste bei 6.9% ($N=4$) der Patienten in Gruppe 1 und bei 3.2% ($N=2$) in Gruppe 2 durchgeführt werden ($p=.369$).

3.4.3 HTO ohne Auffüllung: *TomoFix*- versus *PEEKPower-HTO*-Platte

In 86% ($N=98$) der HTOs ohne Auffüllung des Osteotomiespalts wurde die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) und in 14% ($N=16$) die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) verwendet. Nach 30.1 ± 16.2 Wochen war der Osteotomiespalt unter Verwendung der *TomoFix*-Platte vollständig durchbaut, bei der *PEEKPower-HTO*-Platte war dies nach 25.3 ± 8.9 Wochen der Fall ($p=.811$). Nach 6 Wochen waren bei 7% ($N=6$) der Patienten mit *TomoFix*-Platte alle 5 Zonen des Osteotomiespalts auf der a.p. Aufnahme durchbaut, dies war bei keinem Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte der Fall ($p=.345$). Auch nach 16 Wochen (35.3%, $N=6$ vs. 50%, $N=1$, $p=.683$), 28 Wochen (52.1%, $N=25$ vs. 55.6%, $N=55$, $p=.848$) und 53 Wochen (93.3%, $N=14$ vs. 100%, $N=2$, $p=.707$) bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Plattenfixateuren in der Durchbauung des Osteotomiespalts. Im subjektiven IKDC 2000 Score bestand präoperativ (48.8 ± 16.9 vs. 59.8 ± 16.7 , $p=.209$), nach 3 Monaten (56.3 ± 15.8 vs.

60.9±15, $p=.254$), nach 6 Monaten (61.8±18.2 vs. 70.4±16.4, $p=.130$) und zum Abschluss der Nachuntersuchung (68.6±17.9 vs. 71.4±13.3, $p=.670$) kein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten mit *TomoFix*-Platte und *PEEKPower-HTO*-Platte. Auch im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score präoperativ (50.2±21.3 vs. 66.8±16.9, $p=.165$), nach 3 Monaten (56.8±20.9 vs. 51.7±20.6, $p=.644$), nach 6 Monaten (63.8±23.1 vs. 69.9±23.9, $p=.421$) und bei der abschließenden Nachuntersuchung (67.2±19 vs. 73.8±9.9, $p=.579$) unterschieden sich die beiden Plattenfixateure nicht signifikant voneinander. Die Analyse des Tegner-Aktivitätsscores zeigte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zu den Zeitpunkten präoperativ (2.5±1.6 vs. 3.5±1.3, $p=.271$), nach 3 Monaten (2.8±2 vs. 2.9±2.9, $p=.720$), nach 6 Monaten (3.3±1.8 vs. 2.7±1.4, $p=.297$) und zum Abschluss der Studie (3.8±1.6 vs. 3.7±0.7, $p=.579$). Der Anteil an „zufriedenen“ bzw. „sehr zufriedenen“ Patienten (83.3%, $N=10$) und an Patienten, welche sich der OP erneut unterziehen würden (91.7%, $N=11$), war bei der *PEEKPower-HTO*-Platte nicht signifikant höher als bei der *TomoFix*-Platte (68%, $N=49$, $p=.261$ bzw. 77.8%, $N=56$, $p=.268$). Patienten mit *TomoFix*-Platte schätzten den Gesamtzustand ihres Kniegelenks mit 71.3±18.8% ein, im Vergleich mit 73.8±15.1% ($p=.748$) bei Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte. Auch bezüglich Schmerzen in Ruhe (1.0, 0-8 vs. 0.5, 0-4, $p=.727$) und bei Bewegung (3.0, 0-10 vs. 2.5, 0-8, $p=.845$) ergab sich kein Unterschied zwischen den Plattenfixateuren. Der Bewegungsumfang unterschied sich weder präoperativ (120±5.6° vs. 120.3±3.8°, $p=.297$) noch bei Plattenentfernung (124±7.4° vs. 122.6±6°, $p=.766$) signifikant. Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte wiesen eine kürzere Zeit bis zur Rückkehr zur Vollbelastung (11.1±8.3 vs. 7.8±2.4 Wochen, $p=.145$), bis zur Arbeitsrückkehr (15.9±16.6 vs. 10.2±7.2 Wochen, $p=.355$) und bis zur Sportrückkehr (27.8±22.7 vs. 23.9±17 Wochen, $p=.732$) auf, es wurde jedoch keine statistische Signifikanz erreicht. Über 90% der Patienten konnten jeweils in ihren präoperativen Beruf zurückkehren (91.7%, $N=66$ vs. 100%, $N=11$, $p=.320$). Es zeigte sich eine Komplikationsrate von 23.5% ($N=23$) bei Patienten mit *TomoFix*-Platte mit 3 non-unions (3.1%) und 11 Fällen mit unvollständiger Durchbauung (11.2%). Die Komplikationsrate bei Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte betrug 25% ($N=4$) mit 2 Fällen von unvollständiger Durchbauung (12.5%) aber ohne non-union ($p=.519$). Eine Revision wurde in 6.1% ($N=6$) bzw. 6.3% ($N=1$, $p=.488$) der Fälle nötig. Die *TomoFix*-Platte wurde bei 92.9% ($N=91$) nach 13.6±14.7 Monaten entfernt. Die *PEEKPower-HTO*-Platte wurde bei 83.3% ($N=13$, $p=.128$) nach 15.1±6.9 Monaten ($p=.613$) entfernt.

3.4.4 HTO mit allogenem Knochen: *TomoFix*- versus *PEEKPower-HTO*-Platte

In 48.9% ($N=67$) der HTOs mit Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogem Knochen wurde die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) und in 51.1% ($N=70$) die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) verwendet. Nach 15.7 ± 11.5 Wochen war der Osteotomiespalt bei Patienten mit *TomoFix*-Platte vollständig durchbaut, bei der *PEEKPower-HTO*-Platte war dies nach 18.8 ± 15.1 Wochen der Fall ($p=.422$). Nach 6 Wochen waren 30.2% ($N=16$) der Osteotomien, welche mit der *TomoFix*-Platte stabilisiert wurden, vollständig durchbaut. Dies war bei 31.1% ($N=19$) der Osteotomien mit *PEEKPower-HTO*-Platte der Fall ($p=.912$). Auch nach 16 Wochen (52.4%, $N=11$ vs. 68%, $N=17$, $p=.280$), 28 Wochen (74.1%, $N=20$ vs. 78.3%, $N=18$, $p=.730$) und 53 Wochen (100%, $N=6$ vs. 85.7%, $N=6$, $p=.336$) bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Plattenfixateuren in der Durchbauung des Osteotomiespalts. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im subjektiven IKDC 2000 Score präoperativ (46.4 ± 19 vs. 47.8 ± 14.9 , $p=.509$), nach 3 Monaten (56 ± 11.5 vs. 55.2 ± 17.2 , $p=.754$), nach 6 Monaten (58.5 ± 15.3 vs. 63.2 ± 14.9 , $p=.196$) und zum Abschluss der Nachuntersuchung (67.2 ± 14.9 vs. 72.3 ± 15.2 , $p=.067$). Auch im Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score präoperativ (45.1 ± 22.5 vs. 51.2 ± 18.1 , $p=.360$), nach 3 Monaten (56.1 ± 17.1 vs. 51.6 ± 12.8 , $p=.147$), nach 6 Monaten (56.8 ± 20.4 vs. 63.2 ± 15.4 , $p=.286$) und bei der abschließenden Nachuntersuchung (66.8 ± 18.7 vs. 71.6 ± 17.6 , $p=.131$) ergab sich kein signifikanter Unterschied. Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte wiesen zum Abschluss des Nachuntersuchungszeitraums einen signifikant höheren Tegner-Aktivitätsscore auf (4.4 ± 1.2 vs. 3.4 ± 1.7 , $p\leq .001$). Diese Tendenz zeigte sich auch zu den Zeitpunkten präoperativ (4.7 ± 2.3 vs. 4 ± 1.8 , $p=.501$), 3 Monate postoperativ (3.2 ± 1.8 vs. 2.9 ± 2.4 , $p=.404$) und 6 Monate postoperativ (3.8 ± 1.7 vs. 3.1 ± 2 , $p=.140$), jedoch ohne statistische Signifikanz zu erreichen. 70.6% ($N=39$) der Patienten mit *TomoFix*-Platte waren „zufrieden“ bzw. „sehr zufrieden“ mit dem Operationsergebnis und 81.1% ($N=43$) würden sich erneut für die OP entscheiden. Wurde die *PEEKPower-HTO*-Platte verwendet, betrug der Anteil an „zufriedenen“ bzw. „sehr zufriedenen“ Patienten (79.3%, $N=46$, $p=.439$) und an Patienten, welche sich der OP erneut unterziehen würden 79.3% ($N=46$, $p=.810$). Die Funktionalität ihres Kniegelenks schätzten Patienten mit *TomoFix*-Platte mit $70.6\pm 16.5\%$ und Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte mit $72.4\pm 18.9\%$ ein ($p=.309$). Die beiden verwendeten Plattenfixateure unterschieden sich außerdem nicht signifikant bezüglich Schmerzen in Ruhe (2.0, 0-8 vs. 0.0, 0-8, $p=.281$) und bei Bewegung (3.0, 0-8 vs. 2.5, 0-9, $p=.223$). Ebenfalls ohne signifikanten Unterschied blieb die Analyse des Bewegungsumfanges präoperativ ($118\pm 4.6^\circ$ vs. $118.4\pm 5.1^\circ$, $p=.431$) und bei

Plattenentfernung ($125.3 \pm 7.2^\circ$ vs. $125.3 \pm 6^\circ$, $p=.925$). Die Zeit bis zur Rückkehr zur Vollbelastung (8.1 ± 4.4 vs. 8.3 ± 4.7 Wochen, $p=.972$), bis zur Arbeitsrückkehr (13.5 ± 8.8 vs. 12.6 ± 9.3 Wochen, $p=.431$) und bis zur Sportrückkehr (18.6 ± 13.6 vs. 20.5 ± 15.8 Wochen, $p=.732$) war in beiden Gruppen ähnlich. Etwa 93% der Patienten in beiden Gruppen konnten ihren präoperativen Beruf wieder ausüben (92.3% , $N=48$ vs. 92.8% , $N=55$, $p=1$). Die Komplikationsrate unter Verwendung der *TomoFix*-Platte betrug 19.4% ($N=13$) mit 8 Fällen (11.4%) von unvollständiger Durchbauung. Bei erfolgter Stabilisierung der HTO mit der *PEEKPower-HTO*-Platte zeigte sich eine Komplikationsrate von 28.6% ($N=20$, $p=.678$) mit 10 (14.3%) unvollständig durchbauten Osteotomien. Ein Wunddebridement als Revisionseingriff musste in jeweils 1 Fall durchgeführt werden (1.5% vs. 1.4% , $p=1$). Die elektive Metallentfernung wurde bei 86.6% ($N=58$) der Patienten mit *TomoFix*-Platte nach 11.3 ± 3.1 Monaten durchgeführt. Die *PEEKPower-HTO*-Platte wurde bei 90% ($N=63$, $p=.532$) nach 11.3 ± 2.6 Monaten ($p=.523$) entfernt.

4. DISKUSSION

Die Zusammensetzung der beiden Gruppen kann insgesamt als homogen angesehen werden, es bestanden jedoch Unterschiede in der Länge des Nachuntersuchungszeitraums und in der Art der verwendeten winkelstabilen Platte. Der Nachuntersuchungszeitraum in Gruppe 1 war im Mittel um 8 Monate länger als in Gruppe 2. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Patienten mit offenem Osteotomiespalt bereits im Jahr 2016 operiert wurden, wohingegen mit der Auffüllung des Osteotomiespalts erst Anfang des Jahres 2017 begonnen wurde. Damit ergibt sich die erwähnte Diskrepanz zwischen den Gruppen in der Zeit bis zur im Jahr 2018 durchgeführten Abschlussuntersuchung. In Gruppe 1 wurde in der deutlichen Mehrheit der Fälle die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) verwendet, in Gruppe 2 wurde diese Platte bei etwa der Hälfte der Patienten implantiert. Beim Rest kam die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) zum Einsatz. Um einen möglichen Unterschied zwischen den verwendeten Plattenfixateuren zu detektieren wurde eine Subgruppenanalyse durchgeführt, welche im Verlauf diskutiert wird.

Radiologische Ergebnisse

In der radiologischen Auswertung zeigte sich eine schnellere Durchbauung des Osteotomiespalts im a.p. Röntgen nach Auffüllung mit allogenen Corticospongiosa-Chips. Die Durchbauungszeit betrug in der Gruppe mit Auffüllung 18.6 Wochen und war somit etwa 12

Wochen schneller als in der Gruppe ohne Auffüllung (30.7 Wochen). Variierende Definitionen von vollständiger, verzögerter, unvollständiger oder fehlender knöcherner Durchbauung erschweren neben unterschiedlichen Studiendesigns mit verschiedensten Auffüllungsmaterialien den Vergleich der Ergebnisse mit anderen Arbeiten zum Thema Knochenheilung nach öffnenden HTOs (109).

Eine systematische Übersichtsarbeit von Lash et al. untersuchte über 3000 Kniegelenke nach öffnender HTO mit verschiedenen Auffüllungsmaterialien. In 468 Fällen wurde mit allogenen Knochenmaterial aufgefüllt, wohingegen der Osteotomiespalt in 209 Fällen offen blieb. Die durchschnittliche Zeit bis zur vollständigen Knochenheilung betrug 16.5 bzw. 39.1 Wochen. Die Autoren beschreiben eine sehr heterogene Studienzusammensetzung bezogen auf die berichteten Outcomes, weshalb eine Metaanalyse nicht möglich war. Außerdem waren die Mehrheit der 56 inkludierten Studien Fallserien mit nur 13 Kohortenstudien mit Vergleichsgruppe und einer randomisierten kontrollierten Studie. Entgegen aktueller Entwicklungen wurden nur in 24% der Fälle winkelstabile Implantate zur Fixation verwendet (78). Yacobucci et al. und Lee et al. beschreiben in Fallserien eine mittlere Durchbauungszeit von 12.1 Wochen bzw. 12.7 Wochen nach Auffüllung mit allogenen Knochenkeilen. Mögliche Erklärungen für die schnellere Durchbauungszeit im Vergleich zur vorliegenden Arbeit sind das Fehlen einer standardisierten Auswertungsmethode zur Feststellung der vollständigen Durchbauung und die Verwendung der *Puddu*-Platte (Arthrex, USA) und der *Aescula open wedge*-Platte (Aesculap, Deutschland), welche durch ihr Design mit medialem Block eine Beurteilung der Knochendurchbauung im medialen Osteotomiespalt unmöglich macht (127,128).

Brosset et al. führten 2011 eine neue Methode zur Bewertung der knöchernen Durchbauung des Osteotomiespalts mittels Zonen ein, welche auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Bei der Untersuchung von 51 Fällen ohne Auffüllung zeigte sich eine Durchbauungszeit von 19.6 Wochen (79). Aufgrund des offen gelassenen Osteotomiespalts wirkt diese Durchbauungszeit zunächst sehr kurz. Der Osteotomiespalt wurde aber in der besagten Publikation bereits als durchbaut angesehen, sobald Kallus in Zone 3 sichtbar war. Dies entspricht einer Durchbauung von lediglich 40-60% des Osteotomiespalts. Eine ähnliche, zonenbasierte Auswertungsmethode wurde von Jung et al. angewendet, welche 48 Patienten ohne Auffüllung untersuchten. Die Durchbauung wurde als abgeschlossen betrachtet, sobald 50% des Osteotomiespalts durchbaut waren. Dies dauerte durchschnittlich 31.3 Wochen (96). Angaben zur Durchbauungszeit in der Literatur müssen jedoch stets kritisch hinterfragt werden. Neben dem bereits erwähnten Problem der inkonsistenten Definition der vollständigen

knöchernen Durchbauung des Osteotomiespalts hängt die Durchbauungszeit maßgeblich vom Zeitpunkt und der Art der postoperativen radiologischen Bildgebung ab. Die zeitlichen Abstände zwischen den Röntgenkontrollen, falls angegeben, reichen in der Literatur meist von 2 Wochen bis 6 Wochen (108,127). Kontrollintervalle von 6 Wochen und länger bergen die Gefahr, die Durchbauungszeit zu überschätzen. Werden Patienten mit unterschiedlichen Kontrollintervallen verglichen, kann dies das Ergebnis verzerren. Auch neigt der Untersucher dazu, die knöcherne Durchbauung auf herkömmlichen Röntgenbildern im Vergleich zu CT-Aufnahmen zu überschätzen (129). Um diese Ursachen für Bias zu vermeiden, wurden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich Röntgenbilder miteinander verglichen, welche zu einem vergleichbaren Zeitpunkt postoperativ aufgenommen wurden. Hierbei wurde, ergänzend zur Angabe der Durchbauungszeit, jeweils der Anteil an vollständig durchbauten Patienten in beiden Gruppen erfasst. Nach 6 Wochen war ein signifikant größerer Anteil der Patienten mit Auffüllung auf den a.-p.-Aufnahmen vollständig knöchern konsolidiert (30.7% vs. 6.1%). Auch nach 16 bzw. 28 Wochen zeigte sich diese Tendenz, erreichte allerdings keine statistische Signifikanz (60.9% vs. 36.8% bzw. 76% vs. 52.6%). Nach einem Jahr konnte eine vollständige Durchbauung bei nahezu allen Patienten in beiden Gruppen festgestellt werden. Santic et al. untersuchten in einer ähnlichen Herangehensweise retrospektiv 310 Fälle mit allogener Spongiosa als Auffüllungsmaterial. Nach 16 Wochen zeigten 95% der Patienten einen vollständig durchbauten Osteotomiespalt und nach 24 Wochen war die Knochenheilung bei allen Patienten abgeschlossen (130). Im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit fehlt neben einer Kontrollgruppe auch eine klare Definition, wann der Osteotomiespalt als durchbaut angesehen wurde. Eine weniger exakte radiologische Auswertungsmethodik ohne die Verwendung von Zonen nach Brosset et al. und dem vanHemert-Score ist eine mögliche Erklärung für die schnellere Durchbauung (79,118). Außerdem schlossen die Kollegen 6 Fälle aufgrund von Komplikationen, unter anderem laterale Hingefrakturen, welche zu einer langsameren Knochenheilung neigen, von der Auswertung aus. Am-Jung et al. analysierten die Knochenheilung von 104 Fällen nach Auffüllung mit allogenen Knochen aus gefriergetrockneten Femurköpfen unter Verwendung eines modifizierten vanHemert-Scores (118,131). Nach 12 Wochen waren 77.7% der Fälle knöchern durchbaut und nach 26 Wochen war die Knochenheilung bei allen Patienten abgeschlossen. Auch in dieser Studie wurden Platten mit medialem Block verwendet und Patienten mit lateraler Hingefraktur ausgeschlossen, was zu einer schnelleren Durchbauungszeit geführt haben könnte.

Im Vergleich dazu war der Osteotomiespalt in einer Studie von Goshima et al. zum Zeitpunkt der Plattenentfernung 16 Monate nach HTO ohne Auffüllung bei lediglich 28.2% der Patienten zu mehr als 50% durchbaut (132).

Insgesamt zeigen sich somit sowohl in unserer Studie, als auch in der bestehenden Literatur kürzere Durchbauungszeiten nach Auffüllung mit allogenen Knochen im Vergleich zum offenen Osteotomiespalt.

Bei sämtlichen gemessenen Winkeln (mLDFW, mMPTW, Tibia Slope) konnte eine signifikante Zunahme postoperativ verzeichnet werden. Eine Vergrößerung des Tibia Slope ist bei der medial öffnenden HTO aufgrund der besonderen anatomischen Verhältnisse des Tibiaplateaus und des Einflusses des Innenbands regelhaft zu beobachten (4,75). In der Literatur wird bei gleicher Messmethode eine Zunahme von 0.5° bis 4.5° angegeben (133–136). Einen Einfluss auf die Biomechanik des Kniegelenks konnten Giffin et al. allerdings erst ab einer Veränderung von mindestens 5° feststellen (38). In unserer Studie nahm der Tibia Slope um 0.8° in Gruppe 1 und 0.9° in Gruppe 2 zu. Hierbei wurden auch die 12 Patienten eingerechnet, welche eine flektierende biplanare Osteotomie mit dem Ziel der Slopeerhöhung bei Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes erhalten hatten. Dies lässt die durchschnittliche Veränderung des Tibia Slope größer erscheinen.

Der mMPTW stieg in unserer Studie in beiden Gruppen signifikant von 90.6° auf 91.5° bzw. von 89.8° auf 91.4° . Kanto et al. beschrieben in einer retrospektiven Fallserie mit 77 Patienten einen Anstieg von 83.9° auf 90.7° (137). Bockmann et al. konnten präoperativ bei 84 Patienten einen mMPTW von 85.8° im Stehen und 85.6° im Liegen messen (138). Lee et al. beschrieben in einer prospektiven randomisierten kontrollierten Studie eine Zunahme des mMPTW von 83.5° auf 92.9° (139). Auch der mLDFW stieg in unserer Studie signifikant in beiden Gruppen von 87.7° auf 89.7° bzw. von 87.2° auf 89.8° . Im Vergleich dazu gaben Bockmann et al. einen präoperativen Wert von 90.2° im Stehen und 89.8° im Liegen an (138). Ji et al. beschrieben einen etwa gleichbleibenden mLDFW von 87.3° präoperativ und 87.2° sechs Monate postoperativ (140).

Es fällt auf, dass der mMPTW in der Literatur deutlich unter dem Normwert von $87^\circ \pm 3^\circ$ angegeben wird. Dies deutet auf eine knöcherne, tibialseitige Ursache der Varusfehlstellung hin. Auch der mLDFW im Normbereich in den Vergleichsarbeiten unterstützt diese Annahme. Eine femorale Ursache für die Varusfehlstellung würde sich in einem verkleinerten mLDFW widerspiegeln (1). In der vorliegenden Arbeit liegt sowohl der mMPTW, als auch der mLDFW im Normbereich. Dies spricht für eine fehlende oder zumindest nicht dominierende knöcherne Komponente der Varus-Fehlstellung. Der weitgehende Verlust des Gelenkknorpels im

medialen Kompartiment, über ein Drittel der Patienten wies hier in der Arthroskopie einen viertgradigen Knorpelschaden nach ICRS auf, spielte in der vorliegenden Studie eine bedeutende Rolle in der Ätiologie des Genu varum. Ebenso war bei etwa einem Viertel der Patienten in der Vorgeschichte bereits eine (Teil-)Resektion des Innenmeniskus vorgenommen worden, was eine denkbare Ursache des Malalignements darstellt. Bei einer medial öffnenden HTO ist eine Zunahme des mMPTW zu erwarten, welche auch von uns bestätigt werden konnte, jedoch in deutlich geringerem Umfang als in den vergleichbaren Studien. Ein möglicher Grund könnten die relativ kleinen Korrekturwinkel im Vergleich zu anderen Arbeiten sein (137,139). Wie bei Ji et. al (140) beschrieben, sollte bei einer rein tibialen Umstellungsosteotomie der mLDFW relativ konstant bleiben, die bei uns beobachtete Zunahme kann damit nicht erklärt werden. Trotz gleicher Messmethode wie in den Vergleichsarbeiten könnte die Ursache dafür in der Messung selbst zu finden sein. Alle Messungen wurden, wie bei den anderen Autoren, von einem Untersucher zu einem Messzeitpunkt durchgeführt, somit kann keine Aussage zur Interrater- bzw. Intrarater-Reliabilität des Messverfahrens getroffen werden. Dies ist als Fehlerquelle auch eine mögliche Erklärung für die große Varianz der in der Literatur angegebenen Winkel. Ein weiterer möglicher Grund für die abweichenden Winkel könnte in der für die postoperative Winkelmessung verwendeten Ganzbeinstandaufnahme selbst liegen. Diese wurde mehrheitlich bereits 6 Wochen postoperativ angefertigt, wobei die volle Streckfähigkeit des Kniegelenks teilweise noch nicht gegeben war. Dies kann zu Ungenauigkeiten bei der Winkelbestimmung führen.

Klinische Ergebnisse

Insgesamt zeigte sich ohne signifikanten Unterschied in beiden Gruppen ein gutes bis sehr gutes klinisches Ergebnis. So waren nach etwa eineinhalb Jahren 73% der Patienten zufrieden oder sogar sehr zufrieden mit dem Operationsergebnis und 80% würden sich erneut für die Operation entscheiden. Patienten in beiden Gruppen schätzten die Funktionalität ihres Kniegelenks im Vergleich mit einem gesunden Kniegelenk mit 71.6% bzw. 71.5% ein. In einer vergleichbaren Arbeit von Han et al. waren 85.2% der Patienten 2 Jahre nach HTO ohne Auffüllung zufrieden bzw. sehr zufrieden mit dem Ergebnis (141). Mit einer Zufriedenheitsrate von 80% über 16 Jahre nach HTO mit Auffüllung mittels autologer Beckenkammspongiosa konnten Schallberger et al. ähnlich gute klinische Ergebnisse auch im Langzeitverlauf zeigen (142). 70% der von Kohn et al. untersuchten Patienten würden sich der Operation erneut unterziehen, es wurden

von den Kollegen jedoch auch Patienten mit lateral schließender Osteotomietechnik in die Studie inkludiert (143).

Am Ende des Nachuntersuchungszeitraums gaben Patienten unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts einen Ruheschmerz von 1.0 und einen Bewegungsschmerz von 3.0 auf einer numerischen Ratingskala von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkste vorstellbare Schmerzen) an. Slevin et al. beschrieben in ihrer Übersichtsarbeit eine Verbesserung der Schmerzen auf einer visuellen Analogskala (VAS) von 2.7 präoperativ auf 1.9 postoperativ. Der fehlende exakte Erhebungszeitpunkt, die fehlende Unterscheidung von Ruheschmerz und Bewegungsschmerz, sowie die Angabe von Mittelwerten im Vergleich zum Median erschweren die Vergleichbarkeit mit unseren Ergebnissen (101). Kim et al. und Gaasbeek et al. beschrieben eine noch deutlichere Schmerzreduktion zweieinhalb Jahre bzw. ein Jahr nach HTO ohne Auffüllung. Der VAS-Score sank von 7.5 auf 2.1 bzw. von 6.6 auf 2.5, jedoch wurde erneut nicht zwischen den Schmerzen in Ruhe und Bewegung unterschieden und die Angabe erfolgte als Mittelwert (144,145). Schmerzen sind ein maßgeblicher Faktor bei der Patientenzufriedenheit, deshalb kann aufgrund der hohen Zufriedenheit in unserer Studie von einer vergleichbaren Verbesserung des Schmerzniveaus wie bei den anderen Autoren ausgegangen werden, auch wenn die numerische Ratingskala präoperativ nicht erhoben wurde. Auch der Bewegungsumfang des operierten Kniegelenks zeigte eine signifikante Zunahme von 4° in Gruppe 1 und 7° in Gruppe 2. Die stärkere Zunahme in Gruppe 2 lässt sich durch einen niedrigeren Ausgangswert erklären, nach einem Jahr war dieser Unterschied nicht länger messbar. Im Vergleich dazu erscheint die Vergrößerung des Bewegungsumfangs bei Lee et al. von 1.2° 2 Jahre postoperativ nach HTO mit allogenen Knochen als Auffüllungsmaterial eher gering. Der Ausgangswert war bei den Kollegen mit 134.3° jedoch deutlich höher als in unserer Studie, mit entsprechend geringerem Raum für Verbesserung (134). In einer prospektiven randomisierten Studie von Nerhus et al., welche das Outcome der medial öffnenden mit der lateral schließenden Technik verglich, beschrieben die Autoren eine Zunahme des Bewegungsfangs von 3° ein Jahr nach medial öffnender HTO mit Auffüllung mittels autologer Beckenkammpongiosa (80).

In keinem der erhobenen standardisierten klinischen Scores zeigte sich postoperativ ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Aufgrund fehlender Daten war eine Auswertung des zeitlichen Verlaufs der 3 Scores über alle Zeitpunkte nur für einen Teil der Patienten möglich, was aufgrund der hohen Gesamtzahl der eingeschlossenen Patienten dennoch einer akzeptablen Stichprobe entspricht.

Der subjektive IKDC 2000 Score stieg in beiden Gruppen signifikant von 55.4 auf 72.2 bzw. von 50.2 auf 64.8 zum Zeitpunkt der abschließenden Nachuntersuchung. In einer randomisierten kontrollierten Studie mit insgesamt 55 Patienten in 2 Gruppen untersuchten Lansdaal et al. den Einfluss des Nachbehandlungsschemas auf das klinische Ergebnis ein Jahr nach HTO mit offenem Osteotomiespalt. Der IKDC Score stieg signifikant von 46 auf 68 ohne Einfluss des Nachbehandlungsschemas auf das Ergebnis (77). In einer retrospektiven Studie mit 69 Patienten berichten Niemeyer et al. nach 3 Jahren von einer Verbesserung des IKDC Scores von 47.3 auf 72.7 nach medial öffnender Tibiaosteotomie ohne Auffüllung (81). In einer prospektiven Kohortenstudie untersuchten Lee et al. das Outcome von 66 Patienten 2 Jahre nach Auffüllung mit allogenen Knochenchips oder mit einem synthetischen Füllungsmaterial (Hydroxylapatitchips). Der IKDC Score stieg von 33.6 auf 58.2 ohne signifikanten Unterschied zwischen den Auffüllungsmaterialien. Die insgesamt niedrigen IKDC Scores könnten durch das höhere Alter und dem vornehmlich weiblichen Geschlecht der eingeschlossenen Patienten im Vergleich zu unserer Studie zu erklären sein (134).

Auch der Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score verbesserte sich in beiden Gruppen von 56.2 auf 67.5 bzw. von 49.7 auf 69.4. Betrachtet man das Ergebnis von allen 183 Patienten, bei welchen der Score zum Abschluss des Nachuntersuchungszeitraums analysiert werden konnte, erreichten 51.9% ein „gutes“ und 30.1% sogar ein „hervorragendes“ Ergebnis (109). In einer prospektiven Kohortenstudie mit 47 Patienten von Laprade et al. verbesserte sich der Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score von 42.9 auf 65.1 nach einem durchschnittlichen Follow-up von 3.6 Jahren nach medial öffnender HTO mit allogenen Auffüllungsmaterial (146). Iorio et al. konnten in einer prospektiven Studie mit 24 Patienten eine Zunahme des Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Scores von 46.3 auf 76.2 in einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 3.3 Jahren verzeichnen. Die Forschungsgruppe der Kollegen ist nach unserer Kenntnis die einzige, welche einen aus Pferdeknöchel gewonnenen Knochenkeil als Auffüllungsmaterial verwendete (147).

Die Veränderungen des Tegner-Aktivitätsscores im zeitlichen Verlauf erreichten in keiner der beiden Gruppen statistische Signifikanz. Es fällt das präoperativ deutlich höhere Aktivitätsniveau in Gruppe 2 im Vergleich mit Gruppe 1 auf. Nach der Einteilung des Tegner-Scores waren Patienten der Gruppe 2 präoperativ fähig, mittelschwere bis schwere körperliche Arbeit zu verrichten, sowie schonende Sportarten wie Radfahren und Rudern, aber auch Joggen auf unebenem Boden mehrmals pro Woche durchzuführen. Patienten in Gruppe 1 konnten im Gegensatz dazu maximal leichte körperliche Arbeiten ausführen und waren neben Schwimmen nur zum Gehen auf unebenem Boden und zu Waldspaziergängen fähig. Aufgrund des hohen

Ausgangsniveaus in Gruppe 2 ist die leichte Abnahme des Tegner-Scores von 0.3 in Gruppe 2 zum Ende des Nachuntersuchungszeitraums nicht verwunderlich. In Gruppe 1 konnten wir jedoch eine nicht signifikante Zunahme von 0.6 verzeichnen. Patienten beider Gruppen waren demnach nach einem mittleren Follow-up von eineinhalb Jahren zu mittelschwerer körperlicher Arbeit, z.B. als LKW-Fahrer oder Reinigungskraft fähig und konnten mehrmals wöchentlich Radfahren, Langlaufen oder auf ebenem Boden Joggen. Kanto et al. schlossen in ihre Studie nur Patienten mit hohem sportlichen Anspruch und einem Tegner-Score von mindestens 5 ein. Auch hier konnte analog zur Entwicklung in Gruppe 2 eine Abnahme des Scores von 5.3 auf 4.8 nach HTO mit Auffüllung mit einer nur selten verwendeten Mischung aus synthetischem Beta-Tricalciumphosphat und autologen Osteophyten festgestellt werden (137). Nerhus et al. berichteten über eine Zunahme des Tegner-Scores von 2.2 auf 3.0 ein Jahr nach HTO mit autologem Beckenkamm als Auffüllungsmaterial. Das Studienkollektiv der Autoren war im Schnitt etwa 5 Jahre älter und hatte einen deutlich größeren Frauenanteil als in unserer Studie, was eine Erklärung für den vergleichsweise niedrigen Ausgangswert sein könnte (80).

Rückkehr zur Vollbelastung

Patienten, bei denen eine Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen Corticospongiosachips vorgenommen wurde, kehrten nach durchschnittlich 8.2 Wochen und damit um 2.5 Wochen schneller zur Vollbelastung zurück als Patienten ohne Auffüllung. Es ist zu beachten, dass das Nachbehandlungsschema bei Patienten mit kominierter MACT deutlich restriktiver war. Diese Patienten durften erst nach 6 Wochen mit Teilbelastung von 15kg stufenweise mit der Aufbelastung beginnen. Der Anteil der Patienten mit MACT war jedoch in beiden Gruppen etwa gleich groß, was eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Trotz des vergleichsweise frühen Übergangs zur Vollbelastung in der vorliegenden Studie, traten keine Komplikationen wie beispielsweise Materiallockerung, Plattenbruch, Korrekturverlust oder Kollaps der Osteotomie auf. Insgesamt lässt sich die stufenweise Rückkehr zur Vollbelastung 2 Wochen nach medial öffnender HTO mit winkelstabilen Plattenfixateur somit als sicher bezeichnen.

Brinkman et al. verglichen in ihrer Studie Patienten, welche bereits in den ersten 2 Wochen postoperativ zur Vollbelastung übergehen durften mit Patienten, welchen ein traditionelleres Nachbehandlungsschema mit 6 Wochen Teilbelastung vorgegeben wurde. In beiden Gruppen wurde der Osteotomiespalt mit synthetischen Beta-Tricalciumphosphat-Keilen aufgefüllt und mit einer winkelstabilen Platte (*TomoFix*, DePuy Synthes, Schweiz) stabilisiert. Patienten in

der Gruppe mit früherer Belastung konnten nach 3.7 Wochen zur Vollbelastung übergehen, allerdings konnten erst nach 12 Wochen alle Patienten auf Gehstützen verzichten. Im Vergleich dazu waren in der Kontrollgruppe nach 12 Wochen noch etwa 50% der Patienten auf Gehhilfen angewiesen. Die mittels Radiostereometrie gemessenen Mikrobewegungen im Bereich der Osteotomie unterschieden sich nicht zwischen den beiden Gruppen (89). In einer biomechanischen Studie untersuchten Na et al. die Stabilität von insgesamt 40 Leichen-Tibiae nach medial öffnender HTO unter Verwendung der *TomoFix*- Platte (DePuy Synthes, Schweiz). Die höchste Stabilität für axiale Belastungen wiesen die Tibiae auf, bei welchen der Osteotomiespalt mit injizierbarem synthetischen Beta-Tricalciumphosphat aufgefüllt wurde (148). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Takeuchi et al., die den Osteotomiespalt in 10 Tibiamodellen wie Brinkman et al. mit synthetischen Beta-Tricalciumphosphat-Keilen auffüllten und für diese Modelle eine höhere Maximalbelastung mit gleichmäßigerer Lastenverteilung zeigen konnten (149). Auch wenn biomechanische Studien zum Thema noch fehlen, ist davon auszugehen, dass auch die von uns verwendeten allogenen Corticospongiosachips trotz geringerer Rigidität im Vergleich mit den synthetischen Knochenkeilen einen stabilisierenden Effekt auf die Osteotomie haben. Entgegen diesen biomechanischen Überlegungen konnten Autoren zeigen, dass bei Verwendung von winkelstabilen Implantaten eine frühe Vollbelastung auch ohne Auffüllung des Osteotomiespalts sicher möglich ist (79,150). So beschrieben etwa Schröter et al. in einer randomisierten kontrollierten Studie mit 120 Patienten ohne Auffüllung des Osteotomiespalts mit winkelstabiler Fixierung (*TomoFix*, DePuy Synthes, Schweiz) gleiche Komplikationsraten und sogar bessere frühe klinische Ergebnisse bei Patienten, welche bereits nach elf Tagen zur Vollbelastung übergehen durften im Vergleich zu Patienten, denen dies erst nach sechs Wochen erlaubt war (150).

Rückkehr zur Arbeit

Unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts konnten knapp 93% der Patienten postoperativ in ihren präoperativ ausgeübten Beruf zurückkehren. Für Patienten der Gruppe 2 war dies schneller möglich. Sie kehrten nach durchschnittlich 13.1 Wochen zur Arbeit zurück, wobei dies für Patienten der Gruppe 1 erst nach 15.1 Wochen möglich war. Dieser Unterschied erreichte zwar keine statistische Signifikanz, ist aber klinisch und sozialmedizinisch dennoch relevant.

Obwohl die Mehrheit der Patienten an den bisherigen Arbeitsplatz zurückkehren konnten, klagten zum Ende des Nachuntersuchungszeitraums etwa 45% der Patienten in beiden Gruppen über andauernde Einschränkungen bei der Berufsausübung. Die schnellere Rückkehr in den Beruf um etwa 2 Wochen in Gruppe 2 stimmt in etwa mit der Zeit überein, die diese Patienten schneller zur Vollbelastung zurückgekehrt sind. Dies scheint wenig verwunderlich, so ist die Mobilität doch eine wichtige Voraussetzung für die Ausübung von vielen Berufen und die Bewältigung des Arbeitsweges, vor allem in ländlichen Gebieten. Durch die Einteilung der Berufe in drei Kategorien war es uns möglich einen Zusammenhang zwischen körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten und einer längeren Zeit der Arbeitsunfähigkeit festzustellen.

Ekhtiari et al. beschrieben in einer Übersichtsarbeit mit insgesamt 19 inkludierten Studien eine Rückkehr zur Arbeit von 82%, wobei 63% der Patienten ihre Tätigkeit auf dem präoperativen Leistungsniveau ausüben konnten. Diesen vergleichsweise niedrigen Wert erklären sich die Autoren durch die Inklusion einer Studie, deren Patientenkollektiv ausschließlich aus Soldaten der US-amerikanischen Armee bestand, welche durch die strengen institutionellen Anforderungen häufig postoperativ in weniger anspruchsvolle Tätigkeitsgebiete versetzt wurden. Die Zeit bis zur Rückkehr in den Beruf wird in der Publikation zwischen 12.6 Wochen und 15.2 Wochen angegeben. Wie in unserer Studie konnten die Autoren zeigen, dass physisch fordernde Berufe eine längere Zeit bis zur Wiederaufnahme der Tätigkeit benötigten (151). Zu einem ähnlichen Schluss kamen auch Faschingsbauer et al. in einer retrospektiven Studie mit 51 Patienten ohne Auffüllung nach medialer Tibiaosteotomie. Ein Anteil von 93.8% der Patienten konnten zu ihrem vorherigen Beruf nach durchschnittlich 16.7 Wochen zurückkehren. Bei körperlich anspruchsvollen Berufen war jedoch eine längere Zeit nötig (152). Schröter et al. teilten die körperliche Belastung bei der Berufsausübung in 5 Kategorien nach der REFA-Association ein und kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass eine höhere Belastung eine längere Zeit der Arbeitsunfähigkeit bedingt. Ein Anteil von 90.6% der 32 Patienten, die von den Autoren prospektiv nach einer medialen Tibiaosteotomie mit Auffüllung mittels autologem Beckenkammspann nachuntersucht wurden, kehrten nach 12.4 Wochen zur Arbeit zurück (153). Neben der körperlichen Belastung im Beruf sind nach Saier et al. auch psychische Komorbiditäten wie Depressionen oder somatoforme Störungen negative Einflussfaktoren auf die Zeit der Arbeitsunfähigkeit. In ihrer prospektiven Studie mit 66 Patienten nach medialer Tibiaosteotomie, kehrten 90% ohne Einschränkungen in ihren bisherigen Beruf zurück. Ein Anteil von 3% der Patienten konnte zwar in den bisherigen Beruf zurückkehren, berichtete allerdings über Einschränkungen bei der Arbeit (154). In dieser Publikation wird jedoch nicht die Art und der Zeitpunkt der Datenerhebung bezogen auf die

Einschränkungen nach der Arbeitsrückkehr beschrieben und bei den Berufen wird nicht nach körperlicher Belastung unterschieden. Der hohe Anteil an körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten mit einhergehenden hohen Belastungen auf das Kniegelenk in unserer Studie ist als Grund für die häufiger angegebenen postoperativen Einschränkungen im Beruf denkbar.

Rückkehr zum Sport

Insgesamt konnten mit 92.1% bzw. 87.5% der Großteil der Patienten unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts zum Sport zurückkehren. Für Patienten mit allogenen Knochen als Auffüllungsmaterial war dies nach 19.5 Wochen und damit um 7.6 Wochen früher möglich als für Patienten ohne Auffüllung. Dieser Unterschied erreichte zwar keine statistische Signifikanz, erscheint aber klinisch dennoch relevant. Analog zur Rückkehr zum Beruf ist ein Zusammenhang mit der früheren Rückkehr zur Vollbelastung in dieser Gruppe wahrscheinlich. In beiden Gruppen fällt postoperativ eine signifikant niedrigere Anzahl an ausgeübten Sportarten auf. Die klinische Relevanz dieser Abnahme um durchschnittlich 0.3 in beiden Gruppen ist fraglich, so übten die Patienten sowohl prä- als auch postoperativ rund zwei Sportarten aus. Die Abnahme der Anzahl an Sporteinheiten pro Woche fiel in beiden Gruppen gering aus und zeigte sich nicht signifikant. Sowohl präoperativ, als auch postoperativ trainierten beide Gruppen rund zweimal pro Woche. Anhand der von uns erweiterten Einteilung der Sportarten von Bonnin et al. und Kim et al., konnten wir die prä- und postoperative Sportintensität vergleichen (124,125). 60.5% der Patienten ohne Auffüllung und 62.5% der Patienten mit Auffüllung konnten innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums zu sportlicher Aktivität gleicher oder höherer Intensität wie vor der Operation zurückkehren. In beiden Gruppen konnten zudem rund 71% der Patienten auf das gleiche oder ein höheres Wettkampfniveau zurückkehren.

In der Literatur wird der Anteil der Patienten, welche zu sportlicher Aktivität zurückkehren zwischen 85% und 94% angegeben (58,137,151,152). Es zeigten sich in unserer Studie somit vergleichbare Rückkehraten. Nur wenige Studien treffen Aussagen zur Dauer bis zur Sportrückkehr. Kanto et al. berichteten in einer bereits zuvor beschriebenen Publikation von einer Dauer bis zur Sportrückkehr von 38 Wochen. Die Kollegen schlossen nur Patienten mit einem präoperativen Tegner-Score von mindestens 5 und damit einem sehr hohen Aktivitätsniveau in ihre Studie ein (137). Dies ist die wahrscheinlichste Erklärung für die deutlich längere Dauer bis zur Sportrückkehr im Vergleich mit unseren Ergebnissen.

Eine Abnahme der ausgeübten Sportarten und Sporteinheiten konnte auch von Faschingsbauer et al. beobachtet werden. Die Kollegen untersuchten in ihrer Studie 51 Patienten nach medialer Tibiaosteotomie ohne Auffüllung des Osteotomiespalts und verzeichneten einen Rückgang an ausgeübten Sportarten von 4.0 auf 2.8. Die Anzahl der Sporteinheiten pro Woche verringerte sich wie in unsere Studie nur gering von 2.1 auf 1.8. Außerdem fiel den Kollegen auf, dass Patienten dazu neigten von Sportarten hoher Intensität wie Joggen oder Tennis zu weniger anspruchsvollen Disziplinen wie Schwimmen oder Fahrradfahren überzugehen (152). Auch Hoorntje et al. konnten in ihrer Metaanalyse mit über 499 Patienten aus 16 Studien diesen Trend, weg von sogenannten „high-impact“ Sportarten und hin zu „low-impact“ Aktivitäten, bestätigen. Die präoperative sportliche Aktivität kann auf 2 verschiedene Arten definiert werden. Einerseits als Aktivität unmittelbar vor der Operation, wie auch in unserer Studie, oder andererseits als Aktivität vor Beginn der Kniebeschwerden. Diese Unterscheidung ist sehr wichtig, da die Rückkehr zum Sport auf das präoperative Niveau im Allgemeinen häufiger möglich ist, als die Rückkehr auf das Niveau vor Symptombeginn (58). Auch in der vorliegenden Arbeit verringerten etwa ein Drittel aller Patienten ihr Sport- und Wettkampfniveau. Dieser Anteil erscheint bei verringerten Schmerzen, verbesserter Beweglichkeit und höheren funktionellen Scores nach der HTO recht hoch. Ein neu geschaffenes Bewusstsein für gelenkschonende Sportarten auf Anraten der behandelnden Ärzte und Physiotherapeuten oder eine gewisse Angst vor einer Konversion zur Knie-TEP im Verlauf erscheinen als Erklärung möglich. Ekhtiari et al. beschrieben in einer Übersichtsarbeit mit etwa 1200 Patienten aus 19 Studien eine Sportrückkehr auf das präoperative Niveau bei 78.6% der untersuchten Patienten. Dieser Anteil war unter den untersuchten Leistungssportlern mit 54% deutlich geringer (151). Von den 3 Hochleistungssportlern in unserer Studie konnte keiner auf das präoperative Wettkampfniveau zurückkehren. Es gibt nur wenig Evidenz bezüglich der Sportrückkehr nach Umstellungsosteotomien bei Profi- und Leistungssportlern. In der bereits erwähnten Studie von Faschingsbauer et al. konnte lediglich einer von 4 eingeschlossenen Profisportlern (Rugbyprofi) zu seinem Sport zurückkehren (152). Es existiert jedoch auch ein Fallbericht von 2 professionellen American Football Spielern, welche nach einer valgusierenden Umstellungsosteotomie wieder auf höchstem Niveau spielen konnten (155). Insgesamt sollte jedoch die Rückkehr zu Alltagsaktivitäten und zum Freizeitsport weiterhin als Hauptziel der HTO gelten (58).

Komplikationen

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich eine Komplikationsrate von rund 24%, ohne einen signifikanten Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Auffüllung des Osteotomiespalts. Im Vergleich mit den angegebenen Komplikationsraten in der Literatur, welche von 8% bis 31.4% reichen, liegt die von uns erhobene Rate am oberen Ende des Spektrums (77–83). Die häufigste Komplikation, mit einem Anteil von etwa 13% in beiden Gruppen, stellte die unvollständige Durchbauung des Osteotomiespalts dar. Unter die, vergleichsweise strenge, Definition dieser Komplikation fielen alle Patienten, welche nach 6 Monaten keine vollständige Knochenheilung aufzuweisen hatten. Dies betraf Patienten, welche lediglich einen Restdefekt am medialen Osteotomiespalt, also in den Zonen 4 bzw. 5 aufzuweisen hatten. Die Stabilität der Osteotomie war bei all diesen Patienten trotz des Restdefektes gegeben und sie benötigten keine Revisionsoperation. Es wurde lediglich im Rahmen der planmäßigen Plattenentfernung der Restdefekt mit allogenen Knochen aufgefüllt. Nach Abzug dieser Fälle, welche auch in den Vergleichsarbeiten nicht berücksichtigt werden, bleibt eine akzeptable Komplikationsrate von 11.4% in Gruppe 1 und 10.3% in Gruppe 2. Die beiden Gruppen unterschieden sich außerdem nicht signifikant bezüglich revisionsbedürftiger Komplikationen. Bei den durchgeführten Revisionen in Gruppe 2 handelte es sich um Debridements bei 2 Fällen von tiefer Wundinfektion. Auch in Gruppe 1 mussten 2 Patienten aus diesem Grund revidiert werden. Zusätzlich wurde bei jeweils einem Patienten dieser Gruppe ein Hämatom ausgeräumt und eine postoperative traumatische Tibiaplateaufraktur plattenosteosynthetisch versorgt. Eine Revision mit nachträglicher Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen Knochen oder autologer Spongiosa aus dem Beckenkamm aufgrund von ausbleibender Knochenheilung wurde bei 3 Patienten in Gruppe 1 durchgeführt. In der Gruppe mit initialer Auffüllung des Osteotomiespalts kam es nicht zu dieser Komplikation. Die Fallzahl reichte allerdings für das Erreichen statistischer Signifikanz nicht aus. In der Fachliteratur existieren unzählige verschiedene Definitionen von unvollständiger bzw. verzögerter knöcherner Durchbauung (=delayed union). Dies erschwert den Vergleich verschiedener Arbeiten zu diesem Thema enorm (109). Klinisch relevant ist unserer Meinung nach die ausbleibende Knochenheilung (=non-union), da es sich um eine potentiell instabile Pseudarthrose handelt, welche einer operativen Revision bedarf. Diese Komplikation ist in vergleichbaren Arbeiten ähnlich definiert und macht eine sinnvolle Diskussion möglich (77–79,82,83,97,101,127).

Die von uns beobachtete non-union Rate bei Patienten ohne Auffüllung betrug 2.6%. Brosset et al. berichteten in einer bereits beschriebenen Studie über eine höhere Rate von 3.9% (79).

Darées et al. mussten ebenfalls bei 3.9% der 51 prospektiv untersuchten Patienten ohne Auffüllung eine Revision aus diesem Grund durchführen (83). In einer schon erwähnten randomisierten kontrollierten Prospektivstudie von Lansdaal et al. betrug die non-union Rate 4% (77). Goshima et al. beschrieben eine ausbleibende Knochenheilung bei lediglich 2% der retrospektiv untersuchten 93 Patienten mit offenem Osteotomiespalt und kamen somit unserem Ergebnis am nächsten (97). Ein Grund für die niedrige non-union Rate in unserer Studie könnte der vergleichbar geringe Korrekturwinkel in beiden Gruppen sein. In der Gruppe mit allogener Corticospongiosa als Auffüllungsmaterial kam es zu keiner non-union. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von Kuremsky et al., welche in einer retrospektiven Studie insgesamt 70 Fälle mit Auffüllung mittels allogener Spongiosa einerseits und autologem Knochen aus dem Beckenkamm andererseits verglichen. Die Autoren beschrieben ein sechsfach höheres Risiko für das Versagen des Osteotomiekonstrukts in der Allograft-Gruppe. In dieser Gruppe war eine Revisionsoperation bei 15.7% der Patienten und damit signifikant häufiger nötig als in der Autograft-Gruppe (82). Die Definition des Konstruktversagens beinhaltete in dieser Publikation neben der non-union auch das Materialversagen und einen signifikanten Korrekturverlust über vier Grad, was die Zahlen insgesamt höher erscheinen lässt. Auch der von den Autoren verwendete, nicht etablierte Prototyp einer Osteotomieplatte mit medialem Block (Arthrex, USA), erschwert die Vergleichbarkeit mit anderen Arbeiten. Zudem könnte die relativ geringe Fallzahl und der retrospektive Charakter dieser Arbeit ein Grund für die deutlich höhere Rate an signifikanten Komplikationen im Vergleich mit anderen Publikationen zu diesem Thema sein. Yacobucci et al. berichteten in einer Fallserie mit 50 Patienten über eine deutlich niedrigere non-union Rate von 4% (127). Die Kollegen verwendeten zur Fixierung der Osteotomie die *Puddu*-Platte (Arthrex, USA) mit medialem Block und als Auffüllungsmaterial allogene Knochenspähne, welche im Vergleich zu den von uns eingebrachten Corticopongiosa-Chips eine geringere Formbarkeit und Anpassungsfähigkeit aufweisen. Dies könnte neben den großen Korrekturwinkeln eine mögliche Erklärung für das häufigere Auftreten einer non-union im Vergleich mit unserer Arbeit sein. Der von uns beobachtete Trend zum selteneren Auftreten einer non-union nach Auffüllung mit allogenen Knochen konnte in der bereits näher beschriebenen Übersichtsarbeit von Lash et al. nicht bestätigt werden. Die Autoren berichteten über eine non-union Rate von 1.7% nach Auffüllung mit allogenen Knochenmaterial im Vergleich zu 0.6% in Fällen ohne Auffüllung (78). Es ist jedoch zu beachten, dass der Korrekturwinkel in der Allograft-Gruppe signifikant größer war als in der Gruppe ohne Auffüllung. Außerdem verwendete die Mehrheit der untersuchten Studien nicht-winkelstabile Implantate zur Fixation und die Art bzw. Form des genutzten Allografts wurde nicht näher

beschrieben. Slevin et al. beschrieben schließlich in einer noch aktuelleren Übersichtsarbeit aus 22 Studien mit verschiedenen Auffüllungsmaterialien ähnlich niedrige non-union Raten von 0.4% bei Osteotomien ohne Auffüllung und 0.5% nach Auffüllung mit allogenen Knochenmaterial (101).

Die angegebene Inzidenz der lateralen Hingefraktur in der Literatur reicht von 1.5% bis 25% (86). In unserer Arbeit trat diese Komplikation lediglich in 2 Fällen in Gruppe 1 auf (1.8%), wobei eine Fraktur postoperativ im Rahmen eines Fahrradsturzes entstand. In einem Fall kam es im Verlauf zu einer unvollständigen Durchbauung des Osteotomiespalts mit einem Restdefekt in Zone 5. Der Zusammenhang zwischen lateralen Hingefrakturen und Komplikationen bezüglich der Knochenheilung aufgrund der entstehenden Instabilität im Bereich der Osteotomie wurde bereits von einigen Autoren beschrieben (92,93,97,102).

Ein bekannter Nachteil der von uns verwendeten winkelstabilen Platten sind lokale Beschwerden über dem Plattenlager aufgrund ihrer Größe (91). Aus diesem Grund und wegen einer möglicherweise im Verlauf notwendig werdenden Konversion zu einer Endoprothese wurde die Platte bei etwa 90% der Patienten während des Nachuntersuchungszeitraums entfernt. Dies geschah bei Patienten der Gruppe 2 nach 11.3 Monaten und damit 2.5 Monate früher als bei Patienten der Gruppe 1. Eine frühere Indikationsstellung bei schnellerer knöcherner Durchbauung scheint als Erklärung für diesen signifikanten Unterschied am wahrscheinlichsten. Betrachtet man die exzellenten Überlebensraten der Tibiaosteotomie von 73% bis 88% nach 10 Jahren ist es wenig verwunderlich, dass in keinem Fall innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums eine Konversion zur Totalendoprothese erfolgte (35,46,83).

Korrelationen

Bezüglich der durchgeführten Korrelationen fällt ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe des Korrekturwinkels und dem Auftreten einer unvollständigen oder ausbleibenden Knochenheilung auf. Diesen Zusammenhang konnten zuvor bereits einige Autoren zeigen (97,102,127,130). In den Fällen, in welchen es zu einer non-union kam, betrug der intraoperativ gemessene Korrekturwinkel zwischen 5° und 9°. Bei Yacobucci et al. maß der Korrekturwinkel in allen Fällen einer non-union 15°, wobei die Autoren aber weder die Messmethode, noch den Messzeitpunkt angaben (127). Goshima et al. bestimmten in ihren Arbeiten nicht den Korrekturwinkel, sondern als Äquivalent die intraoperativ gemessene Öffnungshöhe der Osteotomie in Millimetern. Je höher die Öffnungshöhe, desto höher war das Risiko für eine non-union (97). Ähnlich gingen auch Santic et al. vor. Sie gaben die Größe des

in den Osteotomiespalt eingebrachten Allograftes in Millimetern an und zeigten vergleichbare Ergebnisse (130). Für keinen anderen Faktor konnte ein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten von unvollständiger oder ausbleibender Knochenheilung hergestellt werden. Es fällt jedoch auf, dass alle 3 von einer non-union betroffenen Patienten eine Adipositas Grad I oder II mit BMI-Werten von 33 bis 36 kg/m² aufwiesen. Zwei Drittel der Patienten waren weiblich und gaben außerdem einen Nikotinabusus an. Die Rolle des BMI als Einflussfaktor auf das Behandlungsergebnis bzw. für das Auftreten einer non-union bleibt umstritten (33). Meidinger et al. konnten in einer retrospektiven Studie mit 186 Patienten einen signifikanten Zusammenhang zwischen Übergewicht und Komplikationen bei der Knochenheilung zeigen (99). Konträr dazu zeigte der BMI in den Studien von Fucetese et al. und van Houten et al. keinen Einfluss auf die knöcherne Durchbauung des Osteotomiespalts (100,109). Van Houten et al. beschrieben außerdem in ihrer retrospektiven Analyse von 185 Fällen ein vierfach erhöhtes Risiko zur Entwicklung einer verzögerten Knochenheilung oder non-union für Raucher im Vergleich mit Nichtrauchern (100). Auch Meidinger et al. und Giuseffi et al. konnten bereits den negativen Einfluss eines Nikotinabusus auf die Knochenheilung im Bereich des Osteotomiespalts feststellen (99,156). Giuseffi et al. berichteten ebenfalls in dieser Publikation, ähnlich wie auch in unserer Arbeit, über einen nicht signifikanten Zusammenhang zwischen dem weiblichen Geschlecht und dem Auftreten einer non-union (156).

Betrachtet man die klinischen Ergebnisse, fällt vor allem der negative Einfluss eines höheren Körpergewichts ins Auge. Neben schlechteren Ergebnissen in allen erhobenen klinischen Scores, wiesen Patienten mit höherem BMI nach der Operation auch einen geringeren Bewegungsumfang auf, hatten mehr Schmerzen und waren länger arbeitsunfähig. Übereinstimmend mit unseren Erkenntnissen war ein höherer BMI in einer retrospektiven Studie von Han et al. mit einer geringeren Patientenzufriedenheit und schlechteren Ergebnissen in klinischen Scores assoziiert (141). Howells et al. und Akizuki et al. konnten retrospektiven Studien mit relativ hohen Fallzahlen und Nachuntersuchungszeiträumen von über zehn Jahren einen Zusammenhang zwischen hohem BMI und einem höheren Risiko für Revisionsoperationen zeigen. Patienten mit hohem BMI zeigten außerdem eine höhere Konversionsrate zur Endoprothese. Die Kollegen verwendeten in ihren Arbeiten allerdings ausschließlich die lateral schließende Operationstechnik (50,52).

Interessanterweise hatten auch hochgradige präoperative Knorpelschäden im medialen Kompartiment keinen negativen Einfluss auf das klinische Ergebnis. Hierbei muss natürlich der kurze Nachuntersuchungszeitraum beachtet werden. Niemeyer et al. kamen zu gleichen Ergebnis und zogen daraus den Schluss, dass die medial öffnende HTO auch für Patienten mit

fortgeschrittener medialer Gonarthrose bzw. mit hochgradigen fokalen Knorpelschäden sinnvoll ist (81).

Der von uns gefundene Zusammenhang zwischen höherem Alter und einer längeren Zeit der Arbeitsunfähigkeit, kann mit einer generell längeren Rekonvaleszenz bei älteren Patienten erklärt werden. Ein vergleichbarer Einfluss auf die Zeit der Arbeitsunfähigkeit konnte auch für das weibliche Geschlecht gezeigt werden. Die zwei Faktoren wiesen allerdings nur eine geringe Effektstärke auf und hatten keinen Einfluss auf die restlichen klinischen Parameter. Das Alter als negativer prognostischer Faktor wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Ältere Arbeiten, beispielsweise von Trieb et al. und Niinimäki et al., fanden schlechtere klinische Ergebnisse bei älteren Patienten (46,47). Eine aktuellere Studie von Goshima et al. konnte, wie in unserer Arbeit, keinen Einfluss von Alter auf das klinische Ergebnis feststellen (48). Saito et al. konnten sogar bei Patienten über 70 Jahre gute bis sehr gute klinische Ergebnisse erzielen (49).

Die von uns gefundene Korrelation zwischen Nikotinabusus und einer längeren Benutzung von Gehstützen kann sowohl durch eine Neigung von Rauchern zu geringerer körperlicher Aktivität bedingt sein, als auch mit einer möglicherweise länger dauernden Knochenheilung zu tun haben, auch wenn dieser Zusammenhang in unserer Arbeit nicht statistisch signifikant gezeigt werden konnte.

Subgruppenanalyse

Neben der Behandlung von medialer Gonarthrose spielt die HTO eine immer größere Rolle in der Therapie von fokalen Knorpelläsionen in Kombination mit knorpelregenerativen Maßnahmen. Hierfür wurden exzellente klinische Ergebnisse und Überlebensraten mit guter Knorpelregeneration beschrieben (35,157). Aus diesem Grund sollte mittels Subgruppenanalyse untersucht werden, ob mögliche Vorteile der Auffüllung des Osteotomiespalts von der Indikation zur HTO abhängen. Bei HTO mit kombinierter Knorpeltherapie und auch bei isolierter HTO verkürzte die Auffüllung mit allogener Corticospongiosa die Zeit bis zur vollständigen Durchbauung im a.p. Röntgen um 15.1 bzw. 10.8 Wochen. In beiden Subgruppen waren nach 6 Wochen bei mehr Patienten nach Auffüllung alle 5 Zonen konsolidiert. In der Subgruppe mit kombinierter Knorpeltherapie waren zusätzlich nach 28 Wochen signifikant mehr Patienten mit Allograft als Patienten ohne Auffüllung vollständig durchbaut. In der Subgruppe mit isolierter HTO zeigten Patienten mit Auffüllung einen höheren präoperativen Tegner-Score. Dieser sank im Verlauf und war nach 6 Monaten signifikant niedriger als in der Gruppe ohne Auffüllung. Zum Abschluss des

Nachuntersuchungszeitraumes zeigte sich jedoch nicht länger ein signifikanter Unterschied im Tegner Score, beide Gruppen waren demnach fähig mittelschwere körperliche Arbeit auszuführen und bis zu zweimal pro Woche Joggen bzw. Radfahren oder Langlaufen zu gehen. Dazu waren auch alle Patienten unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts in der Subgruppe mit kombinierter Knorpeltherapie fähig. Nur in der Subgruppe ohne Kombinationseingriff konnte eine signifikant schnellere Rückkehr zur Vollbelastung um etwa 3 Wochen bei Patienten mit Auffüllung beobachtet werden. Obwohl der Unterschied knapp keine Signifikanz erreichte, zeigte sich dieser Trend auch in der Subgruppe mit Knorpeltherapie. In dieser Subgruppe konnten mehr Patienten nach Auffüllung des Osteotomiespalts in ihren bisherigen Beruf zurückkehren. In der Subgruppe ohne Knorpeltherapie wurde jedoch ein konträrer Zusammenhang beobachtet, Patienten ohne Auffüllung konnten häufiger ihre präoperative berufliche Tätigkeit zurückkehren. Dies macht einen maßgeblichen Einfluss der Auffüllung unwahrscheinlich.

Wie bereits beschrieben unterschieden sich die beiden in der Studie untersuchten Gruppen signifikant bezüglich der verwendeten winkelstabilen Platte. Die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) wurde aus diesem Grund in einer Subgruppenanalyse, jeweils in der Gruppe mit und ohne Auffüllung des Osteotomiespalts, mit der *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) verglichen. Es zeigte sich hierbei kein Einfluss des Plattenfixateurs auf die Knochenheilung. Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte und Allograft wiesen zum Abschluss des Nachuntersuchungszeitraums einen signifikant höheren Tegner-Aktivitätsscore auf als Patienten mit *TomoFix*-Platte und Allograft. Die Ursache hierfür könnte der höhere Ausgangswert und die höhere präoperative Sportintensität mit mehr Sporteinheiten pro Woche in dieser Patientengruppe sein. Außerdem waren unter den Patienten mit Allograft-Füllung diejenigen mit *PEEKPower-HTO*-Platte etwa 3 Jahre jünger und wiesen einen um 3 kg/m² niedrigeren BMI auf, was eine höhere sportliche Aktivität erklären könnte. Abgesehen davon unterschieden sich die beiden Plattenfixateure nicht im klinischen Ergebnis und zeigten vergleichbare Komplikationsraten. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Hevesi et al. in einer Multicenter-Studie, welche gute Ergebnisse bezüglich Komplikationsrate, Korrekturerhaltung und Knochenheilung für beide Plattentypen zeigen konnte (158). Vor allem der *TomoFix*-Platte werden aufgrund des vergleichsweise klobigen Plattendesigns häufig auftretende Beschwerden über dem Plattenlager mit notwendiger Plattenentfernung nachgesagt (91). Niemeyer et al. beschrieben diese Art von Beschwerden bei 41% der Patienten, welche mit der *TomoFix*-Platte versorgt wurden (81). In der vorliegenden Studie gaben Patienten mit *TomoFix*-Platte minimal höhere Schmerzen in Ruhe und bei Bewegung an, als Patienten mit

PEEKPower-HTO-Platte. Es wurde jedoch nicht gezielt nach Irritationen durch den einliegenden Plattenfixateur gefragt. Unabhängig von möglichen Implantat-assoziierten Beschwerden erfolgte die Plattenentfernung bei 90% der Patienten mit *TomoFix*-Platte nach 12.5 Monaten und bei 87% der Patienten mit *PEEKPower-HTO*-Platte nach 13.2 Monaten.

Stärken und Limitationen der Arbeit

Das Studiendesign der vorliegenden Studie weist einige Limitationen auf. Es wurde keine Randomisierung bezüglich der Auffüllung des Osteotomiespalts vorgenommen und weder Patienten noch Untersucher waren verblindet, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben könnte. Außerdem wurden alle radiologischen Messungen von einem Untersucher zu einem Zeitpunkt durchgeführt. Somit konnte keine Aussage zur Interrater- bzw. Intrarater-Reliabilität getroffen und Messfehler nicht ausgeschlossen werden. Der Nachuntersuchungszeitraum war mit unter 2 Jahren relativ kurz und damit nicht geeignet, um klinische Langzeitergebnisse und Überlebensraten adäquat zu erfassen. Die präoperative sportliche Aktivität wurde bei der abschließenden Nachuntersuchung erhoben, was die Gefahr eines Recall Bias beinhaltete. Desweiteren standen nicht alle Patienten zu allen Nachuntersuchungszeitpunkten zur Verfügung, sodass die Gefahr eines Selektionsbias bestand. Als Stärken der Studie ist vor allem die Größe der untersuchten Stichprobe zu nennen. Es ist außerdem nach unserem Kenntnisstand die erste Studie, welche die Auffüllung des Osteotomiespalts mit einem Allograft mit einer Kontrollgruppe ohne Auffüllung vergleicht. Neben den standardmäßig erhobenen klinischen Scores fand zudem eine detaillierte Datenerhebung und Auswertung zum Thema Sport- und Arbeitsrückkehr statt. Alle Patienten wurden durch einen erfahrenen Operateur in standardisierter Operationstechnik versorgt, was eine gute Vergleichbarkeit der Patienten gewährleistete.

5. FAZIT

Die wichtigste Erkenntnis der vorliegenden Studie ist die schnellere knöcherne Durchbauung im Rahmen einer medial öffnenden HTO nach Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen Knochen im Vergleich zum offen gelassenen Osteotomiespalt. Es kam nach Auffüllung zwar seltener zu einer non-union, jedoch erreichte dieser Unterschied keine statistische Signifikanz. Patienten ohne Auffüllung mit dieser Komplikation wiesen bekannte Risikofaktoren auf.

Die Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogener Corticospongiosa führte außerdem zu einer schnelleren Rückkehr zur Vollbelastung. Bezüglich des funktionellen Ergebnisses in den klinischen Scores, der Patientenzufriedenheit und der Rückkehr zu Arbeit und Sport zeigte die Auffüllung jedoch keinen Vorteil. Ob eine isolierte HTO aufgrund medialer Gonarthrose durchgeführt wird oder mit kombinierter Knorpeltherapie bei fokalen Knorpelläsionen hat keinen maßgeblichen Einfluss auf den Nutzen einer Auffüllung des Osteotomiespalts. Sowohl die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz), als auch die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA) stellen sichere Fixationsmethoden mit gleichwertigen radiologischen und klinischen Ergebnissen dar.

Eine längere Operationszeit und die zusätzlichen Kosten für das Auffüllungsmaterial, in unserem Fall ca. 300 Euro für eine typische Menge von 10cm³, sollte indes nicht außer Acht gelassen werden (159). Die Entscheidung für oder gegen die Auffüllung des Osteotomiespalts bleibt somit eine Einzelfallentscheidung. Wie bereits von einigen Autoren in der Literatur befürwortet, sollte die Auffüllung des Osteotomiespalts vor allem bei Patienten mit Risikofaktoren für eine non-union, wie beispielsweise großen Korrekturwinkeln, Adipositas oder Nikotinabusus durchgeführt werden. Hierzu bedarf es einer exakten präoperativen Planung und Analyse der individuellen Risikofaktoren der Patienten. Slevin et al. empfehlen die Auffüllung des Osteotomiespalts ab einer Öffnungshöhe von 10mm (101). Passarelli et al. nennen einen Grenzwert von 12.5mm und Staubli et al. sowie El-Assal et al. lassen Osteotomiespalte bis 14mm ohne Auffüllung ((101,102,107,108,110,130,160). Eine Öffnungshöhe von 10mm entspricht zur besseren Einordnung einem Korrekturwinkel von 8-10° (161). Die Festlegung eines Grenzwertes, ab dem der Osteotomiespalt aufgefüllt werden sollte, war nicht Ziel dieser Arbeit und bedarf weiterer Forschung. Insgesamt hatten die Patienten unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts gute bis sehr gute klinische Ergebnisse mit hohen Raten an Arbeits- und Sportrückkehr. Die medial öffnende HTO ist somit eine optimale gelenkerhaltende Therapie bei Varusfehlstellung und Pathologien des medialen Kniegelenkkompartiments. Ist eine Auffüllung des Osteotomiespalts indiziert, so stellen allogene Corticospongiosa-Chips ein gut verfügbares und sicheres Auffüllungsmaterial dar, welches zu einer schnellen Knochenheilung führt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Angesichts der steigenden Inzidenz der medialen Gonarthrose bei jungen und aktiven Patienten, sowie der Erweiterung der Indikationsstellung für die Therapie von Bandinstabilitäten und von

Knorpel- und Meniskuspathologien im medialen Kompartiment, erfreut sich die HTO zunehmender Beliebtheit. Die medial öffnende Technik ist der lateral schließenden Technik unter anderem aufgrund des leichteren und weniger invasiven Zugangs, des geringeren Risikos einer Nervenschädigung und der genaueren Korrekturmöglichkeiten vorzuziehen. Der hierbei entstehende Osteotomiespalt birgt allerdings potentielle Risiken. Hierbei ist vor allem die ausbleibende knöcherner Durchbauung des Osteotomiespalts zu nennen. Ungeklärt ist nach wie vor die Frage, ob der Osteotomiespalt aufgefüllt werden sollte und welches Material am besten dafür geeignet ist. Die vorliegende Arbeit ist bis dato die erste, welche die radiologischen und klinischen Ergebnisse von Patienten mit offenem und mit allogenen Knochen aufgefülltem Osteotomiespalt vergleicht. Hierzu wurden 2 Gruppen gebildet. Gruppe 1 wurde aus 114 Patienten mit einem Osteotomiespalt ohne Auffüllung gebildet. Gruppe 2 beinhaltete 137 Patienten, bei denen eine Auffüllung des Osteotomiespalts mit allogenen, gefriergetrockneter Corticospongiosa-Chips der DIZG erfolgte. In einem Untersuchungszeitraum von mindestens einem Jahr postoperativ wurde das radiologische Ergebnis mittels Auswertung von postoperativen Röntgenaufnahmen untersucht. Neben der Erhebung der prä- und postoperativen Winkel am Kniegelenk war hierbei vor allem die Dauer der knöchernen Durchbauung und das Auftreten von unvollständiger oder ausbleibender Knochenheilung von zentraler Bedeutung. Hierzu wurde ein standardisiertes, zonenbasiertes Messverfahren verwendet. Außerdem wurde das klinische Ergebnis der beiden Gruppen mittels klinischen Scores analysiert. Zudem wurde die Rückkehr der Patienten zu Arbeit und Sport untersucht. Es wurde außerdem eine Subgruppenanalyse mit dem Vergleich von Patienten mit und ohne kombinierter Knorpeltherapie vorgenommen. Die beiden verwendeten winkelstabilen Plattenfixateure, die *TomoFix*-Platte (DePuy Synthes, Schweiz) und die *PEEKPower-HTO*-Platte (Arthrex, USA), wurden in einer weiteren Subgruppenanalyse verglichen.

Die Zusammensetzung der beiden Gruppen war bis auf die Dauer des Nachuntersuchungszeitraums und der verwendeten Platte homogen. Es konnte eine schnellere Durchbauung des Osteotomiespalts nach Auffüllung mit allogenen Knochen gezeigt werden, nach 6 Wochen wiesen signifikant mehr Patienten in Gruppe 2 eine abgeschlossene Knochenheilung auf. Patienten kehrten nach Auffüllung des Osteotomiespalts schneller zur Vollbelastung zurück. Insgesamt zeigte die Auffüllung mit allogener Corticospongiosa bezüglich des funktionellen Ergebnisses, der Patientenzufriedenheit und der Rückkehr zu Arbeit und Sport jedoch keinen Vorteil. Es ergab sich kein Unterschied in den gemessenen Winkeln zwischen den Gruppen. Die Komplikationsrate, insbesondere auch die Rate an Komplikationen bei der Knochenheilung, war in beiden Gruppen ähnlich niedrig. Ein größerer

Korrekturwinkel ging in unserer Arbeit mit einem höheren Risiko einer unvollständigen oder ausbleibenden Knochenheilung einher. Außerdem zeigten Patienten mit hohem BMI schlechtere klinische Ergebnisse. Ob eine HTO mit oder ohne Knorpeltherapie durchgeführt wurde, hatte in der durchgeführten Subgruppenanalyse keinen maßgeblichen Einfluss auf den Nutzen einer Auffüllung des Osteotomiespalts. Die beiden verwendeten Plattenfixateure zeigten gleichwertige radiologische und klinische Ergebnisse. Insgesamt erreichten die Patienten unabhängig von der Auffüllung des Osteotomiespalts gute bis sehr gute klinische Ergebnisse mit hohen Raten an Arbeits- und Sportrückkehr. Abschließend kamen wir zu dem Fazit, dass die Auffüllung des Osteotomiespalts aufgrund der längeren OP-Dauer und der zusätzlichen Kosten eine Einzelfallentscheidung bleiben sollte und vor allem bei Patienten mit hohem Korrekturbedarf oder individuellen Risikofaktoren eingesetzt werden sollte. Allogene Corticospongiosa-Chips bieten sich hierbei als ein gut verfügbares und sicheres Auffüllungsmaterial an, welches zu einer schnellen Knochenheilung führt.

7. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- AAOS=Academy of Orthopaedic Surgeons
- Abb.=Abbildung
- a.-p.; A/P= anterior-posterior
- BMI=Body-Mass-Index
- bzw.=beziehungsweise
- ca.=circa
- cm=Zentimeter
- cm²=Quadratcentimeter
- CPM=Continuous passive Motion
- CT=Computertomographie
- d.h.=das heißt
- DIZG=Deutsches Institut für Zell- und Gewebeersatz
- Et al.= und andere
- etc.=et cetera
- GFW=Gelenkflächenwinkel
- ggf.=gegebenenfalls
- HKB=hinteres Kreuzband
- HTO=hohe Tibiaosteotomie; high tibial osteotomy
- IKD=interkondyläre Distanz
- IKDC=International Knee Documentation Committee
- ISAKOS=International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine
- i.v.=intravenös
- kg=Kilogramm
- kg/m²=Kilogramm pro Quadratmeter
- M=Mittelwert
- MACT=Matrix-assoziierte autologe Chondrozytentransplantation
- MAD=mechanische Achsdeviation
- M/L=mediolateral
- mm=Millimeter
- mLDFW=mechanischer lateraler distaler Femurwinkel

- mMPTW=mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
- OCT=Osteochondraler Zylindertransfer
- o.g.= oben genannt
- OP=Operation
- R=Spannweite
- s.=siehe
- SD=Standardabweichung
- sog.=sogenannte
- u.a.=unter anderem
- VKB=vorderes Kreuzband
- Wo=Wochen
- z.B.=zum Beispiel
- Z.n.=Zustand nach

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Galla M, Lobenhoffer P. Achsenfehlstellungen-Knie. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2007;2(1):21–40.
2. Bellemans J, Colyn W, Vandenneucker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: Is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. Clin Orthop Relat Res. 2012;470(1):45–53. doi:10.1007/s11999-011-1936-5 Cited in: PubMed; PMID 21656315.
3. Ehnert M, Stief F, Meurer A. [Axial deformities of the lower extremity in the frontal plane: From physiological development to pathological and possible long-term consequences]. Orthopade. 2021;50(7). doi:10.1007/s00132-021-04124-6 Cited in: PubMed; PMID 34156495.
4. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, editors. Kniegelenknahe Osteotomien: Indikation - Planung - Operationstechnik mit Plattenfixateuren ; 14 Tabellen. Stuttgart: Thieme; 2007 [cited 2018 Mar 9]. 161 p. ger.
5. Lobenhoffer P. Stellenwert der knienahen Osteotomie bei medialer Gonarthrose. Indikation, Technik und Ergebnisse [Importance of osteotomy around to the knee for

- medial gonarthrosis. Indications, technique and results]. *Orthopäde*. 2014;43(5):425–31. ger. doi:10.1007/s00132-013-2189-7 Cited in: PubMed; PMID 24756354.
6. Halder A, Kutzner I, Graichen F, Heinlein B, Beier A, Bergmann G. Influence of limb alignment on mediolateral loading in total knee replacement: In vivo measurements in five patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(11):1023–9. doi:10.2106/JBJS.K.00927 Cited in: PubMed; PMID 22637208.
 7. Hsu RW, Himeno S, Coventry MB, Chao EY. Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(255):215–27. Cited in: PubMed; PMID 2347155.
 8. Faschingbauer M, Kasparek M, Waldstein W, Schadler P, Reichel H, Boettner F. Cartilage survival of the knee strongly depends on malalignment: A survival analysis from the Osteoarthritis Initiative (OAI). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(5). doi:10.1007/s00167-019-05434-1 Cited in: PubMed; PMID 30840094.
 9. Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA*. 2001;286(2):188–95. doi:10.1001/jama.286.2.188 Cited in: PubMed; PMID 11448282.
 10. Sharma L, Chmiel JS, Almagor O, Felson D, Guermazi A, Roemer F, Lewis CE, Segal N, Torner J, Cooke TDV, Hietpas J, Lynch J, Nevitt M. The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: The MOST study. *Ann Rheum Dis*. 2013;72(2):235–40. doi:10.1136/annrheumdis-2011-201070 Cited in: PubMed; PMID 22550314.
 11. Reichel H. Arthrose. In: Kohn D, Adam F, editors. *Das Knie, 57 Tabellen*. Stuttgart: Thieme; 2000. p. 221–77.
 12. Grifka J, Kuster M. *Orthopädie und Unfallchirurgie: Für Praxis, Klinik und Facharztprüfung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011. ger.
 13. Madry H. Arthrose. In: Kohn D, editor. *Expertise Knie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2016. p. 276–357. (Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie).
 14. Murphy L, Schwartz TA, Helmick CG, Renner JB, Tudor G, Koch G, Dragomir A, Kalsbeek WD, Luta G, Jordan JM. Lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2008;59(9):1207–13. doi:10.1002/art.24021 Cited in: PubMed; PMID 18759314.

15. Bijlsma JWJ, Berenbaum F, Lafeber FP. Osteoarthritis: An update with relevance for clinical practice. *The Lancet*. 2011;377(9783):2115–26. doi:10.1016/S0140-6736(11)60243-2
16. Günther KP, Puhl W, Brenner H, Stürmer T. Klinische Epidemiologie von Hüft- und Kniegelenkarthrosen: Eine Übersicht über Ergebnisse der "Ulmer Osteoarthrose-Studie" [Clinical epidemiology of hip and knee joint arthroses: an overview of the results of the "Ulm Osteoarthritis Study"]. *Z Rheumatol*. 2002;61(3):244–9. ger. Cited in: PubMed; PMID 12219626.
17. Bundesamt für Statistik. Krankheitskosten: Deutschland, Jahre, Krankheitsdiagnosen [Internet]. 2015 [cited 2019 Jul 31]. Available from: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data;sid=CEA02CBF5493FE88D75B016156CC6299.GO_2_2?operation=ergebnistabelleUmfang&levelindex=2&levelid=1564564174380&downloadname=23631-0001
18. Bundesministerium für Gesundheit. Arbeitsunfähigkeit: Fälle und Tage nach Diagnosen 2017: Ergebnisse der Krankheitsartenstatistik der gesetzlichen Krankenversicherung [Internet]. 2017 [cited 2019 Jul 31]. Available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/krankenversicherung/zahlen-und-fakten-zur-krankenversicherung/geschaeftergebnisse.html>
19. Brown ML, McCauley JC, Gracitelli GC, Bugbee WD. Osteochondritis Dissecans Lesion Location Is Highly Concordant With Mechanical Axis Deviation. *Am J Sports Med*. 2020;48(4). doi:10.1177/0363546520905567 Cited in: PubMed; PMID 32167842.
20. Lutter C. Osteotomie bei Knorpelschäden. In: AGA-Knie-Arthrose/Gelenkerhalt-Komitee, editor. Kniegelenksnahe Osteotomien. p. 25–7.
21. Tischer T, Paul J, Pape D, Hirschmann MT, Imhoff AB, Hinterwimmer S, Feucht MJ. The Impact of Osseous Malalignment and Realignment Procedures in Knee Ligament Surgery: A Systematic Review of the Clinical Evidence. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(3). doi:10.1177/2325967117697287 Cited in: PubMed; PMID 28451605.
22. Feucht M. Osteotomie bei Bandinstabilitäten. In: AGA-Knie-Arthrose/Gelenkerhalt-Komitee, editor. Kniegelenksnahe Osteotomien. p. 28–33.
23. Noyes FR, Barber-Westin SD, Hewett TE. High tibial osteotomy and ligament reconstruction for varus angulated anterior cruciate ligament-deficient knees. *Am J Sports Med*. 2000;28(3):282–96. doi:10.1177/03635465000280030201 Cited in: PubMed; PMID 10843117.

24. van de Pol GJ, Arnold MP, Verdonshot N, van Kampen A. Varus alignment leads to increased forces in the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2009;37(3):481–7. doi:10.1177/0363546508326715 Cited in: PubMed; PMID 19088054.
25. WARDLE EN. OSTEOTOMY OF THE TIBIA AND FIBULA IN THE TREATMENT OF CHRONIC OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE. *Postgrad Med J.* 1964;40:536–42. doi:10.1136/pgmj.40.467.536 Cited in: PubMed; PMID 14186291.
26. Coventry MB. Osteotomy of the Upper Portion of the Tibia for Degenerative Arthritis of the Knee: A Preliminary Report. *J Bone Joint Surg (Am).* 1965;47-A(5):984–90.
27. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD. Improvements in surgical technique of valgus high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(3):132–8. doi:10.1007/s00167-002-0334-7 Cited in: PubMed; PMID 12774149.
28. JACKSON JP, WAUGH W. Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B746–51. Cited in: PubMed; PMID 14036496.
29. Hernigou P, Medevielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *The Journal of Bone & Joint Surgery.* 1987;69(3):332–54. Cited in: PubMed; PMID 3818700.
30. Brinkmann JM, Lobenhoffer P, Agneskirchner JD, Staubli AE, Wymenga AB, van Heerwarden RJ. Osteotomies around the knee: Patient selection, stability of fixation and bone healing in high tibial osteotomies. *J Bone Joint Surg (Br).* 2008;90-B(12):1548–57.
31. Dornacher D, Kappe T, Reichel H. Die Gonarthrose des jüngeren Patienten--wen sollte man knieendoprothetisch versorgen, wen nicht? [Osteoarthritis of the knee in the young patient--who should receive total knee arthroplasty and who should not?]. *Z Orthop Unfall.* 2014;152(3):270–5. ger. doi:10.1055/s-0034-1368532 Cited in: PubMed; PMID 24960097.
32. Noyes FR, Barber SD, Simon R. High tibial osteotomy and ligament reconstruction in varus angulated, anterior cruciate ligament-deficient knees: A two- to seven-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 1993;21(1):2–12.
33. Amendola A, Bonasia DE. Results of high tibial osteotomy: Review of the literature. *Int Orthop.* 2010;34(2):155–60. doi:10.1007/s00264-009-0889-8 Cited in: PubMed; PMID 19838706.

34. Bonasia DE, Governale G, Spolaore S, Rossi R, Amendola A. High tibial osteotomy. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2014;7(4):292–301. doi:10.1007/s12178-014-9234-y Cited in: PubMed; PMID 25129702.
35. Harris JD, McNeilan R, Siston RA, Flanigan DC. Survival and clinical outcome of isolated high tibial osteotomy and combined biological knee reconstruction. *Knee*. 2013;20(3):154–61. doi:10.1016/j.knee.2012.12.012 Cited in: PubMed; PMID 23477914.
36. Feucht MJ, Tischer T. Kniegelenknahe Osteotomien bei Bandinsuffizienzen [Osteotomies around the knee for ligament insufficiency]. *Orthopade*. 2017;46(7):601–9. ger. doi:10.1007/s00132-017-3439-x Cited in: PubMed; PMID 28600607.
37. Tischer T, Paul J, Pape D, Hirschmann MT, Imhoff AB, Hinterwimmer S, Feucht MJ. The Impact of Osseous Malalignment and Realignment Procedures in Knee Ligament Surgery: A Systematic Review of the Clinical Evidence. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(3):2325967117697287. doi:10.1177/2325967117697287 Cited in: PubMed; PMID 28451605.
38. Giffin JR, Vogrin TM, Zantop T, Woo SL-Y, Harner CD. Effects of Increasing Tibial Slope on the Biomechanics of the Knee. *Am J Sports Med*. 2017;32(2):376–82. doi:10.1177/0363546503258880
39. Feucht MJ, Mauro CS, Brucker PU, Imhoff AB, Hinterwimmer S. The role of the tibial slope in sustaining and treating anterior cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(1):134–45. doi:10.1007/s00167-012-1941-6 Cited in: PubMed; PMID 22395233.
40. Dejour H, Bonnin M. Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br*. 1994;76(5):745–9. Cited in: PubMed; PMID 8083263.
41. Dean RS, DePhillipo NN, Laprade RF. Posterior Tibial Slope in Patients With Torn ACL Reconstruction Grafts Compared With Primary Tear or Native ACL: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med*. 2022;10(4):23259671221079380. doi:10.1177/23259671221079380 Cited in: PubMed; PMID 35425846.
42. Bernhardson AS, Aman ZS, Dornan GJ, Kemler BR, Storaci HW, Brady AW, Nakama GY, Laprade RF. Tibial Slope and Its Effect on Force in Anterior Cruciate Ligament Grafts: Anterior Cruciate Ligament Force Increases Linearly as Posterior Tibial Slope Increases. *Am J Sports Med*. 2019;47(2):296–302. doi:10.1177/0363546518820302

43. Gwinner C, Weiler A, Roider M, Schaefer FM, Jung TM. Tibial Slope Strongly Influences Knee Stability After Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective 5- to 15-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* 2017;45(2):355–61. doi:10.1177/0363546516666354 Cited in: PubMed; PMID 27651396.
44. Noyes FR, Barber-Westin SD, Albright JC. An analysis of the causes of failure in 57 consecutive posterolateral operative procedures. *Am J Sports Med.* 2006;34(9). doi:10.1177/0363546506287743 Cited in: PubMed; PMID 16685092.
45. Amendola A, Panarella L. High tibial osteotomy for the treatment of unicompartmental arthritis of the knee. *Orthop Clin North Am.* 2005;36(4):497–504. doi:10.1016/j.ocl.2005.05.009 Cited in: PubMed; PMID 16164954.
46. Niinimäki TT, Eskelinen A, Mann BS, Junnila M, Ohtonen P, Leppilähti J. Survivorship of high tibial osteotomy in the treatment of osteoarthritis of the knee: Finnish registry-based study of 3195 knees. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(11):1517–21. doi:10.1302/0301-620X.94B11.29601 Cited in: PubMed; PMID 23109632.
47. Trieb K, Grohs J, Hanslik-Schnabel B, Stulnig T, Panotopoulos J, Wanivenhaus A. Age predicts outcome of high-tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(2):149–52. doi:10.1007/s00167-005-0638-5 Cited in: PubMed; PMID 16010584.
48. Goshima K, Sawaguchi T, Sakagoshi D, Shigemoto K, Hatsuchi Y, Akahane M. Age does not affect the clinical and radiological outcomes after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(3):918–23. doi:10.1007/s00167-015-3847-6 Cited in: PubMed; PMID 26531184.
49. Saito T, Kumagai K, Akamatsu Y, Kobayashi H, Kusayama Y. Five- to ten-year outcome following medial opening-wedge high tibial osteotomy with rigid plate fixation in combination with an artificial bone substitute. *Bone Joint J.* 2014;96-B(3):339–44. doi:10.1302/0301-620X.96B3.32525 Cited in: PubMed; PMID 24589788.
50. Akizuki S, Shibakawa A, Takizawa T, Yamazaki I, Horiuchi H. The long-term outcome of high tibial osteotomy: A ten- to 20-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(5):592–6. doi:10.1302/0301-620X.90B5.20386 Cited in: PubMed; PMID 18450624.
51. Floerkemeier S, Staubli AE, Schroeter S, Goldhahn S, Lobenhoffer P. Does obesity and nicotine abuse influence the outcome and complication rate after open-wedge high tibial osteotomy? A retrospective evaluation of five hundred and thirty three patients. *Int*

- Orthop. 2014;38(1):55–60. doi:10.1007/s00264-013-2082-3 Cited in: PubMed; PMID 24022738.
52. Howells NR, Salmon L, Waller A, Scanelli J, Pinczewski LA. The outcome at ten years of lateral closing-wedge high tibial osteotomy. *Bone Joint J.* 2014;96-B(11):1491–7. doi:10.1302/0301-620X.96B11.33617
53. Rossi R, Bonasia DE, Amendola A. The role of high tibial osteotomy in the varus knee. *J Am Acad Orthop Surg.* 2011;19(10):590–9. Cited in: PubMed; PMID 21980024.
54. Rodriguez-Merchan EC. Does a Previous High Tibial Osteotomy (HTO) Influence the Long-term Function or Survival of a Total Knee Arthroplasty (TKA)? *Arch Bone Jt Surg.* 2018;6(1):19–22. Cited in: PubMed; PMID 29430490.
55. Saragaglia D, Massfelder J, Refaie R, Rubens-Duval B, Mader R, Rouchy RC, Pailhé R. Computer-assisted total knee replacement after medial opening wedge high tibial osteotomy: Medium-term results in a series of ninety cases. *Int Orthop.* 2016;40(1):35–40. doi:10.1007/s00264-015-2791-x Cited in: PubMed; PMID 25947901.
56. Webb M, Dewan V, Elson D. Functional results following high tibial osteotomy: A review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018. doi:10.1007/s00590-017-2112-8 Cited in: PubMed; PMID 29302782.
57. Brouwer RW, Huizinga MR, Duivenvoorden T, van Raaij TM, Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SMA, Verhaar JAN. Osteotomy for treating knee osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;(12):CD004019. doi:10.1002/14651858.CD004019.pub4 Cited in: PubMed; PMID 25503775.
58. Hoorntje A, Witjes S, Kuijer PPFM, Koenraadt KLM, van Geenen RCI, Daams JG, Getgood A, Kerkhoffs GMMJ. High Rates of Return to Sports Activities and Work After Osteotomies Around the Knee: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2017;47(11):2219–44. doi:10.1007/s40279-017-0726-y Cited in: PubMed; PMID 28401426.
59. Jung W-H, Takeuchi R, Chun C-W, Lee J-S, Ha J-H, Kim J-H, Jeong J-H. Second-look arthroscopic assessment of cartilage regeneration after medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2014;30(1):72–9. doi:10.1016/j.arthro.2013.10.008 Cited in: PubMed; PMID 24384273.
60. OUTERBRIDGE RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-B752–7. Cited in: PubMed; PMID 14038135.

61. Floerkemeier S, Staubli AE, Schroeter S, Goldhahn S, Lobenhoffer P. Outcome after high tibial open-wedge osteotomy: A retrospective evaluation of 533 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):170–80. doi:10.1007/s00167-012-2087-2 Cited in: PubMed; PMID 22744433.
62. Ryu SM, Park JW, Na HD, Shon OJ. High Tibial Osteotomy versus Unicompartmental Knee Arthroplasty for Medial Compartment Arthrosis with Kissing Lesions in Relatively Young Patients. *Knee Surg Relat Res.* 2018;30(1):17–22. doi:10.5792/ksrr.17.006 Cited in: PubMed; PMID 29298462.
63. Shon O-J, Park S-J, Shim B-J, Lee D-Y. Comparative Study of Clinical and Radiographic Outcomes of High Tibial Osteotomy in Patients with Kissing Lesions and Non-Kissing Lesions. *Knee Surg Relat Res.* 2017;29(4):288–94. doi:10.5792/ksrr.16.057 Cited in: PubMed; PMID 29046045.
64. Minas T, Keudell A v., Bryant T, Gomoll AH. The John Insall Award: A minimum 10-year outcome study of autologous chondrocyte implantation. *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(1):41–51. doi:10.1007/s11999-013-3146-9 Cited in: PubMed; PMID 23979923.
65. Marriott K, Birmingham TB, Kean CO, Hui C, Jenkyn TR, Giffin JR. Five-year changes in gait biomechanics after concomitant high tibial osteotomy and ACL reconstruction in patients with medial knee osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2015;43(9):2277–85. doi:10.1177/0363546515591995 Cited in: PubMed; PMID 26264767.
66. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):2846–52. doi:10.1007/s00167-015-3758-6 Cited in: PubMed; PMID 26298711.
67. Arun GR, Kumaraswamy V, Rajan D, Vinodh K, Singh AK, Kumar P, Chandrasekaran K, Santosh S, Kishore C. Long-term follow up of single-stage anterior cruciate ligament reconstruction and high tibial osteotomy and its relation with posterior tibial slope. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(4):505–11. doi:10.1007/s00402-015-2385-5 Cited in: PubMed; PMID 26721700.
68. Han JH, Yang J-H, Bhandare NN, Suh DW, Lee JS, Chang YS, Yeom JW, Nha KW. Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy: A systematic review of open versus closed wedge osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*

- 2016;24(8):2567–77. doi:10.1007/s00167-015-3807-1 Cited in: PubMed; PMID 26423055.
69. Deie M, Hosoi T, Shimada N, Iwaki D, Nakamae A, Adachi N, Ochi M. Differences between opening versus closing high tibial osteotomy on clinical outcomes and gait analysis. *Knee*. 2014;21(6):1046–51. doi:10.1016/j.knee.2014.04.007 Cited in: PubMed; PMID 25108843.
70. W-Dahl A, Robertsson O, Lohmander LS. High tibial osteotomy in Sweden, 1998-2007: A population-based study of the use and rate of revision to knee arthroplasty. *Acta Orthop*. 2012;83(3):244–8. doi:10.3109/17453674.2012.688725 Cited in: PubMed; PMID 22574818.
71. Kim J-H, Kim H-J, Lee D-H. Survival of opening versus closing wedge high tibial osteotomy: A meta-analysis. *Sci Rep*. 2017;7(1):7296. doi:10.1038/s41598-017-07856-8 Cited in: PubMed; PMID 28779084.
72. Smith TO, Sexton D, Mitchell P, Hing CB. Opening- or closing-wedged high tibial osteotomy: A meta-analysis of clinical and radiological outcomes. *Knee*. 2011;18(6):361–8. doi:10.1016/j.knee.2010.10.001 Cited in: PubMed; PMID 21036048.
73. Wang Z, Zeng Y, She W, Luo X, Cai L. Is opening-wedge high tibial osteotomy superior to closing-wedge high tibial osteotomy in treatment of unicompartmental osteoarthritis? A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg*. 2018;60:153–63. doi:10.1016/j.ijssu.2018.10.045 Cited in: PubMed; PMID 30445197.
74. Wu L, Lin J, Jin Z, Cai X, Gao W. Comparison of clinical and radiological outcomes between opening-wedge and closing-wedge high tibial osteotomy: A comprehensive meta-analysis. *PLoS ONE*. 2017;12(2):e0171700. doi:10.1371/journal.pone.0171700 Cited in: PubMed; PMID 28182736.
75. Nha K-W, Kim H-J, Ahn H-S, Lee D-H. Change in Posterior Tibial Slope After Open-Wedge and Closed-Wedge High Tibial Osteotomy: A Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2016;44(11):3006–13. doi:10.1177/0363546515626172 Cited in: PubMed; PMID 26872893.
76. Lee O-S, Ahn S, Lee YS. Changes of Sagittal and Axial Alignments of Patella after Open- and Closed-Wedge High-Tibial Osteotomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Knee Surg*. 2017. doi:10.1055/s-0037-1605561 Cited in: PubMed; PMID 28806840.

77. Lansdaal JR, Mouton T, Wascher DC, Demey G, Lustig S, Neyret P, Servien E. Early weight bearing versus delayed weight bearing in medial opening wedge high tibial osteotomy: A randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(12):3670–8. doi:10.1007/s00167-016-4225-8 Cited in: PubMed; PMID 27371292.
78. Lash NJ, Feller JA, Batty LM, Wasiak J, Richmond AK. Bone grafts and bone substitutes for opening-wedge osteotomies of the knee: A systematic review. *Arthroscopy.* 2015;31(4):720–30. doi:10.1016/j.arthro.2014.09.011 Cited in: PubMed; PMID 25595695.
79. Brosset T, Pasquier G, Migaud H, Gougeon F. Opening wedge high tibial osteotomy performed without filling the defect but with locking plate fixation (TomoFix™) and early weight-bearing: Prospective evaluation of bone union, precision and maintenance of correction in 51 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011;97(7):705–11. doi:10.1016/j.otsr.2011.06.011 Cited in: PubMed; PMID 22001198.
80. Nerhus TK, Ekeland A, Solberg G, Olsen BH, Madsen JE, Heir S. No difference in time-dependent improvement in functional outcome following closing wedge versus opening wedge high tibial osteotomy: A randomised controlled trial with two-year follow-up. *Bone Joint J.* 2017;99-B(9):1157–66. doi:10.1302/0301-620X.99B9.BJJ-2017-0062.R1 Cited in: PubMed; PMID 28860395.
81. Niemeyer P, Schmal H, Hauschild O, Heyden J v., Südkamp NP, Köstler W. Open-wedge osteotomy using an internal plate fixator in patients with medial-compartment gonarthrosis and varus malalignment: 3-year results with regard to preoperative arthroscopic and radiographic findings. *Arthroscopy.* 2010;26(12):1607–16. doi:10.1016/j.arthro.2010.05.006 Cited in: PubMed; PMID 20926232.
82. Kuremsky MA, Schaller TM, Hall CC, Roehr BA, Masonis JL. Comparison of autograft vs allograft in opening-wedge high tibial osteotomy. *J Arthroplasty.* 2010;25(6):951–7. doi:10.1016/j.arth.2009.07.026 Cited in: PubMed; PMID 19775852.
83. Darées M, Putman S, Brosset T, Roumazielle T, Pasquier G, Migaud H. Opening-wedge high tibial osteotomy performed with locking plate fixation (TomoFix™) and early weight-bearing but without filling the defect. A concise follow-up note of 48 cases at 10 years' follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018. doi:10.1016/j.otsr.2017.12.021 Cited in: PubMed; PMID 29572182.

84. Seo S-S, Kim O-G, Seo J-H, Kim D-H, Kim Y-G, Lee I-S. Complications and Short-Term Outcomes of Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy Using a Locking Plate for Medial Osteoarthritis of the Knee. *Knee Surg Relat Res.* 2016;28(4):289–96. doi:10.5792/ksrr.16.028 Cited in: PubMed; PMID 27894176.
85. Martin R, Birmingham TB, Willits K, Litchfield R, Lebel M-E, Giffin JR. Adverse event rates and classifications in medial opening wedge high tibial osteotomy. *Am J Sports Med.* 2014;42(5):1118–26. doi:10.1177/0363546514525929 Cited in: PubMed; PMID 24634450.
86. Woodacre T, Ricketts M, Evans JT, Pavlou G, Schranz P, Hockings M, Toms A. Complications associated with opening wedge high tibial osteotomy--A review of the literature and of 15 years of experience. *Knee.* 2016;23(2):276–82. doi:10.1016/j.knee.2015.09.018 Cited in: PubMed; PMID 26596554.
87. Miller BS, Downie B, McDonough EB, Wojtys EM. Complications after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy.* 2009;25(6):639–46. doi:10.1016/j.arthro.2008.12.020 Cited in: PubMed; PMID 19501295.
88. Agneskirchner JD, Freiling D, Hurschler C, Lobenhoffer P. Primary stability of four different implants for opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):291–300. doi:10.1007/s00167-005-0690-1 Cited in: PubMed; PMID 16284740.
89. Brinkman J-M, Luites JWH, Wymenga AB, van Heerwaarden RJ. Early full weight bearing is safe in open-wedge high tibial osteotomy. *Acta Orthop.* 2010;81(2):193–8. doi:10.3109/17453671003619003 Cited in: PubMed; PMID 20175658.
90. Han JH, Kim HJ, Song JG, Yang JH, Nakamura R, Shah D, Park YJ, Nha KW. Locking plate versus non-locking plate in open-wedge high tibial osteotomy: A meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(3):808–16. doi:10.1007/s00167-015-3850-y Cited in: PubMed; PMID 26578305.
91. Aryee S, Imhoff AB, Rose T, Tischer T. Do we need synthetic osteotomy augmentation materials for opening-wedge high tibial osteotomy. *Biomaterials.* 2008;29(26):3497–502. doi:10.1016/j.biomaterials.2008.05.027 Cited in: PubMed; PMID 18555524.
92. Takeuchi R, Ishikawa H, Kumagai K, Yamaguchi Y, Chiba N, Akamatsu Y, Saito T. Fractures around the lateral cortical hinge after a medial opening-wedge high tibial osteotomy: A new classification of lateral hinge fracture. *Arthroscopy.* 2012;28(1):85–94. doi:10.1016/j.arthro.2011.06.034 Cited in: PubMed; PMID 21982387.

93. Nakamura R, Komatsu N, Murao T, Okamoto Y, Nakamura S, Fujita K, Nishimura H, Katsuki Y. The validity of the classification for lateral hinge fractures in open wedge high tibial osteotomy. *Bone Joint J.* 2015;97-B(9):1226–31. doi:10.1302/0301-620X.97B9.34949 Cited in: PubMed; PMID 26330589.
94. Staubli AE, Jacob HAC. Evolution of open-wedge high-tibial osteotomy: Experience with a special angular stable device for internal fixation without interposition material. *Int Orthop.* 2010;34(2):167–72. doi:10.1007/s00264-009-0902-2 Cited in: PubMed; PMID 19921189.
95. Kröll A, Schiaparelli FF, Simoni C de, Slevin O, Hirschmann MT. Füllung des Osteotomiespalts: Ob, wann und womit? [Bone void fillers in osteotomies: If, when, and which type?]. *Orthopade.* 2017;46(7):596–600. ger. doi:10.1007/s00132-017-3420-8 Cited in: PubMed; PMID 28361191.
96. Jung W-H, Takeuchi R, Kim D-H, Nag R. Faster union rate and better clinical outcomes using autologous bone graft after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019. doi:10.1007/s00167-019-05463-w Cited in: PubMed; PMID 30903222.
97. Goshima K, Sawaguchi T, Shigemoto K, Iwai S, Nakanishi A, Inoue D, Shima Y. Large opening gaps, unstable hinge fractures, and osteotomy line below the safe zone cause delayed bone healing after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018. doi:10.1007/s00167-018-5334-3 Cited in: PubMed; PMID 30539305.
98. Lind-Hansen TB, Lind MC, Nielsen PT, Laursen MB. Open-Wedge High Tibial Osteotomy: RCT 2 Years RSA Follow-Up. *J Knee Surg.* 2016;29(8):664–72. doi:10.1055/s-0036-1571802 Cited in: PubMed; PMID 26855045.
99. Meidinger G, Imhoff AB, Paul J, Kirchhoff C, Sauerschnig M, Hinterwimmer S. May smokers and overweight patients be treated with a medial open-wedge HTO? Risk factors for non-union. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(3):333–9. doi:10.1007/s00167-010-1335-6 Cited in: PubMed; PMID 21153542.
100. van Houten AH, Heesterbeek PJC, van Heerwaarden RJ, van Tienen TG, Wymenga AB. Medial open wedge high tibial osteotomy: Can delayed or nonunion be predicted? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(4):1217–23. doi:10.1007/s11999-013-3383-y Cited in: PubMed; PMID 24249537.

101. Slevin O, Ayeni OR, Hinterwimmer S, Tischer T, Feucht MJ, Hirschmann MT. The role of bone void fillers in medial opening wedge high tibial osteotomy: A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(11):3584–98. doi:10.1007/s00167-016-4297-5 Cited in: PubMed; PMID 27557796.
102. Han JH, Kim HJ, Song JG, Yang JH, Bhandare NN, Fernandez AR, Park HJ, Nha KW. Is Bone Grafting Necessary in Opening Wedge High Tibial Osteotomy? A Meta-Analysis of Radiological Outcomes. *Knee Surg Relat Res.* 2015;27(4):207–20. doi:10.5792/ksrr.2015.27.4.207 Cited in: PubMed; PMID 26675553.
103. Ren Y-M, Duan Y-H, Sun Y-B, Yang T, Hou W-Y, Zhu R-S, Tian M-Q. Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Using Autograft versus Allograft: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Knee Surg.* 2019. doi:10.1055/s-0039-1681065 Cited in: PubMed; PMID 30861539.
104. Deutsches Institut für Zell-und Gewebeersatz. Gewebetransplantate seit 1993 [Internet]: Deutsches Institut für Zell-und Gewebeersatz [cited 2022 Oct 25]. Available from: <https://www.dizg.de/de/institut.html>
105. Moore WR, Graves SE, Bain GI. Synthetic bone graft substitutes. *ANZ J Surg.* 2001;71(6):354–61. Cited in: PubMed; PMID 11409021.
106. Hooper NM, Schouten R, Hooper GJ. The outcome of bone substitute wedges in medial opening high tibial osteotomy. *Open Orthop J.* 2013;7:373–7. doi:10.2174/1874325001307010373 Cited in: PubMed; PMID 24082978.
107. El-Assal MA, Khalifa YE, Abdel-Hamid MM, Said HG, Bakr HMA. Opening-wedge high tibial osteotomy without bone graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(7):961–6. doi:10.1007/s00167-010-1104-6 Cited in: PubMed; PMID 20349041.
108. Zorzi AR, da Silva HGPV, Muszkat C, Marques LC, Cliquet A, Miranda JBd. Opening-wedge high tibial osteotomy with and without bone graft. *Artif Organs.* 2011;35(3):301–7. doi:10.1111/j.1525-1594.2010.01058.x Cited in: PubMed; PMID 21128980.
109. Fucentese SF, Tscholl PM, Sutter R, Brucker PU, Meyer DC, Koch PP. Bone autografting in medial open wedge high tibial osteotomy results in improved osseous gap healing on computed tomography, but no functional advantage: A prospective, randomised, controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018. doi:10.1007/s00167-018-5285-8 Cited in: PubMed; PMID 30456568.

110. Passarelli MC, Filho JRT, Brizzi FAM, Campos GCd, Zorzi AR, Miranda JBd. Comparison of Puddu osteotomy with or without autologous bone grafting: A prospective clinical trial. *Rev Bras Ortop.* 2017;52(5):555–60. doi:10.1016/j.rboe.2017.09.001 Cited in: PubMed; PMID 29062820.
111. Qualitätskreis Knorpel Repair&Gelenkerhalt e.v. Klassifikationen [Internet]: QKG. 2023 [cited 2023 Feb 17]. Available from: <https://www.qkg-ev.de/fachinformationen/fuer-aerzte/klassifikationen/>
112. Dugdale TW, Noyes FR, Styer D. Preoperative Planning for High Tibial Osteotomy: The Effect of Lateral Tibiofemoral Separation and Tibiofemoral Length. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;274:248–64.
113. Müller M, Strecker W. Arthroscopy prior to osteotomy around the knee? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(11):1217–21. doi:10.1007/s00402-007-0398-4 Cited in: PubMed; PMID 17713774.
114. Feucht MJ, Minzlaff P, Saier T, Cotic M, Südkamp NP, Niemeyer P, Imhoff AB, Hinterwimmer S. Degree of axis correction in valgus high tibial osteotomy: Proposal of an individualised approach. *Int Orthop.* 2014;38(11):2273–80. doi:10.1007/s00264-014-2442-7 Cited in: PubMed; PMID 25008139.
115. Miniaci A, Ballmer FT, Ballmer PM, Jakob RP. Proximal tibial osteotomy. A new fixation device. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(246):250–9. Cited in: PubMed; PMID 2766613.
116. DIZG Deutsches Institut für Zell- und Gewebeersatz gGmbH. Gebrauchs- und Fachinformation [Internet]. 2012 [updated 2012 Jul 2; cited 2020 Apr 4]. Available from: <https://www.dizg.de/de/downloads.html>
117. Brandon ML, Haynes PT, Bonamo JR, Flynn MI, Barrett GR, Sherman MF. The Association Between Posterior-Inferior Tibial Slope and Anterior Cruciate Ligament Insufficiency. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2006;22(8):894–9. doi:10.1016/j.arthro.2006.04.098
118. van Hemert WLW, Willems K, Anderson PG, van Heerwaarden RJ, Wymenga AB. Tricalcium phosphate granules or rigid wedge preforms in open wedge high tibial osteotomy: A radiological study with a new evaluation system. *Knee.* 2004;11(6):451–6. doi:10.1016/j.knee.2004.08.004 Cited in: PubMed; PMID 15581763.
119. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, Richmond JC, Shelborne KD. Development and validation of the international knee documentation

- committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29(5):600–13.
doi:10.1177/03635465010290051301 Cited in: PubMed; PMID 11573919.
120. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Neyret P, Richmond JC, Shelbourne KD. Responsiveness of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med.* 2006;34(10):1567–73. doi:10.1177/0363546506288855
Cited in: PubMed; PMID 16870824.
121. Noyes FR, McGinniss GH, Mooar LA. Functional Disability in the Anterior Cruciate Insufficient Knee Syndrome: Review of Knee Rating Systems and Projected Risk Factors in Determining Treatment. *Sports Medicine.* 1984;1(4):278–302.
doi:10.2165/00007256-198401040-00004
122. Bentley G, Biant LC, Carrington RWJ, Akmal M, Goldberg A, Williams AM, Skinner JA, Pringle J. A prospective, randomised comparison of autologous chondrocyte implantation *versus* mosaicplasty for osteochondral defects in the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery.* 2003;85(2):223–30. doi:10.1302/0301-620X.85B2.13543
123. Tegner Y, Lysholm J. Rating Systems in the Evaluation of Knee Ligament Injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985;19843–9.
124. Bonnin MP, Laurent J-R, Zadegan F, Badet R, Pooler Archbold HA, Servien E. Can patients really participate in sport after high tibial osteotomy? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):64–73. doi:10.1007/s00167-011-1461-9
125. Kim MS, Koh IJ, Sohn S, Jeong JH, In Y. Unicompartmental knee arthroplasty is superior to high tibial osteotomy in post-operative recovery and participation in recreational and sports activities. *Int Orthop.* 2018. doi:10.1007/s00264-018-4272-5
Cited in: PubMed; PMID 30565177.
126. Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin.* 1992;112(1):155–9.
doi:10.1037//0033-2909.112.1.155
127. Yacobucci GN, Cocking MR. Union of medial opening-wedge high tibial osteotomy using a corticocancellous proximal tibial wedge allograft. *Am J Sports Med.* 2008;36(4):713–9. doi:10.1177/0363546507312646 Cited in: PubMed; PMID 18227231.
128. Lee SC, Am Jung K, Nam CH, Jung SH, Hwang SH. The short-term follow-up results of open wedge high tibial osteotomy with using an Aescula open wedge plate and an allogenic bone graft: The minimum 1-year follow-up results. *Clin Orthop Surg.* 2010;2(1):47–54. doi:10.4055/cios.2010.2.1.47 Cited in: PubMed; PMID 20191001.

129. Ydo V, Kleinlugtenbelt, Vanessa A.B, Scholtes, Jay Toor, Christian Amaechi, Mario Maas, Mohit Bhandari, Rudolf W. Poolman, Peter Kloen. Does Computed Tomography Change our Observation and Management of Fracture Non-Unions? *Archives of Bone and Joint Surgery* [Internet]. 2016;4(4):337. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5100449/> Cited in: PubMed; PMID 27847846.
130. Santic V, Tudor A, Sestan B, Legovic D, Sirola L, Rakovac I. Bone allograft provides bone healing in the medial opening high tibial osteotomy. *Int Orthop*. 2010;34(2):225–9. doi:10.1007/s00264-009-0916-9 Cited in: PubMed; PMID 19997733.
131. Am Jung K, Lee SC, Ahn NK, Hwang SH, Nam CH. Radiographic healing with hemispherical allogeneic femoral head bone grafting for opening-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy*. 2010;26(12):1617–24. doi:10.1016/j.arthro.2010.05.025 Cited in: PubMed; PMID 20970947.
132. Goshima K, Sawaguchi T, Shigemoto K, Iwai S, Fujita K, Kataoka T. Plate removal without loss of correction after open-wedge high tibial osteotomy is possible when posterior cortex bone union reaches osteotomy gap center even in incompletely filled gaps. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(6):1827–34. doi:10.1007/s00167-019-05615-y Cited in: PubMed; PMID 31273409.
133. Lee O-S, Lee KJ, Lee YS. Comparison of bone healing and outcomes between allogeneous bone chip and hydroxyapatite chip grafts in open wedge high tibial osteotomy. *J Mater Sci Mater Med*. 2017;28(12):189. doi:10.1007/s10856-017-5998-0 Cited in: PubMed; PMID 29101660.
134. Lee S-S, So S-Y, Jung E-Y, Seo M, Lee BH, Shin H, Wang JH. The efficacy of porous hydroxyapatite chips as gap filling in open-wedge high tibial osteotomy in terms of clinical, radiological, and histological criteria. *Knee*. 2020. doi:10.1016/j.knee.2019.12.008
135. Takeuchi R, Ishikawa H, Aratake M, Bito H, Saito I, Kumagai K, Akamatsu Y, Saito T. Medial opening wedge high tibial osteotomy with early full weight bearing. *Arthroscopy*. 2009;25(1):46–53. doi:10.1016/j.arthro.2008.08.015 Cited in: PubMed; PMID 19111218.
136. Noyes FR, Mayfield W, Barber-Westin SD, Albright JC, Heckmann TP. Opening wedge high tibial osteotomy: An operative technique and rehabilitation program to decrease complications and promote early union and function. *Am J Sports Med*.

- 2006;34(8):1262–73. doi:10.1177/0363546505286144 Cited in: PubMed; PMID 16493168.
137. Kanto R, Nakayama H, Iseki T, Onishi S, Ukon R, Kanto M, Kambara S, Yoshiya S, Tachibana T. Return to sports rate after opening wedge high tibial osteotomy in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(2):381–8. doi:10.1007/s00167-020-05967-w Cited in: PubMed; PMID 32248273.
138. Bockmann B, Nebelung W, Boese CK, Schulte TL, Venjakob AJ. Planning Results for High Tibial Osteotomies in Degenerative Varus Osteoarthritis Using Standing and Supine Whole Leg Radiographs. *Orthop Surg.* 2021;13(1):77–82. doi:10.1111/os.12833 Cited in: PubMed; PMID 33258229.
139. Lee D-Y, Lee MC, Ha C-W, Kyung H-S, Kim C-W, Chang MJ, Han H-S. Comparable bone union progression after opening wedge high tibial osteotomy using allogeneous bone chip or tri-calcium phosphate granule: A prospective randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018. doi:10.1007/s00167-018-5254-2 Cited in: PubMed; PMID 30377715.
140. Ji W, Luo C, Zhan Y, Xie X, He Q, Zhang B. A residual intra-articular varus after medial opening wedge high tibial osteotomy (HTO) for varus osteoarthritis of the knee. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(6):743–50. doi:10.1007/s00402-018-03104-4 Cited in: PubMed; PMID 30673869.
141. Han S-B, Lee J-H, Kim S-G, Cui C-G, Suh D-W, Lee S-Y, Jang K-M. Patient-reported outcomes correlate with functional scores after opening-wedge high tibial osteotomy: A clinical study. *Int Orthop.* 2017. doi:10.1007/s00264-017-3614-z Cited in: PubMed; PMID 28828747.
142. Schallberger A, Jacobi M, Wahl P, Maestretti G, Jakob RP. High tibial valgus osteotomy in unicompartmental medial osteoarthritis of the knee: A retrospective follow-up study over 13-21 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(1):122–7. doi:10.1007/s00167-010-1256-4 Cited in: PubMed; PMID 20821190.
143. Kohn L, Sauerschnig M, Iskandar S, Lorenz S, Meidinger G, Imhoff AB, Hinterwimmer S. Age does not influence the clinical outcome after high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):146–51. doi:10.1007/s00167-012-2016-4 Cited in: PubMed; PMID 22622776.

144. Gaasbeek RDA, Nicolaas L, Rijnberg WJ, van Loon CJM, van Kampen A. Correction accuracy and collateral laxity in open versus closed wedge high tibial osteotomy. A one-year randomised controlled study. *Int Orthop*. 2010;34(2):201–7. doi:10.1007/s00264-009-0861-7# Cited in: PubMed; PMID 19707760.
145. Kim MK, Ha JK, Lee DW, Nam SW, Kim JG, Lee YS. No correction angle loss with stable plates in open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(7):1999–2006. doi:10.1007/s00167-014-2842-7 Cited in: PubMed; PMID 24477494.
146. Laprade RF, Spiridonov SI, Nystrom LM, Jansson KS. Prospective outcomes of young and middle-aged adults with medial compartment osteoarthritis treated with a proximal tibial opening wedge osteotomy. *Arthroscopy*. 2012;28(3):354–64. doi:10.1016/j.arthro.2011.08.310 Cited in: PubMed; PMID 22169761.
147. Iorio R, Pagnottelli M, Vadalà A, Giannetti S, Di Sette P, Papandrea P, Conteduca F, Ferretti A. Open-wedge high tibial osteotomy: Comparison between manual and computer-assisted techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(1):113–9. doi:10.1007/s00167-011-1785-5 Cited in: PubMed; PMID 22113220.
148. Na YG, Kwak D-S, Chong S, Kim TK. Factors affecting stability after medial opening wedge high tibial osteotomy using locking plate: A cadaveric study. *Knee*. 2019;26(6):1313–22. doi:10.1016/j.knee.2019.07.016
149. Takeuchi R, Bito H, Akamatsu Y, Shiraishi T, Morishita S, Koshino T, Saito T. In vitro stability of open wedge high tibial osteotomy with synthetic bone graft. *Knee*. 2010;17(3):217–20. doi:10.1016/j.knee.2009.09.002 Cited in: PubMed; PMID 19804976.
150. Schröter S, Ateschrang A, Löwe W, Nakayama H, Stöckle U, Ihle C. Early full weight-bearing versus 6-week partial weight-bearing after open wedge high tibial osteotomy leads to earlier improvement of the clinical results: A prospective, randomised evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(1):325–32. doi:10.1007/s00167-015-3592-x Cited in: PubMed; PMID 25854499.
151. Ekhtiari S, Haldane CE, Sa D de, Simunovic N, Musahl V, Ayeni OR. Return to Work and Sport Following High Tibial Osteotomy: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(18):1568–77. doi:10.2106/JBJS.16.00036 Cited in: PubMed; PMID 27655985.

152. Faschingbauer M, Nelitz M, Urlaub S, Reichel H, Dornacher D. Return to work and sporting activities after high tibial osteotomy. *Int Orthop*. 2015;39(8):1527–34. doi:10.1007/s00264-015-2701-2 Cited in: PubMed; PMID 25716109.
153. Schröter S, Mueller J, van Heerwaarden R, Lobenhoffer P, Stöckle U, Albrecht D. Return to work and clinical outcome after open wedge HTO. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(1):213–9. doi:10.1007/s00167-012-2129-9 Cited in: PubMed; PMID 22810885.
154. Saier T, Minzlaff P, Feucht MJ, Lämmle L, Burghoff M, Ihle C, Imhoff AB, Hinterwimmer S. Health-related quality of life after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(3):934–42. doi:10.1007/s00167-015-3938-4 Cited in: PubMed; PMID 26714820.
155. Warme BA, Aalderink K, Amendola A. Is there a role for high tibial osteotomies in the athlete? *Sports Health*. 2011;3(1):59–69. doi:10.1177/1941738109358380 Cited in: PubMed; PMID 23015992.
156. Giuseffi SA, Replogle WH, Shelton WR. Opening-Wedge High Tibial Osteotomy: Review of 100 Consecutive Cases. *Arthroscopy*. 2015;31(11):2128–37. doi:10.1016/j.arthro.2015.04.097 Cited in: PubMed; PMID 26111594.
157. Schuster P, Schulz M, Mayer P, Schlumberger M, Immendoerfer M, Richter J. Open-Wedge High Tibial Osteotomy and Combined Abrasion/Microfracture in Severe Medial Osteoarthritis and Varus Malalignment: 5-Year Results and Arthroscopic Findings After 2 Years. *Arthroscopy*. 2015;31(7):1279–88. doi:10.1016/j.arthro.2015.02.010 Cited in: PubMed; PMID 25861712.
158. Hevesi M, Macalena JA, Wu IT, Camp CL, Levy BA, Arendt EA, Stuart MJ, Krych AJ. High tibial osteotomy with modern PEEK implants is safe and leads to lower hardware removal rates when compared to conventional metal fixation: A multi-center comparison study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018. doi:10.1007/s00167-018-5329-0 Cited in: PubMed; PMID 30552468.
159. Deutsches Institut für Zell-und Gewebeersatz. Gebührenliste Transplantate 2022; 2022.
160. Staubli AE, Simoni CD, Babst R, Lobenhoffer P. TomoFix: A new LCP-concept for open wedge osteotomy of the medial proximal tibia – early results in 92 cases. *Injury*. 2003;34:55–62. doi:10.1016/j.injury.2003.09.025
161. Egloff C. Allgemeine Prinzipien. In: AGA-Knie-Arthrose/Gelenkerhalt-Komitee, editor. *Kniegelenksnahe Osteotomien*. p. 45–7.

9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

• <i>Abb. 1</i> Darstellung von Achsverhältnissen.....	8
• <i>Abb. 2</i> Darstellung der Planungsmethode nach Miniaci et al.....	21
• <i>Abb. 3</i> Biplanar öffnende Technik.....	22
• <i>Abb. 4</i> Veränderungen des Tibia Slope.....	23
• <i>Abb. 5</i> Messung des mLDFW und des mMPTW.....	27
• <i>Abb. 6</i> Messung des Tibia Slope.....	28
• <i>Abb. 7</i> 47-jähriger Patient ohne Auffüllung nach 6 Wo und 28-jährige Patientin mit Auffüllung nach 6 Wo.....	28
• <i>Abb. 8</i> Ausschlüsse von der Studie.....	34
• <i>Abb. 9</i> Anzahl Patienten mit vollständiger Durchbauung in %.....	39
• <i>Abb. 10</i> mLDFW prä- und postoperativ.....	39
• <i>Abb. 11</i> mMPTW prä- und postoperativ.....	40
• <i>Abb. 12</i> Tibia Slope prä- und postoperativ.....	40
• <i>Abb. 13</i> subjektiver IKDC 2000 Score im zeitlichen Verlauf.....	41
• <i>Abb. 14</i> Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score im zeitlichen Verlauf.....	42
• <i>Abb. 15</i> Tegner-Aktivitätsscore im zeitlichen Verlauf.....	44
• <i>Abb. 16</i> Bewegungsumfang präoperativ und bei Plattenentfernung.....	45
• <i>Abb. 17</i> Komplikationen.....	50

10. TABELLENVERZEICHNIS

• <i>Tabelle 1</i> Demographische Daten.....	35
• <i>Tabelle 2</i> Operationsspezifische Daten.....	37
• <i>Tabelle 3</i> Knöchelne Durchbauung des Osteotomiespalts.....	38
• <i>Tabelle 4</i> Subjektiver IKDC 2000 Score.....	41
• <i>Tabelle 5</i> Cincinnati-Sportsmedicine and Orthopedic Center-Score.....	42
• <i>Tabelle 6</i> Tegner-Aktivitätsscore.....	43
• <i>Tabelle 7</i> Subjektive Patientenzufriedenheit.....	44
• <i>Tabelle 8</i> Rückkehr zur Arbeit.....	46
• <i>Tabelle 9</i> Rückkehr zum Sport.....	48
• <i>Tabelle 10</i> Korrelationen.....	52

11. ANHANG

2000 IKDC SUBJEKTIVER KNIE-UNTERSUCHUNGSBOGEN

Name	Geburts-tag	Bogen vom Patienten auszufüllen	Untersuchungsdatum	Arzt
	_ _ _		Tag_ Mon_ Jahr_ _	
SYMPTOME	<p>1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?</p> <p><input type="checkbox"/> Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)</p> <p><input type="checkbox"/> Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis</p> <p><input type="checkbox"/> Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen</p> <p><input type="checkbox"/> Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit</p> <p><input type="checkbox"/> Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.</p>			
	<p>2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?</p> <p>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).</p> <p>Nie 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ständig Schmerzen</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p>			
	<p>3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?</p> <p>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).</p> <p>Keine Schmerzen 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 unerträgliche Schmerzen</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p>			
	<p>4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung?</p> <p><input type="checkbox"/> überhaupt nicht</p> <p><input type="checkbox"/> etwas</p> <p><input type="checkbox"/> ziemlich</p> <p><input type="checkbox"/> sehr</p> <p><input type="checkbox"/> extrem</p>			
	<p>5. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?</p> <p><input type="checkbox"/> Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)</p> <p><input type="checkbox"/> Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis</p> <p><input type="checkbox"/> Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen</p> <p><input type="checkbox"/> Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit</p> <p><input type="checkbox"/> Ich kann aufgrund eines geschwollenen Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.</p>			
	<p>6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung ein blockiertes Knie oder ist Ihr Knie aus- und wieder eingeschnappt?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p>			
	<p>7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?</p> <p><input type="checkbox"/> Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)</p> <p><input type="checkbox"/> Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis</p> <p><input type="checkbox"/> Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen</p> <p><input type="checkbox"/> Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit</p> <p><input type="checkbox"/> Ich kann aufgrund der Knieschwäche keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.</p>			

Stand: 2011-10-27

2000 IKDC SUBJEKTIVER KNIE-UNTERSUCHUNGSBOGEN

Name	Geburstag _ _ _ _	Bogen vom Patienten auszufüllen	Untersuchungsdatum Tag_ _ Mon_ _ Jahr_ _ _ _	Arzt _____
-------------	------------------------------	------------------------------------	--	----------------------

SPORTLICHE AKTIVITÄT	8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?											
	<input type="checkbox"/> Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball) <input type="checkbox"/> Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis <input type="checkbox"/> Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen <input type="checkbox"/> Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit <input type="checkbox"/> Ich kann aufgrund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.											
SPORTLICHE AKTIVITÄT	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. Hinknien	<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											
	Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	0 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>	9 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>
DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES												
Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	0 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>	9 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>	Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten

TEGNER-AKTIVITÄTSSCORE

Name	Geburtstag <small> Tag__ Mon__ Jahr__ </small>	Untersuchungsdatum <small> Tag__ Mon__ Jahr__ </small>	Arzt
Bitte das Ergebnis unten eintragen			
SCORING	Nationale oder internationale Turniere	Fußball, Hallenballsport mit Gegnerkontakt (Handball, Basketball)	10
	Nationale oder internationale Turniere	Abfahrtslauf, Hallenballsport ohne Gegnerkontakt (Squash, Badminton, Eishockey)	9
	Regionale Turniere	Fußball, Hallenballsport mit Gegnerkontakt	
	Turniersport	Hallen-Ballsport ohne Gegnerkontakt, Eishockey, Abfahrtslauf	8
	Turniersport	Tennis, Turnen, Ringen, Leichtathletik	7
	Freizeitsport	Fußball, Hallen-Ballsport, Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf	
	Freizeitsport	Tennis, Leichtathletik, Turnen, Jogging mindestens 5 mal wöchentlich	6
	Arbeit	schwere körperliche Arbeit (Bau, Waldarbeit)	
	Turniersport	Radfahren, Langlauf, Rudern	5
	Freizeitsport	Jogging auf unebenem Boden 2 mal die Woche	
	Arbeit	mittelschwere körperliche Arbeit (LKW-Fahrer, Bodenreinigung)	
	Freizeitsport:	Radfahren, Langlauf, Joggen auf ebenem Boden 2 mal wöchentlich	4
	Arbeit	leichte körperliche Arbeit (Verkäufer)	
	Turnier- und Freizeitsport	Schwimmen auf unebenem Gelände, Waldspaziergänge	3
Arbeit	überwiegend stehende, körperliche Arbeit		
Gehen	auf unebenem Boden	2	
Arbeit	sitzende Tätigkeit		
Gehen	auf ebenem Boden	1	
Arbeit	krank geschrieben auf Grund von Knieproblemen	0	
Ergebnis:			—

CINCINNATI-SPORTSMEDICINE AND ORTHOPEDIC CENTER-SCORE

Name	Geburtstag		Untersuchungsdatum	Arzt
	_ _ _ _		Tag_ Mon_ Jahr_ _	
SCHMERZEN	<input type="checkbox"/> Keine Schmerzen, normales Knie, 100-% Funktion <input type="checkbox"/> Gelegentlich Beschwerden beim Leistungssport bzw. schwerer Arbeit <input type="checkbox"/> Gelegentlich Beschwerden beim Freizeitsport bzw. mäßiger Arbeit, häufig bei anstrengenden Tätigkeiten, Joggen, Leistungssport <input type="checkbox"/> Schmerzen beim Freizeitsport, mäßiger Arbeit, gelegentlich beim Gehen, Stehen oder leichter Arbeit <input type="checkbox"/> Schmerzen bei allen Aktivitäten sogar beim Gehen, Schmerzlinderung in Ruhe, Unfähigkeit zur sportlichen Betätigung <input type="checkbox"/> Ständig Schmerzen, beim Stehen, Gehen und bei Nacht, keine Schmerzlinderung in Ruhe			
SCHWELLUNG/ GELENKERGUSS	<input type="checkbox"/> Keine Schwellung/ Gelenkerguss, normales Knie, 100% Funktion <input type="checkbox"/> Gelegentliche Schwellung/ Gelenkerguss beim Leistungssport bzw. schwerer Arbeit <input type="checkbox"/> Gelegentliche Schwellung/ Gelenkerguss beim Freizeitsport bzw. mäßiger Arbeit, häufig bei anstrengenden Tätigkeiten, Joggen, Leistungssport <input type="checkbox"/> Schwellung/ Gelenkerguss beim Freizeitsport, mäßiger Arbeit, gelegentlich (ca. 3mal/ Jahr) beim Gehen, Stehen oder leichter Arbeit <input type="checkbox"/> Auftreten von Schwellung/ Gelenkerguss beim Gehen und leichter Arbeit, Abschwellen in Ruhe <input type="checkbox"/> Ständig schwere Probleme			
INSTABILITÄT/ GIVING WAY	<input type="checkbox"/> Keine Instabilität, normales Knie, 100% Funktion <input type="checkbox"/> Gelegentliche Instabilität beim Leistungssport bzw. schwerer Arbeit, Teilnahme an allen Sportarten unter Berücksichtigung von Einschränkungen möglich <input type="checkbox"/> Gelegentliche Instabilität beim Freizeitsport bzw. mäßiger Arbeit, Möglichkeit zur Kompensation, plötzliches Stoppen oder Umdrehen nicht möglich <input type="checkbox"/> Instabilität mit Einschränkungen beim Freizeitsport bzw. mäßigen Arbeit, gelegentlich (ca. 3 mal/Jahr) beim Gehen, Stehen oder leichter Arbeit <input type="checkbox"/> Instabilität bei allen Aktivitäten und bei leichter Arbeit mindestens 1mal/ Monat <input type="checkbox"/> Ständige Instabilität beim einfachen Gehen, Umkehren oder Drehen beim Gehen ohne Instabilitätsgefühl unmöglich			
FUNKTION	<p>Gehen</p> <input type="checkbox"/> Normal, keine Einschränkungen <input type="checkbox"/> Leichte/ milde Probleme <input type="checkbox"/> Mäßige Probleme, Gehen auf ebener Strecke zw. 500 und 1000 Meter OK <input type="checkbox"/> Schwere Probleme, Gehen nur 2-3 Häuserblocks möglich <input type="checkbox"/> Schwere Probleme, Gehstöcke erforderlich			
	<p>Treppensteigen</p> <input type="checkbox"/> Normal, keine Einschränkungen <input type="checkbox"/> Leichte/ milde Probleme <input type="checkbox"/> Mäßige Probleme, nur 10-15 Stufen möglich <input type="checkbox"/> Schwere Probleme, nur mit Treppengeländer oder Unterstützung möglich <input type="checkbox"/> Schwere Probleme, nur 1-5 Stufen möglich			

Stand: 2011-09-30

CINCINNATI-SPORTSMEDICINE AND ORTHOPEDIC CENTER-SCORE

Name	Geburstag _ _ _ _	Untersuchungsdatum Tag_ _ Mon_ _ Jahr_ _ _	Arzt _____
------	-----------------------	--	---------------

FUNKTION	<p>Laufen/ Joggen</p> <p><input type="checkbox"/> Normal, keine Einschränkungen</p> <p><input type="checkbox"/> Leichte/ milde Probleme: Laufen mit halber Geschwindigkeit</p> <p><input type="checkbox"/> Mäßige Probleme, nur 2 km möglich</p> <p><input type="checkbox"/> Schwere Probleme, nur 1-2 Häuserblocks möglich</p> <p><input type="checkbox"/> Schwere Probleme, nur ein Paar Schritte</p>
FUNKTION	<p>Sprung- und Kontaktsportarten</p> <p><input type="checkbox"/> Normal, keine Einschränkungen</p> <p><input type="checkbox"/> Leichte/ milde Probleme: vereinzelt Einschränkungen, Leistungssport OK</p> <p><input type="checkbox"/> Mäßige Probleme; Aufgabe von Leistungssport, Freizeitsport OK</p> <p><input type="checkbox"/> Schwere Probleme; Aufgabe sämtlicher Sportarten</p> <p><input type="checkbox"/> Schwere Probleme; nur leichte Freizeitaktivitäten möglich (Golf, Schwimmen)</p>
AKTIVITÄTSNIVEAU (GENERELL)	<p><input type="checkbox"/> Keine Einschränkungen, normales Knie, 100% Funktion, gelegentlich Beschwerden beim Leistungssport bzw. schwerer Arbeit</p> <p><input type="checkbox"/> Ausüben von Sport und schwerer Arbeit möglich, aber auf einem niedrigeren Level unter Berücksichtigung von Einschränkungen bei schwerer Tätigkeit</p> <p><input type="checkbox"/> Freizeitsport möglich mit geringen Symptomen, anstrengendere Sportarten verursachen Beschwerden. Einschränkungen bei mäßiger körperlicher Arbeit</p> <p><input type="checkbox"/> Kein Sport oder Freizeitaktivitäten möglich. Gehen mit geringen Beschwerden möglich, Einschränkungen bei leichter Arbeit (Büro)</p> <p><input type="checkbox"/> Gehen und Aktivitäten des täglichen Lebens verursachen mäßige Beschwerden, regelmäßige Einschränkungen</p> <p><input type="checkbox"/> Gehen und Aktivitäten des täglichen Lebens verursachen schwere Beschwerden, ständige Symptome</p>

Abschließender Zusatzfragebogen

Allgemeine Angaben

Größe: _____

Gewicht: _____

Rauchen Sie? Ja, ca. Zigaretten pro Tag, seit ca. Jahren

Nein

Trinken Sie Alkohol? Nie Gelegentlich Regelmäßig

Nebenerkrankungen: _____

Medikamente: _____

Ist seit der Umstellungsosteotomie und ggf. der Plattenentfernung eine weitere Operation (z.B.: Einbau einer Knieprothese) am betroffenen Knie erfolgt? Wenn ja, welche und wann?

Patientenzufriedenheit

Wie zufrieden sind Sie mit dem Gesamtergebnis Ihrer Umstellungsoperation?

Sehr zufrieden

Zufrieden

Ausreichend zufrieden

Unzufrieden

Sehr unzufrieden

Würden Sie sich der Operation noch einmal unterziehen?

Ja

Nein

Wie würden Sie den Gesamtzustand Ihres Knies in Prozent bewerten (ein gesundes Knie hat 100%)? _____

Wie stark sind Ihre Schmerzen in Ruhe, auf einer Skala von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkste vorstellbare Schmerzen)? _____

Wie stark sind Ihre Schmerzen bei Bewegung, auf einer Skala von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkste vorstellbare Schmerzen)? _____

Aktivitätsniveau

Welche Sportart(en) betreiben Sie?

Vor der OP: _____

Nach der OP: _____

Wie oft pro Woche treiben Sie Sport?

Vor der OP: _____

Nach der OP: _____

Auf welchem Niveau treiben Sie Sport:

Vor der OP: Hochleistungssport Vereinssport Gelegenheitssport keinen

Nach der OP: Hochleistungssport Vereinssport Gelegenheitssport keinen

Wie viele Wochen hat es gedauert bis Sie nach der Umstellung wieder sportlich Aktiv werden konnten? _____

Wie viele Wochen hat es gedauert, bis Sie nach der Umstellung komplett auf Krücken verzichten konnten? _____

Was arbeiten Sie? _____

Wie würden Sie Ihre berufliche Tätigkeit beschreiben?

überwiegend sitzende Tätigkeit

überwiegend stehende Tätigkeit

körperlich belastende Tätigkeit

Wie viele Wochen waren Sie nach der Operation krank geschrieben? _____

Konnten Sie nach der OP wieder in Ihren bisherigen Beruf zurückkehren?

Ja

Nein, ich arbeite seitdem als _____

Haben Sie nun nach der Operation Einschränkungen bei der Arbeit (z.B: kein langes Stehen/Sitzen möglich)? _____