

Autologe osteochondrale Transplantation am Talus - Klinische und radiologische Evaluation nach mindestens 18 Jahren Follow-up

Daniela Walzl

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der Technischen Universität München zur Erlangung einer
Doktorin der Medizin (Dr. med.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: apl. Prof. Dr. Stefan Thorban

Prüfende der Dissertation:

1. Priv.- Doz. Dr. Andrea E. Achtnich
2. Priv.- Doz. Dr. Moritz Crönlein

Die Dissertation wurde am 20.12.2023 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am 14.03.2024 angenommen.

Sektion Sportorthopädie der Technischen Universität München

Klinikum rechts der Isar

(Vorstand: Prof. Dr. Sebastian Siebenlist)

**Autologe osteochondrale Transplantation am Talus -
Klinische und radiologische Evaluation nach mindestens
18 Jahren Follow-up**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Medizinischen Fakultät
der Technischen Universität München

Daniela Walzl

Ich widme diese Arbeit meiner Mutter Christine, meinem Vater Josef und meiner Schwester Sandra sowie meinen Großeltern Maria Elisabeth und Helmuth.

Verzeichnis der Abkürzungen

A:	Fläche
Abb.:	Abbildung
AOFAS:	American Orthopaedic Foot and Ankle Society
AHS:	Ankle Hindfoot Scale
AF:	Arteria fibularis
ATA:	Arteria tibialis anterior
ATP:	Arteria tibialis posterior
BMI:	Body-Mass-Index
BMS:	bone marrow stimulation
bzw.:	beziehungsweise
bzgl.:	bezüglich
ca.:	circa
cm:	Zentimeter
FAOS:	Foot-and-Ankle-Outcome Score
FU:	Follow-up
HA:	Hyaluronsäure
ICRS:	International Cartilage Regeneration & Joint Preservation Society
i.d.R.	in der Regel
kg:	Kilogramm
KG:	Kniegelenk
lat.:	lateral
med.	medial
mm:	Millimeter
MOCART:	Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue
MW:	Mittelwert
MRT:	Magnetresonanztomographie
n:	Anzahl
Nr.:	Nummer
OA:	Osteoarthritis
OAT:	Autologe osteochondrale Transplantation
OATS:	Osteochondral autograft transfer system (Firma Arthrex)
OCL:	Osteochondrale Läsion

OD(T):	Osteochondrosis dissecans (tali)
OLT:	Osteochondrale Läsion des Talus
OP:	Operation
OSG:	Oberes Sprunggelenk
P.:	Punkte
PRO:	Patient Reported Outcome
PRP:	Plättchenreiches Plasma
ROM:	Range of motion/Bewegungsumfang
SD:	Standardabweichung
Tab.:	Tabelle
TSE:	Turbo Spin Echo
tgl.:	täglich
USG:	Unteres Sprunggelenk
VAS:	Visuell Analoge Schmerzskala
vgl.:	vergleiche
z.B.:	zum Beispiel
°:	Grad

Glossar

Arthrose	Degenerative Gelenksveränderung mit Knorpelabbau
Arthrodese	Gelenksversteifung
Debridement	Chirurgische Reinigung eines Infekts, einer Wunde oder eines Defekts
Follow-up	Zeit zwischen Operation und Nachuntersuchung
ipsilateral	Gleiche Seite
osteocondral	Knochen und Knorpel betreffend
Time to failure	Zeit zwischen Indexeingriff und klinischem Versagen
Grenzlamelle	Bereich zwischen Knorpel und Knochen
Dissekat	freies Knorpel-Knochen-Fragment
Revision	(lat. revidere = wiedersehen) erneuter i.d.R. chirurgischen Eingriff nach einer bereits erfolgten Therapie

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

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Epidemiologie	1
1.2	Anatomie und Biomechanik des Talus.....	2
1.3	Osteochondrale Schäden	4
1.3.1	Ätiologie	6
1.3.2	Therapiemöglichkeiten	11
1.3.3	Autologe osteochondrale Transplantation am Talus	14
1.4	Stand der Forschung	16
2	FRAGESTELLUNG	18
3	MATERIAL UND METHODEN	19
3.1	Studiendesign	19
3.1.1	Patientenkollektiv	20
3.1.2	Operationsdaten.....	21
3.2	Operationstechnik.....	21
3.3	Rehabilitation	25
3.4	Patientenbefragung	26
3.5	Klinische Untersuchung	26
3.6	Fragebögen und Scores	27
3.7	Radiologische Untersuchung	32
3.8	Statistische Auswertung	34
4	ERGEBNISSE	36
4.1	Patientenkollektiv	36

4.2	Ergebnisse der Operationsdaten	37
4.3	Ergebnisse der Patientenbefragung	38
4.4	Ergebnisse der klinischen Untersuchung.....	40
4.5	Ergebnisse der Fragebögen und Scores	40
4.6	Radiologische Ergebnisse	42
4.7	Komplikationen und Revisionen.....	43
4.8	Korrelationsanalyse	44
5	DISKUSSION.....	47
5.1	Limitationen dieser Studie.....	53
6	SCHLUSSFOLGERUNG	55
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	56
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	58
9	TABELLENVERZEICHNIS.....	59
10	LITERATUR.....	60
11	ANHANG	66
12	DANKSAGUNG	75

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie

Täglich erleidet einer von 10.000 Menschen eine Verletzung am Knöchel (Katcherian, 1994). Dabei sind junge Personen und Sportler besonders oft betroffen (O'Loughlin, Heyworth, & Kennedy, 2010). Häufig kann aus Verletzungen des Sprunggelenks im zeitlichen Verlauf eine osteochondrale Läsion des Talus (OLT) entstehen (Looze et al., 2017). Unbehandelt führt diese zu einer Verschlechterung der Gelenksfunktion mit einem rasch voranschreitenden degenerativen Gelenkverschleiß und einer Sprunggelenksarthrose als Endresultat. Für den sozialen, beruflichen und sportlichen Alltag ist die Vermeidung einer Progression der Talus Läsion daher von höchster Priorität. Aufgrund des eingeschränkten intrinsischen Heilungspotentials von Knorpelgewebe und der hohen Druckbelastung im Gelenk, stellt die Behandlung der OLT eine Herausforderung dar (Looze et al., 2017). Kleine, nicht-dislozierte osteochondrale Defekte werden häufig initial konservativ therapiert (Zengerink, Struijs, Tol, & Van Dijk, 2010). Um eine Verschlechterung der Sprunggelenksfunktion zu verhindern, sollte insbesondere bei größeren Defekten frühzeitig eine operative Therapie eingeleitet werden. Knochenmarksstimulierende Verfahren (BMS) kommen bei kleineren Defekten (< 150 mm²) mit oder ohne biologische oder matrix-gestützte Augmentation zur Anwendung (Becher, Malahias, Ali, Maffulli, & Thermann, 2019; Choi, Park, Kim, & Lee, 2009; Guney, Akar, Karaman, Oner, & Guney, 2015). Bei ausgedehnten subchondralen Knorpelschäden am Talus oder fehlgeschlagener Voroperationen, ist die autologe osteochondrale-Transplantation (OAT) die einzige Möglichkeit zur gelenkserhaltenden Therapie. Als einzeitiges Verfahren stellt es durch die Transplantation autologer osteochondraler Zylinder, die biomechanischen Eigenschaften der natürlichen Knorpel-Knochen-Einheit wieder her (Murawski & Kennedy, 2013).

1.2 Anatomie und Biomechanik des Talus

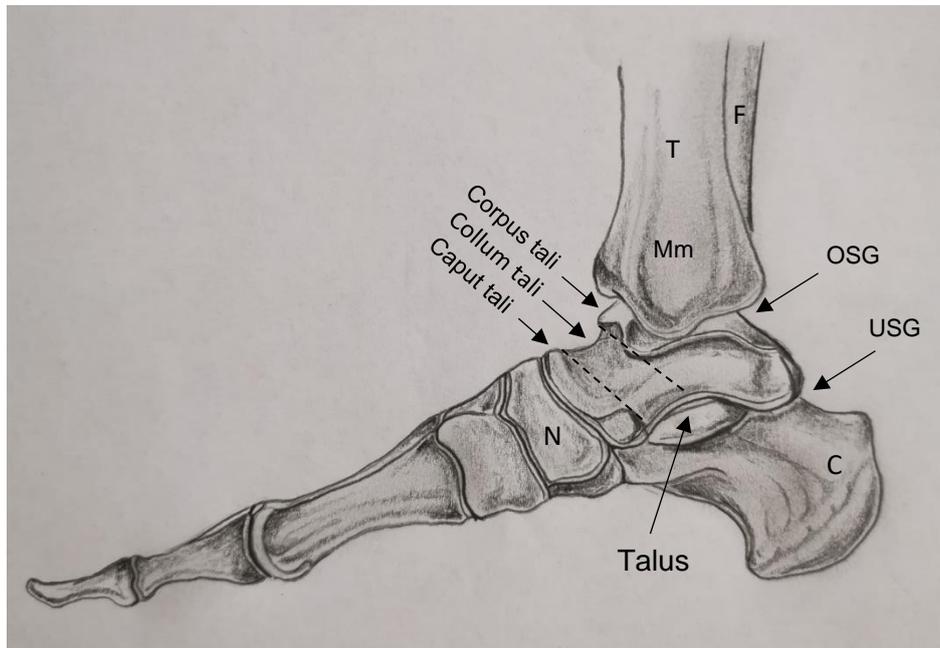


Abbildung 1: Anatomie des Fußes und Einteilung des Talus

Ansicht von medial. OSG, Oberes Sprunggelenk; USG, Unteres Sprunggelenk; C, Calcaneus; N, Os naviculare; Mm, Malleolus medialis; T, Tibia; F, Fibula. Quelle: in Anlehnung an Prometheus (Prometheus)

Der Talus (Sprungbein) ist ein bikonvexer Knochen der proximalen Reihe der Fußwurzelknochen und in drei Teile unterteilt: Caput tali (Kopf), Collum tali (Hals) und Corpus tali (Körper). Die obere Fläche des Taluskörper ist abgerundet und wird als trochlea tali (Talusrolle/-kuppel) bezeichnet. Zusammen mit dem Os naviculare (Kahnbein) und dem Calcaneus (Fersenbein) ist der Talus Teil des unteren Sprunggelenks (USG). Als Radgelenk ermöglicht das USG die Pronation/Eversion (5 - 10 °) und Supination/Inversion (25 - 30 °) des Fußes. Die Trochlea tali mit ihren medialen und lateralen Gelenkfacetten (= mediale und laterale Talusschulter) bildet zusammen mit der Malleolengabel (Malleolus medialis tibiae, distale Gelenkfläche der Tibia und Malleolus lateralis fibulae) das obere Sprunggelenk (OSG). Als Scharniergelenk dient das OSG der Dorsalextension (10 – 25 °) und Plantarflexion (40 – 55 °) (Brill & Hempfling, 2016). Die Talusrolle ist trapezförmig, wobei der anteriore Anteil durchschnittlich 2,5 mm

breiter als der posteriore Durchmesser ist (Santrock, Buchanan, Lee, & Berlet, 2003). Aufgrund der fehlenden Ansatzstellen von Sehnen ist der Talus mit seinen multiplen Gelenkflächen zu ungefähr 60 % mit hyalinem Knorpel überzogen (Looze et al., 2017). Die Knorpeldicke wird mit 1,2 mm (1,0 - 1,6) geschätzt und hat seine dickste Ausprägung über den Talusschultern (O'Loughlin et al., 2010; Shepherd & Seedhom, 1999). Die Betrachtung eines physiologischen Gangbildes zeigt, dass das obere Sprunggelenk und somit die Gelenkfläche des Talus mit dem 3,9 - fachen des Körpergewichts belastet wird (Procter & Paul, 1982). Es ist Aufgabe des Talus beim Stehen und Gehen, die durch das Körpergewicht einwirkenden Kräfte auf das Fußgewölbe zu übertragen. Dies führt zu beträchtlichen Druckbelastungen innerhalb des Gelenks, was einen intakten Knorpelüberzug für die Langlebigkeit des Gelenks voraussetzt. Ein wichtiger Faktor dafür ist die Elastizität des hyalinen Knorpels, welche durch seine physiologische Zusammensetzung ermöglicht wird. 75 % des Knorpelgewebes bestehen aus Knorpelflüssigkeit mit Wasser, in welches die Knorpelmatrix aus Chondrozyten, Kollagen, Hyaluronsäure und Proteoglykanen eingebettet ist (Van Dijk, Reilingh, Zengerink, & Van Bergen, 2010). Der hyaline Knorpel ist über eine Grenzlamelle mit dem subchondralen Knochen verbunden. Unter Druck strömt Wasser aus dem Knorpel aus, unter Entlastung kommt es zum Rückstrom. Dieser Flüssigkeitsaustausch ist auch maßgeblich für die Nährstoffversorgung der chondralen Schicht des Talus verantwortlich, denn der Knorpel ist nicht vaskularisiert (Van Dijk et al., 2010). Die Blutversorgung des Talus ist sehr inhomogen. Das Caput und Collum tali werden durch Äste aus der Arteria tibialis anterior (ATA) versorgt. Die Vaskularisation des Corpus tali besteht zu einem großen Teil aus Ästen der ATA, welche über die Gelenksoberfläche in den subchondralen Knochen eindringen. Zusätzlich gibt die Arteria tibialis posterior (ATP) Gefäßäste ab (Arteria canalis tarsi mit der Arteria deltoidea), welche mit der

Arteria sinus tarsi (Ast der ATA) und Arteria fibularis anastomosieren und ebenfalls den Taluskörper versorgen (Gelberman & Mortensen, 1983). Lomax et al. zeigten, dass die Durchblutung der subchondralen Talusrolle sehr ungleichmäßig ist. Die schlechteste Perfusion zeigten die zentromedialen und posteromedialen Anteile der Talusrolle (Lomax, Miller, Fogg, Madeley, & Kumar, 2014).

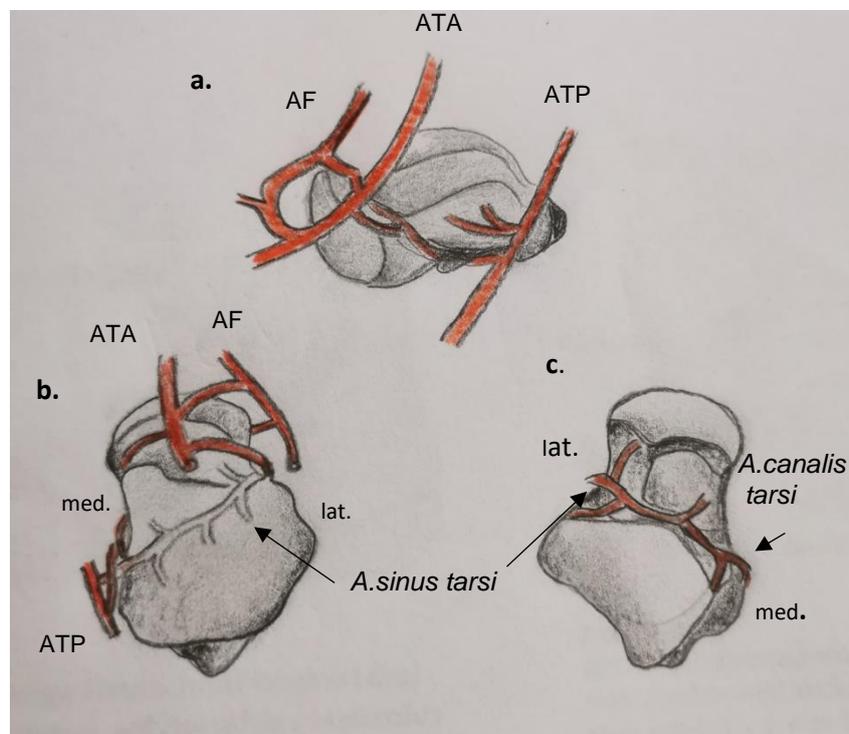


Abbildung 2: Arterielle Versorgung des Talus.

a. Ansicht von medial; b. Ansicht von oben; c. Ansicht von unten. ATA, Arteria tibialis anterior; ATP, Arteria tibialis posterior; AF, Arteria fibularis; A., Arteria; med., medial; lat., lateral. Quelle: in Anlehnung an Buckley. (Buckley & Sands, 2010).

1.3 Osteochondrale Schäden

Eine osteochondrale Läsion (OCL) ist definiert als ein lokaler Gelenksschaden, der den Knorpel, die Grenzlamelle und den subchondralen Knochen betrifft. Zahlreiche Ursachen können zu diesem Krankheitsbild führen (Looze et al., 2017). Die Bezeichnung OCL stellt damit einen Überbegriff ätiologisch unterschiedlicher Knorpel-

Knochen-Verletzungen dar (Verhagen, Struijs, Bossuyt, & van Dijk, 2003). Grundsätzlich kann sich eine OCL an jedem Gelenk des Körpers manifestieren. Das Obere Sprunggelenk ist nach dem Kniegelenk und dem Ellenbogengelenk die dritthäufigste Lokalisation (Santrock et al., 2003). Während die OCL der distalen Tibia ein seltenes Problem darstellt, ist die Osteochondrale Läsion des Talus eine häufige Pathologie, welche vor allem bei jungen, sportlich aktiven Patienten auftritt (O'Loughlin et al., 2010). Der Krankheitsverlauf ist zeitlich variabel und seine Symptome vielfältig. Am häufigsten werden belastungsabhängige Beschwerden beschrieben. Intermittierende Gelenksschwellungen, rezidivierende Gelenksergüsse sowie ein Instabilitätsgefühl sind typische Symptome. Eine Gelenksblockade durch das Ablösen eines Knorpel-Knochen-Fragments kann vorkommen (Steinhagen, Niggemeyer, & Bruns, 2001). Unbehandelt kann eine osteochondrale Läsion zu einer Verschlechterung der Gelenksfunktion und zu einem voranschreitenden degenerativen Gelenksverschleiß führen.

Am Talus finden sich die OCL primär am Taluskörper (Talusrolle und Taluskante), häufiger medial (60%) als lateral (40%) lokalisiert (Verhagen et al., 2003). Raikin et al. beschrieben anhand eines Neun-Zonenrasters, die Zone 4 (zentromedial) mit über 50 % als häufigste Lokalisation für eine OLT (Raikin et al., 2007). Während laterale Defekte hauptsächlich traumatisch (primäre OCL) bedingt sind, wurden für mediale OLT auch verschiedene atraumatische Ursachen für die Entwicklung eines Knorpel-Knochenschadens (sekundäre OCL) in Betracht gezogen wie beispielsweise eine chronische Bandinstabilität, vaskuläre, metabolische oder genetische Faktoren (Flick & Gould, 1985; Hintermann, Boss, & Schäfer, 2002; Lomax et al., 2014; O'Loughlin et al., 2010; Zengerink et al., 2010).

1.3.1 Ätiologie

Primäre osteochondrale Läsionen

Primäre osteochondrale Defekte am Talus sind traumatisch bedingte Schäden. Sie können sowohl durch ein Einzeltrauma als auch durch repetitive Mikrotraumata verursacht werden. Unterschiedliche traumatische Entstehungsmechanismen werden im folgenden berücksichtigt (Josten & Rose, 1999):

Die *OSG-Distorsion* (Verstauchung/Umknicktrauma) stellt die häufigste Ursache für eine primäre OLT. Schätzungsweise gehen bis zu 50 % der akuten Distorsionen in der Folge mit einem osteochondralen Schaden einher (Saxena & Eakin, 2007). Für die Lokalisation der OLT ist der Unfallmechanismus entscheidend. (Antero) laterale OLT der Talusrolle sind meist flache Läsionen und entstehen typischerweise durch eine Dorsalextension des Fußes mit darauffolgender Rotation der Fibula auf dem Talus (Josten & Rose, 1999). Mediale Läsionen hingegen entstehen durch eine Kombination aus Inversion und Plantarflexion des Fußes. Dabei stößt die (postero) mediale Kuppel auf die Tibiagelenkfläche auf und verursacht meist eine tiefe, schalenförmige Läsion (Santrock et al., 2003). Bedingt durch Scherkräfte im Gelenk, welche durch eine Distorsion auftreten, zeigt sich primär sowohl bei medialen als auch lateralen Läsionen ein reiner Knorpeldefekt bei intaktem subchondralen Knochen. Durch Fissuren im Gelenksknorpel und der Grenzlamelle kann bei jedem Schritt des Patienten Synovialflüssigkeit in den subchondralen Knochen eindringen. Eine repetitive Druckbelastung und die damit verbundene vermehrte subchondrale Flüssigkeitsansammlung führt schließlich zur Entwicklung von subchondralen Zysten. Der synoviale Überdruck behindert die Durchblutung und kann im weiteren Verlauf zur Ablösung eines osteochondralen Fragments führen. Das Endstadium stellt dann die fokale Gelenksarthrose dar

(Valderrabano, Leumann, & Wright, 2008). Darüber hinaus wird als Pathomechanismus eine *osteocondrale Fraktur* beschrieben, welche als Abscherfraktur eine direkte Knorpel- und Knochenverletzung des Talus verursacht (Horisberger, Leumann, Walcher, Pagenstert, & Valderrabano, 2011).

Eine weiterer Erklärungsansatz der primären OLT beginnt mit dem sogenannten „*bone bruise*“. Dieser zeigt sich im MRT als Signalabnormalität des subchondralen gelenknahen Knochens, welche auf eine Knochenkontusion zurückzuführen ist. Stauchungsmechanismen bspw. im Rahmen eines Sturzes führen zu Einblutungen und Mikrofrakturierungen in der Spongiosa und einem daraus resultierenden Knochenmarksödem. Bei wiederholter Belastung und mangelnder Abheilung kann sich in Folge ein Defekt des darüberliegenden Knorpels und somit eine osteocondrale Läsion entwickeln (Miller, Osborne, Gordon, Hinkin, & Brinker, 1998) .

Zuletzt sollte das „*Fußballergelenk*“ als traumatische Ursache der OLT erwähnt werden. Betroffen sind vor allem junge sportliche Patienten, welche durch Sportarten mit hoher Stoßbelastung auf das Sprunggelenk (Fußball, Basketball, Ballett) und hierdurch entstehende repetitive Mikrotraumata eine Entzündung der Gelenksflüssigkeit (Synovialitis) und degenerative Veränderungen im Sinne von Knorpelläsionen entwickeln. Als Folge entstehen arthrotische Veränderungen und osteophysäre Anbauten insbesondere im Bereich der Tibia Vorderkante (Josten & Rose, 1999).

Sekundäre osteocondrale Läsion

Eine *chronisch Bandinstabilität* des Sprunggelenks ist eine häufige sekundäre Ursache einer OLT. Hintermann et al. führte an der Universität Basel bei 148 Patienten, im Zuge einer Bandrekonstruktion bei chronischer OSG- Instabilität, eine Sprunggelenksarthroskopie durch. Dabei fand sich bei 66 - 98 % der Fälle mit chronisch ligamentärer

Instabilität eine fokale Knorpel-Knochendegeneration. Durch kleine Knorpelrisse, welche sekundär durch die Bandinstabilität und die Fehlbelastung des OSG entstanden sind, kommt es wiederum zu einem repetitiven subchondralen Flüssigkeitseintritt und zu zystischen Veränderungen und folglich zu einer OLT. Vermehrt zu finden ist dieser Mechanismus bei medialer Bandinstabilität (Hintermann et al., 2002). Auch eine (zusätzliche) *Varus- oder Valgusachsenfehlstellung im Rückfuß (Malalignment)* kann durch eine dauerhafte Fehlbelastung zu einem Knochen-Knorpelschaden des Talus führen (Pagenstert, Hintermann, Barg, Leumann, & Valderrabano, 2007).

Zum Einfluss der Vaskularität auf die OLT, führte Lomax et al. Untersuchungen bzgl. der subchondralen Blutversorgung des Talus durch. Diese zeigten, dass die Häufigkeitsverteilung der OLT (medial > lateral) mit der Durchblutungssituation des subchondralen Knochens zusammenhängt. Vor allem das zentro- und posteromediale Areal des Talus, zeigten die schlechteste Blutversorgung. Diese Erkenntnis könnte eine *Hypovaskularisation* als weiteren Entstehungsfaktor einer sekundären OLT begründen (Lomax et al., 2014; Verhagen et al., 2003).

Zusätzlich zu den bereits genannten möglichen Ursachen werden eine Vielzahl an atraumatischen, -genetischen, metabolischen und endokrine Risikofaktoren für die Entwicklung einer OLT beschrieben wie zum Beispiel Gelenksfehlstellungen, familiäre Kollagen Abnormalitäten, eine Schilddrüsenunterfunktion oder Störungen des Vitamin D-, Phosphor- oder Parathormonhaushalt (Guettler, Demetropoulos, Yang, & Jurist, 2004; Mubarak & Carroll, 1979; O'Loughlin et al., 2010; TRIAS, MUELLER, & RD, 1961).

Zuletzt sollte noch die Osteochondrosis dissecans als Untergruppe der OCL erwähnt werden, welche weder den traumatischen noch den atraumatischen Ursachen zuzuordnen ist (siehe Seite 10).

Basierend auf den verschiedenen Diagnosemöglichkeiten (Röntgen, MRT, CT, Arthroskopie) wurden im Laufe der Zeit verschiedene Klassifikationssysteme zur Einteilung von chondralen bzw. osteochondralen Läsionen publiziert (Looze et al., 2017). Grundsätzlich wird – wie bereits von Berndt und Harty – zwischen inkompletten und kompletten sowie nicht-dislozierten und dislozierten Läsionen unterschieden (Berndt & Harty, 1959). Im klinischen Alltag finden heute die Einteilungen der osteochondralen Läsionen nach der International Cartilage Regeneration & Joint Preservation Society (ICRS) (Arthroskopie) und Imhoff (Röntgen, MRT und Arthroskopie) am häufigsten Gebrauch (Tabelle 1 und 2).

Tabelle 1: Einteilung der OCL nach ICRS. Basierend auf Arthroskopie

ICRS - Beschreibung von Osteochondralen Läsionen	
ICRS Grad	Defektmorphologie
0	Kein Defekt
I	Oberflächliche Läsion: Fissuren und Risse
II	Läsion mit Tiefe < 50 % der Knorpeldicke
III	Knorpeldefekte mit:
A	Tiefenausdehnung > 50 % der Knorpeldicke
B	Bis in die kalzifizierte Knorpelschicht
C	Bis auf den subchondralen Knochen
D	Blasenbildung
IV	Osteochondrale Läsion
A	Bis in die subchondrale Knochenplatte
B	Bis in den trabekulären Knochen
C	Durch Anbohrung vorbehandelte osteochondrale Defekte

ICRS: International Cartilage Regeneration & Joint Preservation Society (Brittberg et al., 1994)

Tabelle 2: Einteilung der OCL nach Imhoff. Basierend auf Röntgen, MRT und Arthroskopie

Imhoff- Beschreibung von osteochondralen Läsionen	
Stadium	Defektmorphologie und Vitalität
I	
A	Knochenkontusion, intakter Knorpel
B	Knorpelerweichung

II	A	Intakter Knorpel mit: Demarkation ohne Sklerose Demarkation mit Sklerose
	B	
III	A	Partielle Ablösung, vitales Fragment, Intakter Knorpel, ohne Sklerose Partielle Ablösung, avitales Fragment, defekter Knorpel, mit Sklerose
	B	
IV	A	Vitales freies Fragment, ohne Sklerose Avitales freies Fragment, mit Sklerose
	B	
V	A	Subchondrale Zyste: ohne Sklerose mit Sklerose
	B	

(A. B. Imhoff & König, 2003)

Osteochondrosis dissecans

Der Begriff „Osteochondrosis (Osteochondritis) dissecans (OD)“ stammt aus dem Jahre 1888 und beschreibt die mögliche Bildung freier Gelenkkörper. Als Untergruppe der OCL wird sie den aseptischen Knochennekrosen zugeordnet (König, 1888). Unterschieden wird zwischen einer häufigen juvenilen (zweite bis dritte Lebensdekade) und einer selteneren erwachsenen Form. Die OD kann an fast allen Gelenken auftreten, wobei konvexe Gelenksflächen gehäuft betroffen sind. Das Sprunggelenk, genauer der Talus, stellt nach dem Knie- und Ellenbogengelenk die häufigste Lokalisation dar (Steinhagen et al., 2001). Die Beschreibung „Osteochondrosis dissecans tali (ODT)“ als eigenständiges Krankheitsbildes erfolgte im Jahre 1922 (Kappis, 1922). Die genaue Ätiologie der OD ist bis heute unbekannt, wobei mehrere Faktoren für die Entwicklung in Betracht gezogen werden: traumatische und mikrotraumatische, vasculäre, genetische, endogene und infektiöse Faktoren scheinen eine Rolle zu spielen (Steinhagen et al., 2001). Auch der Einfluss von Adipositas wird diskutiert (Josten & Rose, 1999). Bruns et al. zeigte in einer Nachuntersuchung, dass am Talus wiederholte Supinations- und Pronationsstraumata bei sportlicher Aktivität und die damit verbundene hohe Druckbelastung mit der Genese der OD zusammenhängen. Häufig ist die mediale Taluskante von einer OD betroffen (Bruns & Rosenbach, 1989).

Die Pathogenese der OD zeigt einen stadienhaften (siehe Tab. 3) Verlauf (Berndt & Harty, 1959). Durch eine Vaskularisationsstörung entsteht eine Demarkierung des Knochenbereichs mit Osteolyse/Osteonekrose oder Sklerosierung. Im zeitlichen Verlauf kommt es zu einer Degeneration der darüberliegenden Knorpelfläche. Wiederholte Mikrotraumata können schlussendlich zum Ablösen eines Knorpel-Knochen-Fragments aus der Gelenkfläche führen (Gelenksmaus, Dissekat). Dieses Dissekat kann frei im Gelenk zu liegen kommen (U. Niethard & Pfeil, 2005).

Tabelle 3: Einteilung der OD nach Berndt & Harty. Basierend auf Röntgen

Berndt & Harty- Stadien der OD	
Stadium	Defektmorphologie und Vitalität
I	subchondrale Sklerosierung
II	partiell abgelöstes Fragment
III	total abgelöstes Fragment aber in situ (keine Dislokation)
IV	Freies Dissekat als „Gelenksmaus“ im Gelenk

(Berndt & Harty, 1959)

1.3.2 Therapiemöglichkeiten

Asymptomatische sowie nicht-dislozierte OLT werden initial häufig konservativ mit oder ohne antiinflammatorische Therapie behandelt. Neben einer vier- bis sechswöchigen Immobilisation (ggf. mit Cast-Schiene), gibt es auch Therapieprinzipien mit reiner Sportkarenz und Physiotherapie in Teilbelastung. Das Ziel ist eine Schmerzreduktion und Rückbildung des begleitenden Knochenödems bzw. eine Abheilung/Einheilen eines osteochondralen Fragments (Zengerink et al., 2010). Zuletzt versuchte man durch den zusätzlichen Einsatz von bioaktiven Substanzen, bspw. Hyaluronsäure (HA) oder Plättchenreichem- Plasma (PRP), die Knorpelregeneration zu verbessern (Dombrowski et al., 2018). Während die konservative Therapie im pädiatrischen Bereich zu einer osteochondralen Heilung führen kann, ist sie im adulten Bereich meist

eingeschränkt. Mangelnde Durchblutung sowie das Fehlen von Mitoseeigenschaften der adulten Chondrozyten erschweren die Regeneration (Horisberger et al., 2011).

Im Falle einer Schädigung des subchondralen Knochens oder beim Vorliegen eines mit Flüssigkeit umspülten osteochondralen Fragments kann eine Heilung nur bedingt erwartet werden. Repetitive Druckspitzen im Gelenk führen zum stetigen Einschleusen von Flüssigkeit in die subchondrale Spongiosa. Dadurch bilden sich, da Gelenkflüssigkeit nicht komprimierbar ist, subchondrale Zysten. Die OLT schreitet voran (Van Dijk et al., 2010). Anhaltende Schmerzen, Blockierungssymptome und das Fortschreiten der Knöchelarthrose (Osteoarthritis = OA) beeinträchtigen die Lebensqualität und insbesondere die körperliche und sportliche Leistungsfähigkeit. Klammer et al. untersuchte Patienten mit OLT, welche konservativ therapiert wurden mit einem durchschnittlichen Follow-up von 52 Monaten nach. Hier berichteten 58,3 % der Patienten von Einschränkungen bei Sport- und Freizeitaktivitäten und 22,9 % der Patienten von Einschränkungen bei Aktivitäten des täglichen Lebens (Klammer et al., 2015). Folglich sollte bei Patienten mit einer erfolglosen konservativen Therapie sowie einer Beschwerdepersistenz frühzeitig an weitere Therapieoptionen gedacht und eine eventuelle operative Behandlung eingeleitet werden.

Die ideale Technik für die Knorpelreparatur/den Knorpelersatz bei fokalem OLT ist umstritten. Man kann grundsätzlich zwischen Therapien unterscheiden, welche nur den Knochen oder nur den Gelenksknorpel adressieren. Zusätzlich gibt es auch kombinierte Therapien. Für die Auswahl der geeigneten operativen Therapie spielen die Läsionsgröße, der Grad an ossärer Beteiligung sowie das Patientenalter eine wesentliche Rolle. Während kleine sowie anteriore Läsionen gut arthroskopisch zugänglich sind, ist bei posterioren Defekten oft ein offener Eingriff notwendig. Bei großen Defekten muss zusätzlich je nach Lage entweder eine Osteotomie des medialen Malleolus

(= Innenknöchelosteotomie) oder eine Osteotomie der Fibula (= Außenknöchelosteotomie) durchgeführt werden um eine ausreichende Exposition des Defektes zu erreichen (Schoettle & Imhoff, 2002). Grundsätzlich kann bei jeglicher OLT zunächst nekrotisches Material mittels arthroskopischem *Debridements* und *Curettage* entfernt werden und der Defekt gesäubert werden (Zengerink et al., 2010).

Bei kleineren osteochondralen Defekten (< 150 mm²) ohne subchondralen Zysten kommen arthroskopische *Knochenmarksstimulierende Verfahren (bone marrow stimulation = BMS)*, wie Mikrofrakturierung oder die antegrade Anbohrung (Pridie-Bohrung), als Erstlinientherapie zur Anwendung (Choi et al., 2009). Zentrales Therapieziel der BMS Techniken ist die Rekrutierung mesenchymaler Stammzellen aus dem Knochenmark. Durch das Anbohren des subchondralen Knochens wandern pluripotente Stammzellen in den chondralen Defekt. Diese differenzieren sich, proliferieren und bilden dann das osteochondrale Reparatursgewebe (Braun, Vogt, & Imhoff, 2007). Für eine bessere Augmentation der Stammzellen können zusätzlich biologische Substanzen, wie plättchenreiches Plasma, oder eine zweischichtige Kollagenmembran/Matrix, autologe matrix-gestützte Chondrozytogenese (*AMIC*), in den chondralen Defekt eingesetzt werden (Becher et al., 2019; Guney et al., 2015). Bei kleinen, ausschließlich subchondralen Läsionen und intaktem Knochen, kann mittels retrograder Anbohrung und evtl. Defektfüllung durch Spongiosa (Spongiosplastik) eine Heilung erreicht werden (Horisberger et al., 2011). BMS sind einzeitige, minimalinvasive Verfahren mit hoher Kosteneffizienz. Der klinische Erfolg ist dabei maßgeblich von der Läsionsgröße abhängig. Die höchsten klinischen Erfolgsquoten (AOFAS Score prä-OP 61,6 Punkte vs. AOFAS post-OP 85,4 Punkte) zeigen sich hier bei Defektgrößen < 107 mm² (Ramponi et al., 2017). Trotz der häufigen und schnell durchführbaren Anwendung der BMS Methoden kommt es in 36 % zu einer inkompletten Heilung (Yang & Lee, 2020).

Höhere klinische Erfolgsquoten von bis zu 90 % werden nach *autologer Chondrozytenimplantation (ACI)*, einem Verfahren des Tissue-Engineerings, berichtet (Niemeyer, Salzmann, Schmal, Mayr, & Südkamp, 2012). Dem Patienten werden primär Knorpelzellen aus dem Kniegelenk entnommen. Nach einer zwei- bis vierwöchigen Kultivierung wird das Zellsubstrat im Defekt ohne oder matrixgestützt (MACI) unter einem Periostdeckel appliziert. Das zweizeitige Verfahren, setzt einen intakte subchondrale Grenzlamelle voraus und ist mit hohen Kosten verbunden (Murawski & Kennedy, 2013). Als einzeitige Alternative zur ACI findet aktuell auch die, bereits aus der Kniechirurgie bekannte, Minced Cartilage Implantation (MCI) immer mehr Verwendung (Christensen, 2016; Harris, Frank, McCormick, & Cole, 2014). Körpereigener intakter Knorpel wird arthroskopisch entnommen und in kleine Chips „zerhackt“ (minced). Vermischt mit körpereigenem thrombozytenreichem Plasma (PRP) wird der Knorpelschaden mit den „Chips“ gefüllt (Roth et al., 2021).

Für ausgedehnte subchondrale Talus Läsionen oder fehlgeschlagene Voroperationen ist schließlich die osteochondrale Transplantation häufig die letzte Chance zur gelenkserhaltenden Therapie. Die Knorpel-Knochen Transplantate werden dabei in der Regel von einem körpereigenen Gelenk (autolog) (Looze et al., 2017) oder seltener von einer Kadaverspende (allogen) bezogen.

1.3.3 Autologe osteochondrale Transplantation am Talus

Indikation

Das Prinzip dieser einzeitigen Operationstechnik ist die Verwendung von Knorpel-Knochen-Zylindern aus gering belasteten, körpereigenen Knorpelflächen zur Defektdeckung in anderen, belasteten Gelenken.

Ziel ist dabei die Wiederherstellung einer vollwertigen, hyalinen Gelenksfläche und eine daraus resultierende schmerzfreie Gelenksfunktion. Dabei gibt es folgende Indikationen zur Knorpel-Knochen-Transplantation: fokale oder zystische osteochondralen Defekte mit einem maximalen Durchmesser von zwei bis drei Zentimeter, lokale OLT Grad III und IV (ICRS und Imhoff), Osteochondrosis dissecans Grad III und IV, umschriebene Osteonekrosen, sowie nach fehlgeschlagenen Voroperationen. Eine generalisierte Osteoarthrose im gesamten Sprunggelenk sowie eine Defektgröße von mehr als zwei cm² sind Kontraindikationen (Schoettle & Imhoff, 2002; Zengerink et al., 2010).

Durch die Transplantation ein oder mehrerer autologer osteochondraler Zylinder, bestehend aus hyalinem Knorpel, subchondraler Knochenplatte und Spongiosa, an die Stelle der OLT, wird eine biomechanisch stabile und native Gelenkumgebung wiederhergestellt (Murawski & Kennedy, 2013).

Bei der *OATS-Technik* werden wenige Zylinder (meist nicht mehr als zwei) leicht überschneidend in die Defektzone eingebracht (Braun et al., 2007). Entnommen werden die Zylinder meist an der lateralen Trochlea des ipsilateralen Kniegelenkes. Man spricht auch von der sogenannten Zwei-Gelenk-Technik, da die Zylinder in der Regel aus dem ipsilateralen Knie entnommen und in ein anderes Gelenk, dem Talus, in „Press-fit Technik“ transplantiert werden. Press-fit bedeutet, dass der Durchmesser des Spenderzylinders circa 0,3 mm größer als der des Aufnahmebettes ist. Bei zirkulärem Kontakt mit der umliegenden Spongiosa, kann das Transplantat ohne weitere Fixierung an der Defektstelle am Talus eingebracht werden. Eine Überlappung der implantierten osteochondralen Stifte erhöht die Zylinderstabilität im subchondralen Knochen. So kann eine kongruente Fläche von hyalinem Knorpel ohne Unterbrechung

erreicht werden, was eine schnelle und komplikationslose Einheilung des Zylinders begünstigt (Braun et al., 2007; Schöttle, Oettl, Agneskirchner, & Imhoff, 2001).

1.4 Stand der Forschung

Bereits im Jahre 2011, konnte Imhoff et. al im Zuge einer retrospektiven Analyse von 26 durchgeführten autologen osteochondralen Transplantationen mittels OATS Technik am Talus eine signifikante Verbesserung in sämtlichen erhobenen Patient Reported Outcomes (AOFAS, Tegner, VAS), bei einer mittleren Nachuntersuchungsperiode von sieben Jahren, feststellen (Andreas B Imhoff et al., 2011). Ähnlich gute Ergebnisse spiegeln sich in einigen weiteren Arbeiten wider (Baltzer & Arnold, 2005; Fraser, Harris, Prado, & Kennedy, 2016; Kennedy & Murawski, 2011). Scranton et al. zeigt mit einer Patientenzufriedenheit von 90 % nach OATS exzellente mittelfristige Ergebnisse (Scranton Jr, Frey, & Feder, 2006). Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse mit insgesamt elf Studien und 500 Patienten konnte, mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 62,8 Monaten, bei 87,4 % der Patienten gute bis exzellente Ergebnisse nach Talus OATS nachweisen. Weiter wurde über eine Komplikationsrate von 10,6 % mit einer Reoperationsrate von 6,0 % und eine Spendermorbidity von 3,6 % nach OATS Therapie am Talus berichtet (Shimozono et al., 2018). Paul et al. konnte aber zeigen, dass die Funktionalität des Spendergelenks (Kniegelenks) nach der Transplantatentnahme nicht von der Größe oder Anzahl an Zylindern oder dem Alter des Patienten abhängt, sondern vor allem durch einen erhöhten BMI negativ beeinflusst werden kann (J Paul et al., 2009). Das mittlere Alter von Patienten, welche aufgrund von OLT operativ versorgt werden, liegt bei knapp über 30 Jahren und betrifft oft Freizeit- oder Profisportler. Fraser et al. konnte eine Rückkehr auf das ursprüngliche (präoperative) Aktivitätsniveau nach durchgeführter OATS-Therapie bei 86 % der Athleten nachweisen (Fraser et al., 2016). Im Zuge einer Second-look Arthroskopie

konnte anhand von Nadelbiopsien sowohl eine gute histologische, als auch arthroskopisch Integration des Knorpel-Knochen-Zylinders festgestellt werden (Baltzer & Arnold, 2005). Darüber hinaus wurden bessere klinische Fortschritte und Überlebensraten nach OAT im Vergleich zu BMS bei der Behandlung von OLT nachgewiesen (Shim et al., 2021). In einer Vielzahl an Arbeiten wurde über gute kurz- bis mittelfristige Ergebnisse nach einer OAT mittels Osteochondral autograft transfer system (OATS) berichtet (Andreas B Imhoff et al., 2011; Shimozone, Hurley, Myerson, & Kennedy, 2018). Aufgrund des durchschnittlich jungen Patientenalters sind Langzeitergebnisse jedoch von hoher klinischer Relevanz, um die Langlebigkeit dieses Verfahrens zu bewerten. Aktuell gibt es hierfür keine verlässlichen Daten.

2 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie war es, klinische und radiologische Langzeitergebnisse (mind. 18 Jahre) nach erfolgte OAT am Talus zu untersuchen. Dabei standen neben den subjektiven Ergebnissen (Patient Reported Outcomes= PROs), die Korrelation der klinischen und radiologischen Daten sowie eine Analyse zum klinischen Versagen in Relation zum postoperativen Verlauf (Überlebenszeitanalyse) im Fokus.

Die Hypothesen der vorliegenden Studie lauteten:

- Patienten, welche mittels OAT operativ versorgt wurden, erreichen zufriedenstellende klinische und radiologische Langzeitergebnisse.
- Die klinischen und radiologischen Ergebnisse zeigen keine signifikante Korrelation
- < 10% der Patienten haben 18 Jahre und länger nach OAT des Talus ein klinisches Versagen

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie wurde von der Ethikkommission der Technischen Universität München geprüft und zur Durchführung zugelassen (Votum 53/20 S-KH).

Das Patientenkollektiv wurde retrospektiv aus OP-Dokumentationen der Sektion für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar erfasst.

Das gesamte Patientenkollektiv wurde schriftlich über eine geplante telefonische Kontaktaufnahme informiert und um eine Einwilligung dafür gebeten. Bei erfolgter Zusendung einer unterschriebenen Einwilligung zur Kontaktaufnahme erfolgte die telefonische Einladung zur geplanten Nachsorgeuntersuchung in der Sektion für Sportorthopädie.

Zwischen November 2020 und April 2021 wurden Patienten kontaktiert. Anhand standardisierter validierter Fragebögen und Scores, welche nach Einwilligung der Patienten postalisch verschickt wurden, konnten subjektive patientenbezogene Daten (PROs) sowie allgemeine soziodemographische Daten (Alter, Geschlecht, Verletzungsdatum, Größe, Gewicht, Raucherstatus, Zufriedenheit, Arbeitsstatus, Sportgewohnheit) erhoben werden.

Zu Beginn jedes klinischen Untersuchungstermins wurden sämtliche Teilnehmer über Inhalt, Vorgehensweise, Risiken und Ziele des Forschungsprojekts aufgeklärt. Auch erhielt und unterschrieb jeder Patient vor Beginn der Untersuchung eine Information zum Datenschutz.

Die klinische Untersuchung beinhaltete die Inspektion, die Testung des Bewegungsumfangs (range of motion= ROM) sowie eine Prüfung der Stabilität der lateralen und

medialen Bandstrukturen am Sprunggelenk. Zur Beurteilung von Schmerz und Funktion des Sprunggelenks und Rückfußes, diente ein validierter patientenbezogener Bewertungsbogen der Amerikanischen Orthopädischen Gesellschaft für Fuß und Knöchel (American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot Scale) (siehe 2.5 Scores).

Im Zuge der klinischen Nachuntersuchung erfolgte am selben Tag die Anfertigung von Magnetresonanz (MRT) Bildern des betroffenen Sprunggelenks in der Abteilung für Radiologie des Klinikums rechts der Isar.

Zudem wurden Informationen bzgl. der medizinische Vorgeschichte der Teilnehmer (Traumata, Voroperationen, Revisionen) mündlich vom Patienten erfragt oder den vorhandenen Patientenakten entnommen. Spezifische Informationen bezüglich der erfolgten Operation wurden aus den Operationsberichten der Sektion für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar entnommen.

3.1.1 Patientenkollektiv

Patienten, welche im Zeitraum zwischen 1997 und 2003 aufgrund eines osteochondralen Schadens am Talus (Sprungbein) mittels autologer osteochondraler Transplantation (OAT) therapiert wurden und die Einschlusskriterien erfüllten, wurden in die Studie eingeschlossen.

Einschlusskriterien:

- Beschwerdefreies ipsilaterales Knie als Entnahmestelle für den Knorpel-Knochenzylinder (lateraler Trochlearand)
- Alter (≥ 16 Jahre, ≤ 60 Jahre) zum Zeitpunkt des Index Eingriffs
- Nachuntersuchungszeitraum: mind. 18 Jahre
- Schriftliche und mündliche Einwilligungserklärung

Ausschlusskriterien:

- Patienten mit fortgeschrittener Arthrose am Sprunggelenk
- Patienten mit multiplen osteochondralen Läsionen am Talus oder chronischer Instabilität des Sprunggelenks
- Patienten mit vorheriger distaler Tibia-, Fibula- oder Talusfraktur
- Alter (<16, > 60Jahre)
- Nachuntersuchungszeit < 18 Jahre
- Kontraindikationen für eine MRT

3.1.2 Operationsdaten

Nachfolgende Daten wurden aus den Operationsberichten erhoben:

- Lokalisation des Knorpelschadens am Talus
- Anzahl und Durchmesser (d in mm) der transplantierten Knochen-Knorpelzylinder
- Operationszugang (Osteotomie des medialen Malleolus oder der Fibula)

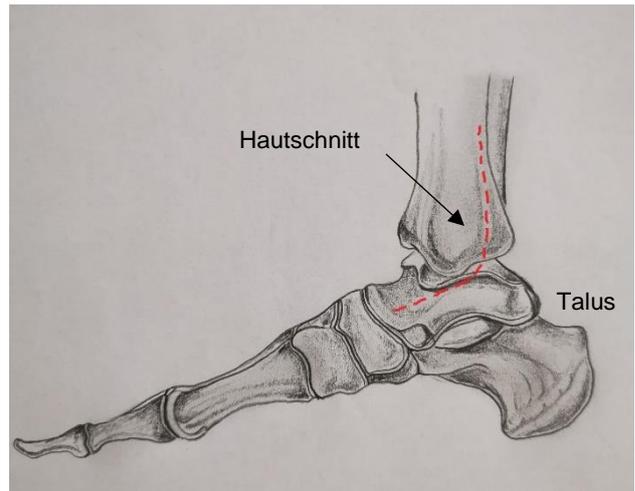
3.2 Operationstechnik

Präoperativ erhielt jeder Patient eine MRT-Bildgebung des betroffenen Sprunggelenks zur Bestimmung der Größe, Lokalisation und Tiefe der OLT sowie eine klinische Untersuchung des Kniegelenkes. Der Eingriff wurde mit dem Osteochondralen Autotransfersystem (OATS®, Arthrex Inc., Naples, FL, USA) durchgeführt.

Die Lagerung des Patienten erfolgte in Rückenlage. Der Eingriff kann in Allgemeinanästhesie oder Spinalanästhesie durchgeführt werden. Nach Anlegen einer Oberschenkelblutsperrre (ca. 250 mmHg) wurde das Bein steril gewaschen und abgedeckt. Optional kann der Eingriff mit einer diagnostischen Arthroskopie begonnen werden, um die

Indikation intraoperativ zu bestätigen. Je nach Lokalisation der OLT wurde der Zugang gewählt. Für Defekte der medialen Talusschulter, ist eine Innenknöchelosteotomie mit anschließender Schraubenosteosynthese notwendig. Laterale Läsionen sind über eine Außenknöchelosteotomie erreichbar. Da die meisten der Studienpatienten eine mediale OLT vorwiesen, wird speziell dieser Zugangsweg im Weiteren beschrieben.

Primär erfolgte ein bogenförmigen Hautschnitt (Länge ca. 10 cm) von dorsal des Malleolus medialis nach ventral verlaufend. Es erfolgte die Präparation der Faszie und Darstellung der Vena saphena magna, des Nervus saphenus sowie der Sehnen-scheide des Musculus Tibialis posterior.



Stumpfe Hohmannhebel ventral und dorsal des Malleolus schützten die Sehnen.

Abbildung 3: Bogenförmiger Hautschnitt bei medialen OLT

Quelle: in Anlehnung an Prometheus (Prometheus)

Nach einer Inzision im Bereich der Innenknöchelspitze, wurden für die spätere Reosteosynthese des Malleolus medialis zwei Bohrkanäle á 5 cm in ca. 70 ° Steigung von distal medial nach proximal lateral ansteigend unter Bildwandlerkontrolle gebohrt.

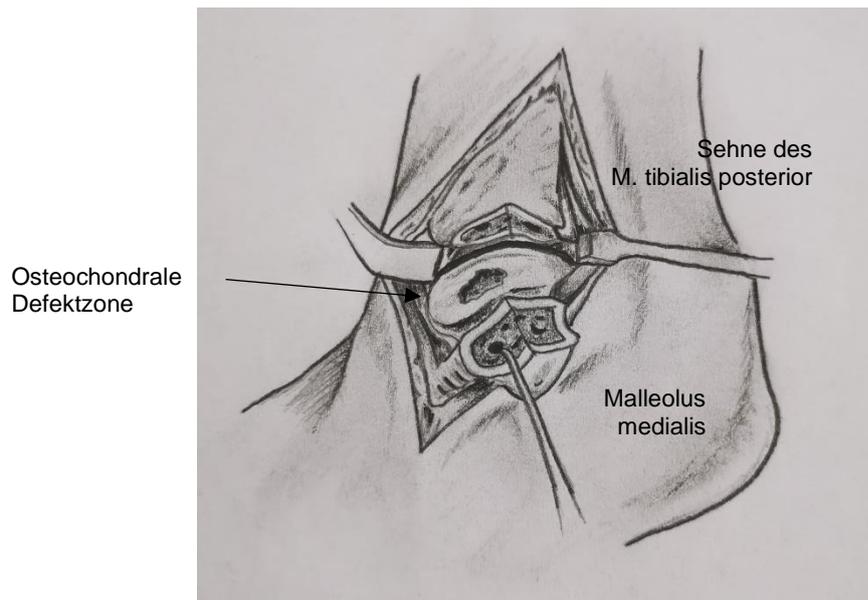


Abbildung 4: Darstellung Osteochondralen Defektzone nach Innenknöchelosteotomie.

Schutz der Sehne des Musculus (M.) Tibialis posterior mit stumpfen Hohmannhebel. Ansicht von medial.
Quelle: in Anlehnung an Schoettle und Imhoff (Schoettle & Imhoff, 2002)

Dann erfolgte die domförmige Innenknöchelosteotomie. Das Wegklappen des distalen Knöchelendes ermöglichte die Darstellung des osteochondralen Defektes in maximaler Plantarflexion und Pronation (bei lateraler OLT und Osteotomie der Fibula erfolgte die Darstellung der Defektzone in Plantarflexion und Supination). Mithilfe von speziellen Meißeln („recipient“- Meißel) wurden aus der Defektzone Stanzzyylinder mit einer Tiefe von ungefähr 10 – 15 mm entnommen. Zur besseren Stabilität der späteren Spenderzyylinder erfolgte die Entnahme oft schräg. Mit einem Stößel wurde die Spongiosa des Empfängerzylinders impaktiert und die Implantationstiefe in Relation zum gesunden, periläsionalen Rand der Talusgelenkfläche bestimmt.

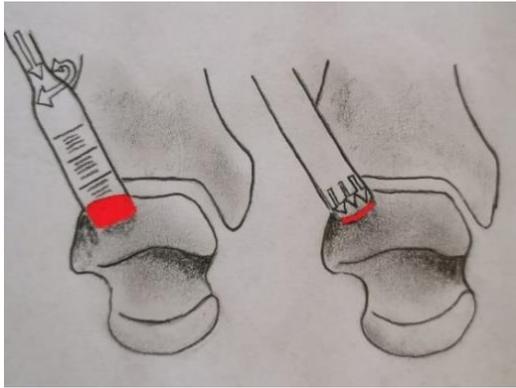


Abbildung 5: Entnahme der Defektzylinder

Links: Entnahme der defekten Stanzzylinder (rot) mittels Hohlmeißel in 90°-Rotation mit und gegen den Uhrzeigersinn. Rechts: Impaktieren der Spongiosa des Empfängertunnels und Bestimmung der Implantationstiefe mittels Stößel. Quelle: in Anlehnung an Schoettle und Imhoff (Schoettle & Imhoff, 2002).

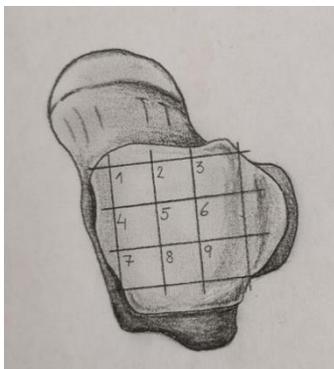
Nun erfolgte über einen kleinen Hautschnitt lateral der Patella, die Mini-Arthrotomie zur Entnahme der Spenderzylinder (= OATS-Zylinder) am ipsilateralen Kniegelenk meist proximal an der lateralen Trochlea. Dafür wurden zum vorher verwendeten „recipient“-Meißel passende „Donor- Hohlmeißel“ (0,3 mm größerer Durchmesser) verwendet. Nach dem Abgleichen der Länge der Spenderzylinder mit der Tiefe des Empfängertunnel am Talus, wurde das Kniegelenk nach Einlage einer Redondrainage mittels Subkutan- und Hautnaht verschlossen.

Die OATS-Zylinder wurden über eine Führungshülse in press-fit Technik in die Defektzone am Talus eingebracht. Dabei musste auf eine gute Oberflächenangleichung geachtet werden, um eine kongruente Gelenkfläche am Talus zu erreichen. Die Transplantation mehrerer Zylinder, auch unterschiedlicher Größe, ist möglich, wobei jeder einzelne Transfer einzeln abgeschlossen werden sollte. Es wird jedoch angestrebt, nicht mehr als zwei Zylinder zu verwenden. Schließlich wurde der Innenknöchel durch eine Reosteosynthese mittels zweier Malleolarschrauben repositioniert. Das Periost wurde genäht und das Gelenk mit Subkutan- und Hautnaht wieder verschlossen (Schoettle & Imhoff, 2002; Schöttle et al., 2001).

Bestimmung der Größe der osteochondralen Läsion

Anhand des Radius ($r = d/2$) des Zylinders, wird die Größe der osteochondralen Läsion sowie die Fläche (A in mm^2 ; $A = \pi r^2$) berechnet. In Fällen mit mehr als einem Transplantat, werden die Flächen der entsprechenden Kreise addiert, um so die Gesamtgröße der osteochondralen Läsion zu bestimmen.

Die Lokalisation des Knorpelschadens am Talus wurde anhand eines Neun-Zonenrasters angegeben (Raikin et al., 2007). Dabei wird der Talus in axialer Ebene, in insgesamt neun gleich große Quadrate eingeteilt (drei Reihen und drei Spalten / 3 x 3). Jedem dieser Quadrate wird, von medial nach lateral, sequentiell eine Nummer zugeteilt. Das am meisten anterior-medial gelegene Viereck ist definiert als Zone 1, das zentral-mediale Quadrat als Zone 4 und das posterior-medial gelegene Quadrat als Zone 7 (van Diepen, Dahmen, Altink, Stufkens, & Kerkhoffs, 2021).



Angabe der Läsionslokalisierung anhand des Neun-Zonen-Rasters. Ansicht von oben. Quelle: in Anlehnung. (Raikin et al., 2007)

Abbildung 6: Neun-Zonen-Raster

3.3 Rehabilitation

Die postoperative Nachbehandlung bestand aus einer sechswöchigen Entlastung an Unterarmgehstützen mit Vermeidung einer Dorsalextension. Zusätzlich begann man eine passive Beübung im Vacopedstiefel. Ab der siebten Woche wurde eine stufenweise Aufbelastung begonnen. Return to sports mit low demand wurde frühestens

nach drei Monaten empfohlen. High demand Sportarten wurden erst nach sechs Monaten erlaubt.

3.4 Patientenbefragung

Die Erhebung soziodemographischer Daten erfolgte anhand eines eigens entworfenen Fragebogens (siehe Anhang). Erhoben wurden das Alter, das Geschlecht, Größe (cm) und Gewicht (kg), das Verletzungsdatum sowie das Datum der Operation. Weitere Fragen mit jeweils vorgefertigten Antwortmöglichkeiten bezogen sich auf den Raucherstatus (ja/nein), den Arbeitsstatus (Vollzeit/Teilzeit/Pensioniert/Haushalt/Student/Arbeits- oder Erwerbsunfähig/anders) und die Zufriedenheit mit dem aktuellen Zustand des Sprunggelenks (sehr zufrieden/zufrieden/etwas unzufrieden/sehr unzufrieden). Bezüglich ihrer sportlichen Aktivität wurden die Patienten gebeten jeweils zwei ihrer Hauptsportarten als offene Frage sowie das dazugehörige durchschnittliche Wochenpensum (Häufigkeit und Stunden pro Woche) zu nennen. Zur genaueren Beurteilung des Sportlevels sollten die Patienten, bezogen auf eine Hauptsportart, zwischen vorgefertigten Niveaus (Anfänger/Fortgeschritten/Experte/Profi) wählen. Darüber hinaus sollten die Patienten anhand vorgefertigter Antworten angeben, ob und auf welchem Niveau sie ihr ursprüngliches (vor der Verletzung) sportliches als auch berufliches Level wieder erreicht haben. (siehe Anhang: Fragebogen soziodemographische Daten).

3.5 Klinische Untersuchung

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erfolgte die Untersuchung des oberen Sprunggelenks (OSG), des unteren Sprunggelenks (USG) sowie des Kniegelenks (KG).

Zu Beginn erfolgte die Inspektion des Sprunggelenks. Besonderes Augenmerk galt Narben, möglichen Atrophiezeichen oder einer Umfangvergrößerung des

Sprunggelenks im Seitenvergleich. Zusätzlich wurde die Beinachse sowie die Rückfußstellung beurteilt. Durch Palpation bekannter Landmarken (Gelenksspalt, medialer und lateraler Malleolus, Syndesmose) wurde das Gelenk auf eine mögliche Druckdolenz oder einer verminderten Druck- und Berührungsempfindung (Hypästhesie) überprüft. Zur Beurteilung der Gelenkbeweglichkeit, wurde im Anschluss, jeweils im Vergleich zur kontralateralen Seite, der schmerzfreie, aktive und passive Bewegungsumfang (ROM = range of motion) mit Hilfe eines Goniometers nach der Neutral-Null-Methode in Grad erhoben. Darüber hinaus wurde der Bandapparat auf Stabilität geprüft. Eingeteilt in keine, leichtgradige, mittelgradige und hochgradige Instabilität, wurde neben der lateralen und medialen Instabilität auch der Talusvorschub und eine mögliche Instabilität der Peronealsehnen sowie der Syndesmose beurteilt.

Zum Abschluss der klinischen Untersuchung wurden in Zusammenarbeit mit dem Studienarzt subjektive patientenbezogene Daten (Patient Reported Outcome= PRO) erhoben (siehe 3.6. Scores).

3.6 Fragebögen und Scores

Zur quantitativen Beurteilung des operativen Eingriffs am Sprunggelenk, wurden in dieser Studie anhand standardisierter, validierter Fragebögen bzw. Scores, subjektive patientenbezogene Daten (Patient Reported Outcome= PRO) erhoben. Beurteilt wurden neben dem aktuellen Zustand, der Stabilität und Funktion auch das Schmerzniveau von Sprunggelenk und Kniegelenk. Des Weiteren wurden die Patienten bzgl. Ihres Aktivitätszustandes im täglichen Leben, sowohl im Berufsalltag als auch bei deren sportlichen Aktivitäten, befragt. Dies erfolgte mittels standardisierten und validierten Scores (Details siehe Anhang):

- American Orthopaedic Foot & Ankle Society (AOFAS) Ankle-Hindfoot - Scale
- Foot and Ankle Outcome Score (FAOS)
- Visuelle Analogskala für Schmerz (VAS) (Sprunggelenk und Kniegelenk)
- Lysholm Score
- Tegner Aktivitätslevel

Hierbei wurden einerseits Daten bezogen auf das Sprunggelenk und den Fuß (VAS Sprunggelenk AOFAS, FAOS) zur Bewertung des operativen Ergebnisses nach genannter Knorpeltherapie, sowie Scores zur Beurteilung der Entnahmemorbidität des Kniegelenks (Lysholm, Tegner, VAS Kniegelenk) erhoben.

Foot and Ankle Outcome Score

Der Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) wurde im Jahr 2001 veröffentlicht und dient der subjektiven Betrachtung von Symptomen und funktionellen Einschränkungen nach Eingriffen am Fuß und Sprunggelenk (Roos, Brandsson, & Karlsson, 2001). Die Validierung und Übersetzung des FAOS in eine deutsche Version erfolgte im Jahr 2014 (Van Bergen et al., 2014). Bestehend aus insgesamt 42 Fragen (Items), ist der Score in fünf Untergruppen unterteilt: Symptome und ROM (7 Fragen), Schmerz (9 Fragen), Aktivitäten des täglichen Lebens (17 Fragen), Sportliche Aktivitäten und Freizeit (5 Fragen) und Lebensqualität (4 Fragen).

Bei der Beantwortung der Fragen sollen sich die Patienten jeweils auf das Befinden in der vorherigen Woche beziehen. Jede Einzelfrage wird auf einer Likert-Skala, bestehend aus jeweils fünf vorgefertigten Antwortmöglichkeiten beantwortet (siehe Anhang: FAOS). Jede Antwortmöglichkeit ist mit einer Punktezahl von null bis vier kodiert und aufsteigend geordnet. Zur Auswertung wird für jede Untergruppe einzeln, die Summe der jeweils ausgewählten Antwortmöglichkeiten gebildet und durch die mögliche

Maximalsumme innerhalb einer Untergruppe geteilt. Diese Rohdaten werden dann in eine Skala von null bis hundert umgewandelt.

$$100 - \frac{\text{Summe } P_1-P_9 \times 100}{\text{Max. Summe } P_1-P_9} = 100 - \frac{\text{Summe } P_1-P_9 \times 100}{4 \times 9} = 100 - \frac{\text{Summe } P_1-P_9 \times 100}{36} = x$$

Formel 1: Beispielberechnung für die Foot and Ankle Outcome Score Untergruppe Schmerz

(x [Punkte]. P, Pain (Schmerz))

Hohe Werte bedeuten geringe funktionelle Einschränkungen des Patienten.

Lysholm Score

Zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses sowie der Spendermorbidity am Kniegelenk, der Entnahmestelle der Knochen-Knorpel-Zylinder für die OAT, wurde der Lysholm Score verwendet. Der Score besteht aus acht Fragen und dient der rein subjektiven Bewertung des Zustandes und der Funktion des betroffenen Kniegelenks nach unterschiedlichen Eingriffen (siehe Anhang: Lysholm Score) (Tegner & Lysholm, 1985). Die ursprünglich englische Version, wurde 2011 in eine deutsche Version übersetzt und validiert (Wirth, Liffert, & de Bruin, 2011). Insgesamt können 100 Punkte erreicht werden. Vier Fragen konzentrieren sich auf subjektive Funktionseinschränkungen wie Hinken, Gehhilfe, Treppensteigen oder Beeinträchtigung bei der Ausführung einer Hocke. Dabei werden null Punkte für starke Einschränkungen und maximal fünf Punkte bei keiner Einschränkung vergeben. Des Weiteren wird die subjektive Unsicherheit im Kniegelenk mit null Punkten bei einer dauerhaften Instabilität und mit bis zu maximal 25 Punkten bei keinem Instabilitätsgefühl bewertet.

Das Auftreten von Schmerz wird anhand von sechs Auswahlmöglichkeiten ebenfalls mit einer maximalen Punktzahl von 25 Punkten gezählt. Weitere Punkte werden für eine mögliche Schwellung vergeben, wobei ein nicht angeschwollenes Knie maximal zehn Punkte erreichen kann. Die restlichen 15 Punkte beziehen sich auf eine mögliche

Blockierung im Kniegelenk. Bei den Ergebnissen wird unterschieden zwischen „sehr gut“ (92 - 100 P), „gut“ (82 – 91 P), „ausreichend“ (66 – 81 P) und „schlecht“ (< 65 P) (J Paul et al., 2009).

Tegner Aktivitätsskala

Hierbei handelt es sich um eine numerische Ratingskala zur standardisierten Beurteilung verschiedener Aktivitätslevel der Patienten (siehe Anhang: Tegner Aktivitätsskala) (Tegner & Lysholm, 1985). Dieses Bewertungssystem wurde für verschiedene Zustände des Kniegelenks validiert und wird häufig in Kombination mit dem Lysholm Score zum Vergleich von prä- zu post OP - Zuständen verwendet (Briggs, Steadman, Hay, & Hines, 2009). Im Jahre 2013 erfolgte die Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version dieser Skala. (Wirth, Meier, Koch, & Swanenburg, 2013). In dieser Studie wurde die Tegner Aktivitätsskala zur Beurteilung des Kniegelenks, der Entnahmestelle des Knochen-Knorpel-Zylinders, verwendet. Mit insgesamt zehn Levels werden bestimmte Aktivitäten aus dem täglichen Leben oder unterschiedliche Sportaktivitäten des Patienten betrachtet. Die Level sieben bis zehn widerspiegeln unterschiedliche Leistungssportarten. Dabei wird Hochleistungssport als Level zehn gewertet. Die restlichen sechs Level beurteilen sowohl unterschiedliche Intensitäten und Arten von Freizeitsport als auch die berufliche Aktivität des Patienten. So zeigt Level null eine Arbeitsunfähigkeit und beispielsweise Level fünf sowohl körperliche Schwerstarbeit (z.B. Straßenbau, Waldarbeit), als auch intensiven Freizeitsport. Wenn ein Patient zum Beispiel einer leichten körperlichen Arbeit (Level zwei) nachgeht, in der Freizeit jedoch regelmäßig Joggen geht (Level sechs), so sollte er Level sechs wählen. (Lysholm & Tegner, 2007).

Visuell Analoge Schmerzskala

Zur standardisierten Beurteilung der Schmerzintensität, sowohl am operierten Sprunggelenk als auch am Kniegelenk, welches der Entnahme des Knochen-Knorpel-Zylinders diente, wurde in der vorliegenden Studie die Visuell Analoge Skala für Schmerz (VAS) verwendet. Diese Skala, erstmals verwendet im Jahre 1966, ist eine gerade, normalerweise 100 mm lange, horizontale Linie, dessen äußeren Enden einerseits mit „Keinem Schmerz“ und andererseits mit „Stärksten vorstellbaren Schmerz“ beschriftet werden (Wewers & Lowe, 1990).

Die Schmerzintensität des Patienten wird als Punkt zwischen den beiden Enden markiert. In Millimetern wird dann die Distanz von „Kein Schmerz“ zur Markierung angegeben.

American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale

1994 entwickelte die Amerikanische Orthopädische Gesellschaft für Fuß und Knöchel (AOFAS= American Orthopaedic Foot and Ankle Society) ein Bewertungssystem, zur standardisierten Beurteilung des klinischen Status von Rückfuß und Sprunggelenk. Auch bekannt als AOFAS Ankle-Hindfoot-Scale (AOFAS-AHS) integriert das Bewertungssystem sowohl subjektive als auch objektive Faktoren in eine numerische Skala. 2014 erfolgten dann eine Übersetzung und Validierung des Scores für den deutschen Sprachraum (siehe Anhang: AOFAS Ankle Hindfoot Scale) (Tanja Kostuj, Schaper, Baums, & Lieske, 2014). Damit dieses Bewertungssystem von jedem Arzt problemlos genutzt werden konnte, wurde auf radiologische Faktoren verzichtet. Zudem sah man das OSG und USG zusammen mit dem Rückfuß als Bewegungseinheit an.

Mit insgesamt neun Fragen und einer maximalen Punktzahl von 100, setzt sich der Score zu 40 % aus der Bewertung des aktuellen Schmerzes, zu 50 % aus der Funktion und zu 10 % aus der Ausrichtung der Bewegungseinheit „Sprunggelenk“ zusammen.

Ein Score von 90 bis 100 Punkten widerspiegelt ein „ausgezeichnetes“ Ergebnis, 80 bis 89 Punkte zeigen ein „gutes“ Ergebnis, 60 bis 79 Punkte stehen für ein „befriedigendes“ Ergebnis, während ein Score mit weniger als 60 Punkten für ein „schlechtes“ Ergebnis steht (Ceccarelli, Calderazzi, & Pedrazzi, 2014; Kitaoka et al., 1994; TS Kostuj, Baums, & Lieske, 2014).

3.7 Radiologische Untersuchung

Zur radiologischen Beurteilung des Talus erfolgte vor oder nach der klinischen Nachuntersuchung, eine MRT-Aufnahme des operierten Sprunggelenkes. Vor Beginn der radiologischen Untersuchung erfolgte eine gesonderte Aufklärung zur Durchführung einer MRT-Untersuchung, um sämtliche Risiken zu erläutern und mögliche Kontraindikationen zu erkennen. Die Magnetresonanztomographie wurde auf einem 3-Tesla-Ganzkörperscanner (Verio, Siemens, Erlangen, Deutschland) unter Verwendung einer 8-Kanal-Kopfspule durchgeführt. Folgende Pulssequenzen wurden akquiriert: sagittale und koronare, intermediär gewichtete Turbospin-Echo (TSE)-Sequenzen (BLADE) mit spektraler Fettsättigung (Echozuglänge [ETL], 9; Repetitionszeit [TR], 4500 ms; Echozeit [TE], 46 ms; Sichtfeld [FOV] 140 mm; Auflösung in der Ebene 0,4 x 0,4 mm; Schichtdicke [ST] 3 mm) und sagittaler und koronarer, T1-gewichteter TSE-Sequenz mit Gleichgewichtspuls (DRIVE) für nativen arthrographischen Kontrast (ETL, 3; TR, 1000 ms; TE, 13 ms; FOV, 140 mm; Auflösung in der Ebene, 0,4 x 0,4 mm; ST, 3 mm). Aufgenommen wurden die Magnetresonanzbilder der betroffenen Sprunggelenke in Rückenlage und neutraler Sprunggelenkflexion sowie neutraler Tibiarotation.

Ziel der radiologischen Untersuchung war es den Gelenkstatus inkl. knöcherner und ligamentärer Strukturen, der Knorpel an Talus und distaler Tibia und insbesondere den Zustand des implantierten Knorpel-Knochen-Zylinders zu bewerten. Die Befundung

erfolgte unabhängig von jeweils zwei Orthopäden der Sektion für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar sowie einem langjährig erfahrenen Radiologen mit Spezialisierung auf muskuloskeletale Radiologie des Instituts für diagnostische und interventionelle Radiologie des Klinikums rechts der Isar. Mit Hilfe des Picture Archiving and communication System (PACS) wurde der radiologische Gelenksstatus unter Verwendung eines validierten Scores zur Verlaufsbeobachtung von Knorpeltherapien, dem Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue (MOCART) Score 2.0, beurteilt (Schreiner et al., 2019). Einer der Untersucher erhob insgesamt dreimal in einem zweiwöchigen Intervall den MOCART 2.0 Score von allen Patienten. Zur Vermeidung einer möglichen Verzerrung erfolgte die radiologische Befundung unter einfacher Verblindung der Untersucher.

Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue Score 2.0

Mit dem Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue (MOCART) Scoring-Verfahren wurde im Jahre 2004 eine neue Methode zur Bewertung von Knorpelreparaturgewebe mithilfe eines nicht-invasiven MRT-Scans vorgestellt. Zur Erkennung von kleinsten Abnormalitäten, wird während der MRT-Aufnahme eine zusätzliche Magnetspule (Array-Spule) über dem Untersuchungsbereich platziert, um somit eine MRT-Scan in höchster Auflösung zu erhalten. Die ursprünglichen neun Variablen (Defektfüllung, Integration, Oberfläche, Struktur, Signalstärke, subchondrale Lamina und Knochen, Adhäsionen, Synovitis/Gelenkserguss) ermöglichen eine genaue Beschreibung des Zustandes des reparierten Knorpelgewebes und einen Vergleich mit dem umgebenden nativen Knorpel (Marlovits et al., 2006).

Das MOCART-2.0-Klassifikationssystem besteht aus sieben Elementen und reicht von insgesamt 0 bis 100 Punkten (beste Punktzahl 100 Punkte; schlechteste Punktzahl 0

Punkte). Die maximalen Punkte (P.) der sieben Scoring- Elemente werden zu einer Gesamtsumme addiert: Volumen (20 P.), Integration (15 P.), Oberfläche (10 P.), Struktur (10 P.), Signalintensität (15 P.), knöcherne Defekte (10 P.), subchondrale Veränderungen (20 P.) (Schreiner et al., 2019).

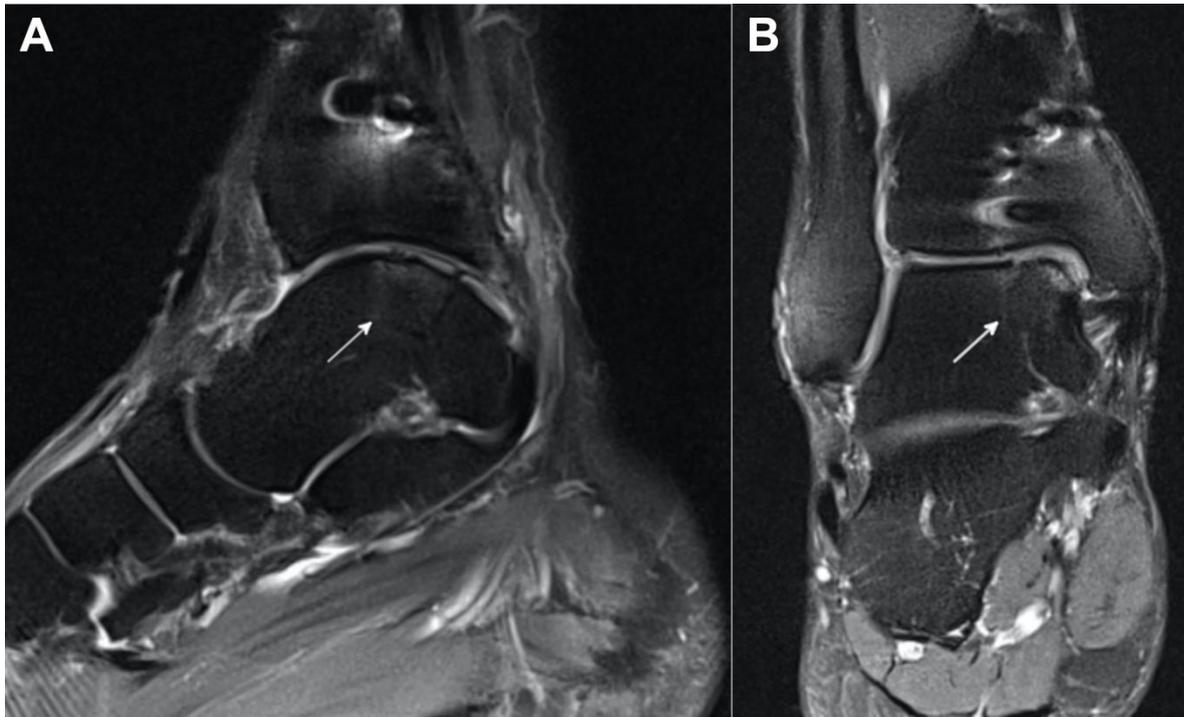


Abbildung 7: Postoperative MRT eines ersetzten Knorpeldefekts mittels OATS-Zylinder

Sagittal (A) und coronar (B); intermediär-gewichtete Turbospin-Echo-Sequenzen des rechten Sprunggelenks eines 26-jährigen männlichen Patienten (zur Zeit der OAT). MOCART 2.0 Score von 85 Punkten nach 19,3 Jahren FU. Der Patient erhielt eine OAT (1 Zylinder) und zusätzlicher Innenknöchelosteotomie. OAT, autologe osteochondrale Transplantation; MOCART, Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue.

3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Verarbeitung und Analyse der Daten erfolgte in dieser Studie sowohl mit Microsoft Excel 365 als auch IBM SPSS Statistics Version 26.0.

Entsprechend der einzelnen Fragestellungen wurden explorative Analysen sowohl mittels deskriptiver Verfahren als auch durch inferenzstatistische Methoden angegeben.

Die Verteilung kontinuierlicher Variablen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test beurteilt.

Normalverteilte Variablen wurden als Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite angegeben. Nicht normalverteilte Variablen wurden als Median und Interquartilabstand (IQR) angegeben. Mithilfe des Chi-Quadrat-Test oder des Exakten Test nach Fisher wurde der Gruppenvergleich (männlich vs. weiblich; Raucher vs. Nichtraucher; Läsionsgröße $< 1 \text{ cm}^2$ vs. $\geq 1 \text{ cm}^2$; frühere Sprunggelenksoperation ja vs. nein; klinisches Versagen ja vs. nein) für kategoriale Variablen durchgeführt. Kontinuierliche Variablen wurden unter Verwendung des ungepaarten t-Tests oder des Mann-Whitney-U-Tests verglichen. Anhand einer Spearman's Rangkorrelationsanalyse konnte der Zusammenhang zwischen radiologischen Ergebnissen (MOCART 2.0 Score) und klinischen Ergebnissen überprüft werden. Zur Bestimmung der mittleren geschätzten Überlebenszeit wurde die Kaplan-Meier-Methode angewendet. Für sämtliche statistischen Untersuchungen wurde das Signifikanzniveau auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

Insgesamt erfüllten 96 Patienten die Einschlusskriterien für die vorliegende Studie; wovon 60 Patienten (62,5 %) aufgrund nicht aktualisierten Kontaktdaten nicht erreicht wurden, ein Patient (1,0 %) war verstorben. Somit standen 35 (36,5 %) Patienten, mit einem Durchschnittsalter von $32,2 \pm 8,9$ Jahren zum Zeitpunkt der OAT am Talus, für die endgültige Nachuntersuchung zur Verfügung. Während patientenbezogene Daten von allen Studienteilnehmern (100 %) erhoben wurden, stimmten 20 (57,1 %) Patienten einer klinischen Untersuchung durch die Studienleitung sowie einer radiologischen Untersuchung des Sprunggelenks mittels Kernspintomografie zu. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum (Follow-up) entsprach $19,1 \pm 1,4$ (18,0 - 23,4) Jahre. Unter den 19 (54,3 %) Männern, sowie 16 (45,7 %) Frauen gab es insgesamt 8 (22,9 %) aktive Raucher. Der BMI des Studienkollektivs ergab einen Median von $26,4 \text{ kg/m}^2$ (IQR: 7,6). 28 (80,0 %) Patienten berichteten über ein Trauma in der Vorgeschichte. 74,3 % des Studienkollektivs erlebte ein- oder mehrmalig ein Distorsionstrauma des oberen Sprunggelenks. Insgesamt unterzogen sich elf (31,4 %) Teilnehmer vor der OAT schon einmal einem chirurgischen Eingriff in Zusammenhang mit dem Indexknöchel.

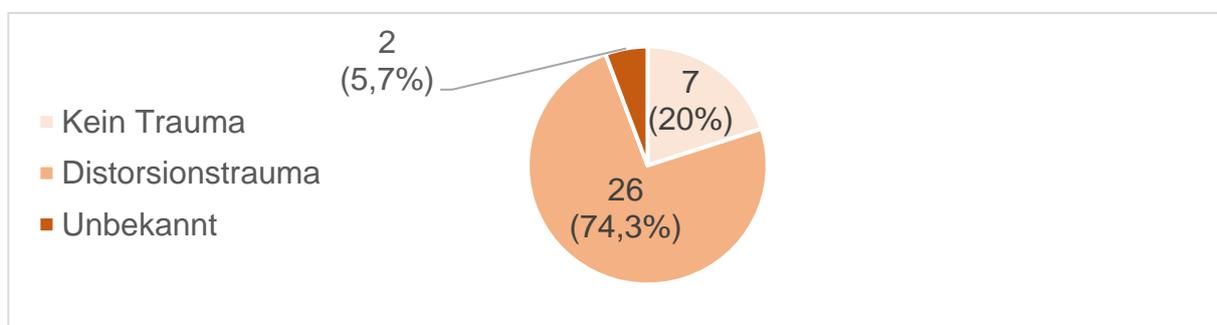


Abbildung 8: Ergebnisse der Traumaanamnese des Patientenkollektivs

Quelle: eigene Darstellung

Neben einem arthroskopischen Debridement des Knorpelschadens, zählten eine Sehnenplastik des Außenbandes und knochenmarkstimulierende (bone marrow stimulation = BMS) Verfahren zu relevanten Voroperationen (siehe Abb. 8 und 9).

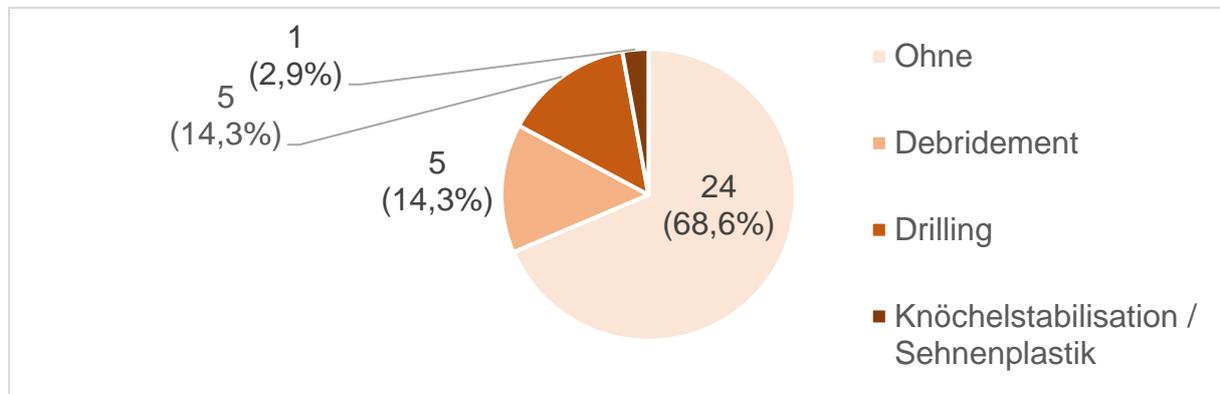


Abbildung 9: Ergebnisse der chirurgischen Vorgeschichte des Patientenkollektivs am Indexsprunggelenk

Quelle: eigene Darstellung

4.2 Ergebnisse der Operationsdaten

Die Auswertung der Operationsberichte der insgesamt 35 Studienteilnehmern ergab, dass bei 48,6 % der Patienten der Eingriff am rechten Sprunggelenk durchgeführt wurde. Bei 30 (85,7 %) Patienten wurde der Talus-OATS Eingriff in Verbindung mit einer Osteotomie des medialen Malleolus oder der anterolateralen Tibia durchgeführt. Im Gesamtkollektiv zeigten sich knapp 90 % der Läsionen zentral- bzw.-postero-medial in Zone 4 und Zone 7. Die durchschnittliche Größe des osteochondralen Schadens betrug $124,0 \pm 44,1 \text{ mm}^2$, wobei 21 (60 %) Patienten eine Läsionsgröße von $\geq 100 \text{ mm}^2$ aufwiesen. Bei 14 (40 %) Patienten mit einem Schaden von $< 100 \text{ mm}^2$ erfolgte die OATS mittels eines Zylinders, bei den restlichen 21 Patienten wurden jeweils zwei Zylinder verwendet. Weitere Operationsdaten sind in Tab.4 dargestellt.

Tabelle 4: Detaillierte Operationsdaten

Operationsdaten	Patientenkollektiv
Rechtes Sprunggelenk, n (%)	17 (48,6 %)
Linkes Sprunggelenk, n (%)	18 (51,4 %)
Läsionsgröße, n (%)	

< 100 mm ²	14 (40 %)
≥ 100mm ²	21 (60 %)
Betroffene Zone am Talus, n (%)	
Zone 1	2 (5,7 %)
Zone 2	0
Zone 3	0
Zone 4	21 (60 %)
Zone 5	1 (2,9 %)
Zone 6	5 (14,3 %)
Zone 7	10 (28,6 %)
Zone 8	0
Zone 9	1 (2,9 %)

n, Anzahl an Patienten. Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

4.3 Ergebnisse der Patientenbefragung

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren insgesamt 23 (65,7 %) Patienten mit dem postoperativen Zustand des betroffenen Sprunggelenks zufrieden oder sehr zufrieden. 25 (71,4 %) Patienten konnten ihren ursprünglichen (vor der Verletzung) Arbeitsalltag vollständig bzw. mit leichten Einschränkungen wieder aufnehmen. Insgesamt übten zum Untersuchungszeitpunkt 23 (65,7%) Patienten einen Vollzeitjob aus und sechs (17,1 %) Teilnehmer standen in einem Teilzeit Arbeitsverhältnis. Eine Arbeitsunfähigkeit bestand bei zwei (5,7%) Patienten, wobei eine Patientin hier einen Unfall in der Vorgeschichte als Grund dafür erwähnte (siehe Tab. 5).

Tabelle 5: Patientenbezogene Daten bzgl. Sport – und Berufsalltag aus der Patientenbefragung

Patientenbezogene Daten	Patientenkollektiv (n = 35)
Zufriedenheit postoperativ, n (%)	
Sehr zufrieden	10 (28,6 %)
Zufrieden	13 (37,1 %)
Etwas unzufrieden	4 (11,4 %)
Sehr unzufrieden	8 (22,9 %)
Arbeitsstatus, n (%)	
Vollzeit	23 (65,7%)
Teilzeit	6 (17,1 %)
Haushalt	3 (8,6 %)
Pensioniert	1 (2,9 %)
Arbeitsunfähig	2 (5,7 %)
Sportliche Aktivität, n (%)	
Keine Einschränkungen	6 (17,1 %)
Leichte Einschränkungen	8 (22,9 %)

Große Einschränkungen	13 (37,1 %)
Kein Sport mehr	8 (22,9 %)
Berufsalltag, n (%)	
Keine Einschränkungen	22 (62,9 %)
Leichte Einschränkungen	3 (8,6 %)
Große Einschränkungen	6 (17,1 %)
Umschulung/Arbeitsplatzwechsel/AU	4 (11,4 %)

Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

Bezogen auf ihre körperliche Fitness gaben 27 (77,1 %) der Studienteilnehmer an, sich auch nach dem Eingriff sportlich zu betätigen. Dabei kehrten 14 (40 %) Patienten vollständig bzw. mit geringen Limitationen auf ihr ursprüngliches Sportlevel zurück. Acht Patienten hingegen, waren nach der Operation nicht mehr sportlich aktiv. Unter den angegebenen Hauptsportarten, welche die Sporttreibenden (n= 27) vorrangig betrieben, zeigte sich eine große Vielfalt. Fitnessstraining und Fahrradfahren waren mit jeweils neun Patienten die am häufigsten durchgeführten Sportarten. Durchschnittlich betrieben die Patienten $3,6 \pm 4,6$ Stunden/Woche Sport. Weitere Einzelheiten zu den Hauptsportarten sind in Abb. 10 aufgeführt.



Abbildung 10: Balkendiagramm zur Darstellung der betriebenen Hauptsportarten nach OAT am Sprunggelenk

Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

4.4 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Bei insgesamt 20 der 35 Studienteilnehmer erfolgte eine klinische Untersuchung. Zwei Patienten (10 %) gaben ein intermittierendes, leichtes Taubheitsgefühl entlang der Narbe an. Eine erhöhte Berührungsempfindlichkeit (Hyperästhesie) sowie eine Druckdolenz über der Narbenregion konnte bei sechs (30 %) Patienten festgestellt werden.

Bei der klinischen Beurteilung des Bandapparates waren vier (20 %) Patienten am betroffenen Sprunggelenk nach medial erstgradig instabil. Ein vermehrter Talusvorschub, eine Instabilität der Peronealsehne oder der Syndesmose zeigte sich bei keinem Studienteilnehmer. Hinsichtlich des Bewegungsumfanges ergab sich im gesamten Untersuchungskollektiv ein durchschnittlicher schmerzfreier ROM des betroffenen Sprunggelenks von $54,9 \pm 13,9$ Grad.

4.5 Ergebnisse der Fragebögen und Scores

Foot and Ankle Outcome Score

Die insgesamt 35 Patienten bewerteten ihre Symptome am Sprunggelenk im Mittel mit $71 \pm 24,5$ (2 - 100) Punkten. Auch die Untergruppe Schmerz zeigte mit $77,3 \pm 21$ (39 - 100) Punkten ein vergleichbares Ergebnis. Die höchsten Werte zeigte die Untergruppe „Aktivitäten des täglichen Lebens“, wo die Patienten mit $83,3 \pm 18,5$ (46 - 100) Punkten eine sehr gute körperliche Belastbarkeit zeigten. Im Vergleich dazu zeigten sich die Patienten bei Sport- und Freizeitaktivitäten nach OAT eingeschränkter mit $57,7 \pm 34,3$ (0 - 100) erreichten Punkten. Ähnliches gilt für die Lebensqualität, wo im Mittel $47,8 \pm 28,6$ (6 - 100) Punkten angegeben wurden.

American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale

Im American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale (AOFAS), erreichte das untersuchte Kollektiv einen Mittelwert von $89,6 \pm 12,5$ (55 - 100) Punkten. Die Ergebnisse des FAOS sowie AOFAS sind graphisch in Abb. 11 dargestellt.

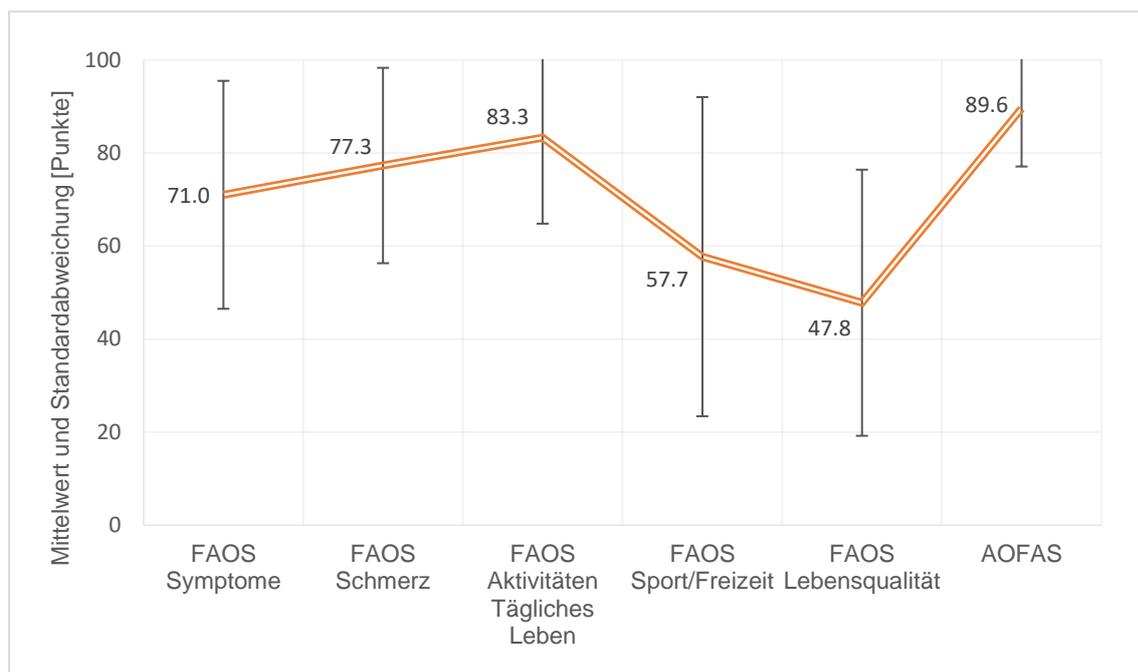


Abbildung 11: Ergebnisse der FAOS-Untergruppen sowie des AOFAS Scores

Angabe der Mittelwerte und Standardabweichung anhand von Fehlerbalken. FAOS, Foot and Ankle Outcome Score; AOFAS, American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale. Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

Visuell Analoge Schmerzskala für Sprunggelenk und Kniegelenk

Auf der Visuell Analogen Schmerzskala für das betroffene Sprunggelenk der Patienten, lag am Zeitpunkt der Nachuntersuchung der Mittelwert bei $3,1 \pm 2,9$ (0 – 8,1) Punkten. Die Schmerzintensität am betroffenen Kniegelenk, dem Spendergelenk für die Knochen-Knorpel-Zylinder, wurde vom Studienkollektiv im Durchschnitt mit $0,9 \pm 1,1$ (0 - 3,3) Punkten bewertet.

Tegner Aktivitätsskala

Die Auswertung der Tegner Aktivitätsskala, welche zusammen mit dem Lysholm Score die Aktivität bezogen auf das Kniegelenk (Entnahmestelle des Knochen-Knorpel-Zylinders) bewertet, ergab einen Median von 3 (IQR 2) mit einem Interquartilsabstand von zwei. Dies zeigt eine insgesamt Tendenz für das Aktivitätslevel drei, welches körperlich mittelschwerer Arbeit (z.B. Koch, Hausfrau, Krankenpflege) oder Leis-

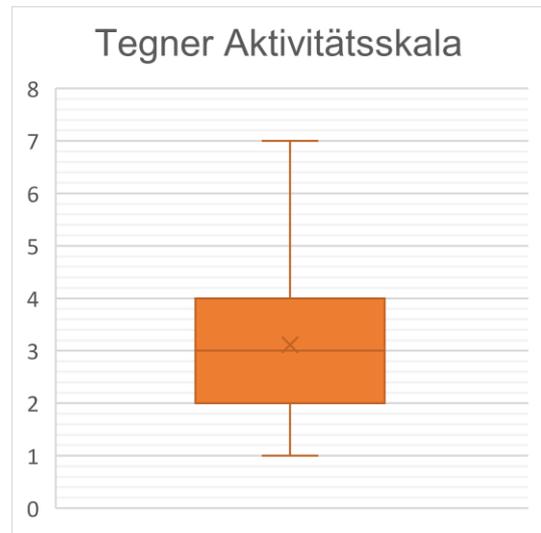


Abbildung 12: Ergebnisse der Tegner Aktivitätsskala

tungs- oder Freizeitsport (Schwimmen, Wandern ca. 5km/h) entspricht. Ein Studienteilnehmer betrieb sogar aktiven Leistungssport und stufte sich auf dem Aktivitätslevel sieben ein. Keiner der Teilnehmer war aufgrund von Knieproblemen, sprich der Entnahmemorbidity, arbeitsunfähig.

Lysholm Score

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte sich unter den Studienpatienten ein durchschnittlicher Lysholm Score von $82,2 \pm 21,6$ (0 - 100) Punkten. Insgesamt erreichten 22 (62,9 %) Patienten gute bis sehr gute Ergebnisse.

4.6 Radiologische Ergebnisse

Die Analyse der MRT-Aufnahmen ergab einen mittleren MOCART 2.0-Score von $73,7 \pm 16,7$ Punkten (40 - 100 Punkte). Zur Beurteilung der Intra- und Interrater-Zuverlässigkeit wurden Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) berechnet. Es bestand eine ausgezeichnete Intra- (ICC, 0,988 95 % CI [0,974, 0,995]) und Interrater-

Zuverlässigkeit (ICC, 0,965 95% CI [0,925, 0,985]) bei der Bewertung des ersetzten Knorpelgewebes auf der Grundlage des MOCART 2.0 Klassifizierungssystems (Koo & Li, 2016).

4.7 Komplikationen und Revisionen

Im vorliegenden Studienkollektiv zählten folgende Behandlungen als Revisionseingriff: die chirurgische Metallentfernung, das arthroskopische Debridement, eine Revision-OATS, die autologe matrix-induzierte Chondrogenese (AMIC), eine retrograde Anbohrung (Drilling) mit Spongiosaplastik und die Gelenksversteifung (Arthrodesen). Mit Ausnahme der Metallentfernung/Hardwareentfernung und des arthroskopischen Debridements, wurden die Revisionseingriffe aufgrund anhaltender/wiederkehrender Schmerzen, subjektiver Beschwerden der Patienten oder anhaltender Funktionseinschränkungen des Sprunggelenks, als klinisches Versagen definiert (K. H. Park et al., 2018). Die Zeit zwischen OAT am Talus und klinischem Versagen (Time to Failure) wurden erfasst und in Jahren angegeben.

Insgesamt erfolgte bei 25 (71,4 %) Patienten nach durchschnittlich $2,6 \pm 5,1$ Jahren (Spanne 0,2 – 18 Jahre) ein Revisionseingriff. Bei insgesamt 24 (68,6 %) Patienten wurde nach $1,6 \pm 3,9$ Jahren eine Metallentfernung durchgeführt. Ein arthroskopisches Debridement erfolgte bei drei (8,6 %) Studienteilnehmern. Zwei Patienten erhielten eine Revision-OATS, eine Knochentransplantation in Form einer retrograden Anbohrung mit Spongiosaplastik sowie eine autologe matrix-induzierte Chondrogenese (AMIC) wurden bei jeweils einem Patienten durchgeführt. Zudem wurde bei zwei Patienten eine Arthrodesen des Sprunggelenkes durchgeführt.

Im gesamten Studienkollektiv erfüllten sechs (17,1 %) Patienten die Kriterien für ein klinisches Versagen. Dies trat im Durchschnitt nach $12,2 \pm 6,6$ Jahre (Spanne 4,0 - 19,0 Jahre) nach der OAT auf.

Es wurde keine Morbidität an der Entnahmestelle am Knie angegeben.

Die Überlebensanalyse ergab eine mittlere geschätzte Überlebenszeit von 21,3 Jahren (95 % Konfidenzintervall [19,56 - 22,98]) für die OAT bei der Behandlung von OLT. Dabei betragen die Überlebensraten nach 5, 10, 15 und 20 Jahren 94,3 %, 94,3 %, 91,4 % bzw. 77,9 %. Die Überlebensraten sind graphisch in Abb. 13 dargestellt.

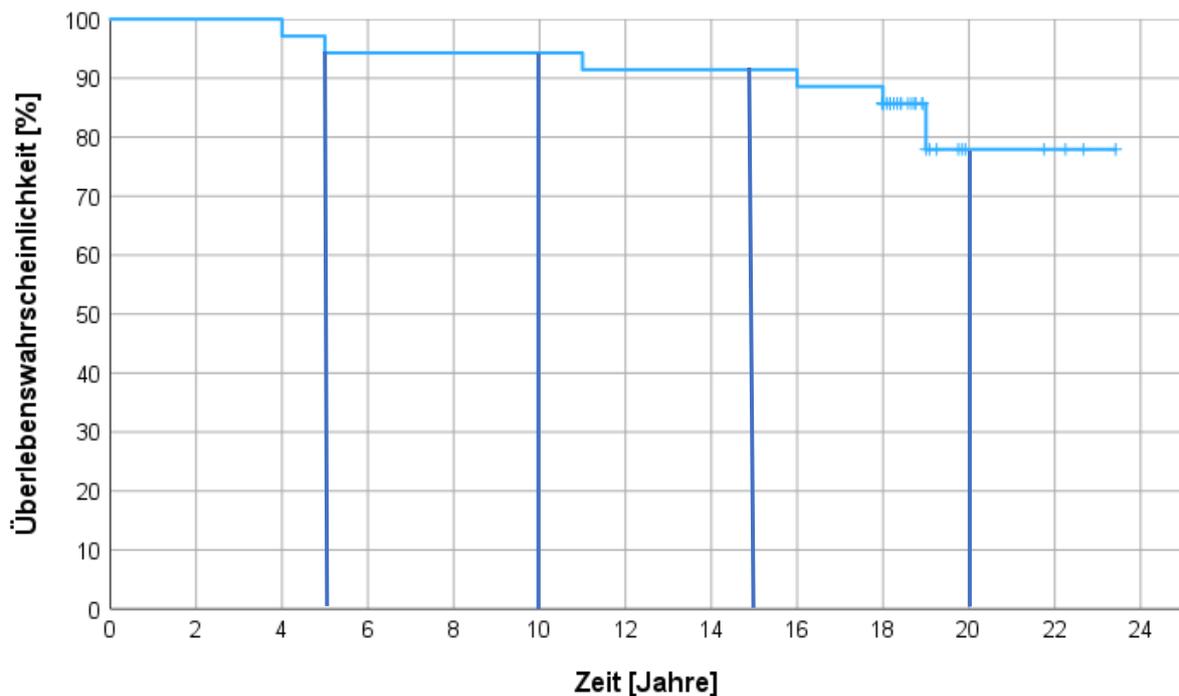


Abbildung 13: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse

Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeit nach 5, 10, 15, 20 Jahren. Als Endpunkt wurde das Klinische Versagen definiert. Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

4.8 Korrelationsanalyse

Eine Subgruppenanalyse (männlich vs. weiblich; Raucher vs. Nichtraucher, Patienten mit einer Läsionsgröße $< 100\text{mm}^2$ vs. $\geq 100\text{mm}^2$; Patienten mit vs. ohne

vorangegangene Knöcheloperation) ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede innerhalb der erhobenen Parameter. Es konnte jedoch eine statistisch signifikante und positive Korrelation zwischen dem MOCART 2.0 - Score und der FAOS-Untergruppe Sport und Freizeitaktivitäten (Sport/Freizeit) festgestellt werden (r_s , 0,491; p = 0,033), was in Abb. 14 graphisch dargestellt ist. Weitere Einzelheiten der Korrelationsanalyse sind in Tab. 6 dargestellt.

Tabelle 6: Korrelationsanalyse zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen

	MOCART 2.0 Score
FAOS Symptome	$r_s = 0.055$ $p = 0.823$
FAOS Schmerz	$r_s = 0.274$ $p = 0.256$
FAOS Sport/Freizeit	$r_s = 0.491$ $p = 0.033$
FAOS Aktivität tgl. Leben	$r_s = 0.209$ $p = 0.391$
FAOS Lebensqualität	$r_s = 0.173$ $p = 0.478$
AOFAS	$r_s = 0.029$ $p = 0.905$
VAS Sprunggelenk	$r_s = -0.152$ $p = 0.535$
VAS Kniegelenk	$r_s = -0.076$ $p = 0.757$
Lysholm Score	$r_s = 0.276$ $p = 0.252$
Tegner Activity Scale	$r_s = 0.237$ $p = 0.328$
ROM	$r_s = 0.440$ $p = 0.059$
Sporthäufigkeit	$r_s = -0.007$ $p = 0.977$

FAOS, Foot and Ankle Outcome Score; AOFAS, American Orthopaedic Foot and Ankle Society Ankle-Hindfoot Scale; VAS, Visuell Analoge Schmerzskala; ROM, Range of motion; MOCART 2.0, Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue 2.0 classification system; r_s , Spearman's Korrelation; p , P-Wert; Quelle in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

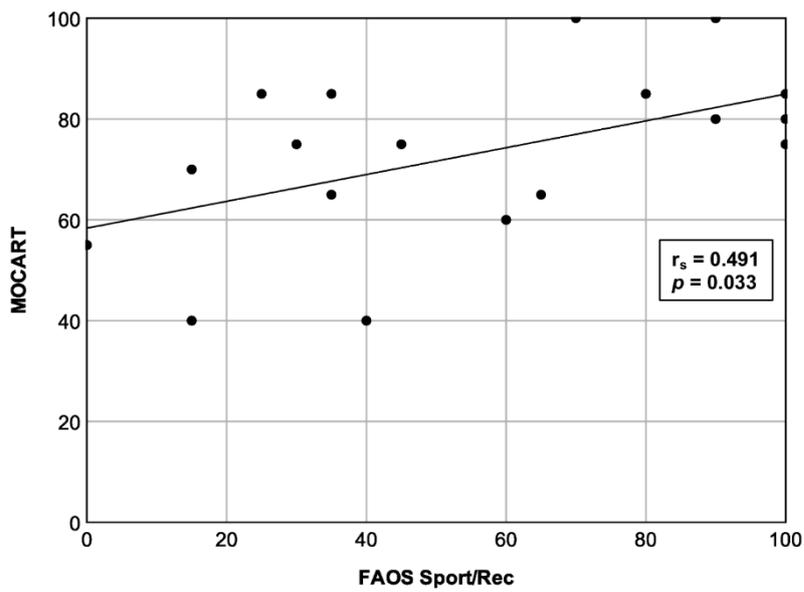


Abbildung 14: Korrelation zwischen MOCART 2.0 und der FAOS Untergruppe Sport und Freizeitaktivitäten

FAOS, Foot and Ankle Outcome Score; Sport/Rec, Sport and Recreational activities (Freizeitaktivitäten); r_s , Spearman's Rangkorrealtion; p , P-Wert. Quelle: in Anlehnung (Winkler et al., 2023)

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Studie war es die klinischen, funktionellen und radiologischen Langzeitergebnisse von Patienten nach autologer osteochondraler Transplantation mittels OATS- Technik bei osteochondraler Läsion zu erheben. Dabei sollte eine Korrelationsanalyse zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen durchgeführt werden. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Patienten nach Talus OATS zufriedenstellende klinische und radiologische Langzeitergebnisse erzielen. Des Weiteren wurde angenommen, dass es keine Korrelation zwischen den radiologischen und klinischen Ergebnissen gibt.

Die wichtigste Erkenntnis dieser Studie war: Das OATS - Verfahren ist eine sichere und praktikable Behandlungsmöglichkeit von fortgeschrittenen osteochondralen Schäden am Talus. Sie zeigt gute klinische Langzeitergebnisse mit einer hohen Patientenzufriedenheit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Ungefähr zwei Drittel des Patientenkollektivs zeigte sich nach einem Follow-up von circa 20 Jahren körperlich gut belastbar und hatte eine akzeptable Rate an sportlichen sowie beruflichen Einschränkungen. Eine 20 - Jahres-Überlebensrate von fast 80 % unterstreicht die hohe klinische Wirksamkeit der OAT. Des Weiteren zeigte sich eine signifikante und positive Korrelation zwischen der MRT des ersetzten Knorpels und der FAOS-Subskala „Aktivitäten des täglichen Lebens“.

Bei 96 eingeschlossenen Patienten, welche aufgrund einer OLT eine OAT erhielten, standen 35 Patienten nach einem Follow-up von $19,1 \pm 1,4$ Jahren zur Nachuntersuchung zur Verfügung. In Anbetracht des langen Nachuntersuchungszeitraums und im Vergleich zu anderen Arbeiten mit kürzerem Follow-up ist dies eine angemessene Stichprobengröße. Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer von $32,2 \pm 8,9$

Jahren zum Zeitpunkt der OAT, deckt sich mit dem Großteil der Literatur und zeigt, dass eine OLT besonders junge Menschen und somit häufig sportlich aktive Menschen betrifft (Fraser et al., 2016; Andreas B Imhoff et al., 2011; Kennedy & Murawski, 2011; Scranton Jr et al., 2006; Shimozone et al., 2018). 80,0 % der Teilnehmer berichteten von einem traumatischen Ereignis in der Vorgeschichte. Unter den Ursachen zeigte sich eine OSG-Distorsion als häufigster Auslöser für die Entwicklung einer OLT. Abhängig vom Unfallmechanismus konnten dabei verschiedene Lokalisationen des osteochondralen Schadens gezeigt werden. In der vorliegenden Studie befand sich die OLT zu 90 % medial gelegen, wobei 60 % der Läsionen der Zone 4 des Neun-Zonen-Rasters zuzuordnen waren. Diese Ergebnisse entsprechen den Daten anderer Arbeiten, welche die gehäufte mediale Manifestation einer OLT beschreiben (Raikin et al., 2007; Verhagen et al., 2003).

In der vorliegenden Studie zeigten die Patienten nach durchschnittlich 19,1 Jahren einen mittleren AOFAS-Score von $89,6 \pm 12,5$ Punkten nach OAT zur Behandlung von OLT. Dies deutet auf ein sehr gutes klinisches Ergebnis im langfristigen Follow-up hin. Nachdem Arbeiten zur OATS-Technik mit vergleichbarem Nachuntersuchungszeitraum fehlen, ist vor allem auch der Vergleich zu anderen Therapiemöglichkeiten der OLT von Relevanz: In einer Studie mit 189 Patienten, die sich einer primären arthroskopischen BMS bei OLT unterzogen, wurden nach durchschnittlich 13,9 Jahren signifikante Verbesserungen (prä-OP bis letzte Nachuntersuchung) der VAS-Schmerzwerte ($7,1 \pm 1,7$ vs. $2,0 \pm 1,7$) und des AOFAS-Scores ($58,2 \pm 13,6$ Punkte vs. $82,8 \pm 11,7$ Punkte) festgestellt. Trotz zufriedenstellender funktioneller kurzfristiger Ergebnisse (FU: 1 J.) stellten die Autoren eine erneute Verschlechterung beider Werte zum Zeitpunkt der langfristigen Nachuntersuchung (FU: > 10 J.) fest (J. H. Park, Park, Cho, Han, & Lee, 2021). Zufriedenstellende klinische und funktionelle Langzeitergebnisse

nach arthroskopischer BMS wurden in einer neueren systematischen Übersichtsarbeit bestätigt, in der ein gewichteter mittlerer AOFAS-Score ($n = 252$) von 83,8 Punkten nach einer Nachbeobachtungszeit von mindestens acht Jahren ermittelt wurde (Rikken, Dahmen, Stufkens, & Kerkhoffs, 2021). Der Erfolg von BMS-Verfahren hängt wesentlich von der Läsionsgröße der OLT ab. So zeigte sich eine Verschlechterung des Therapieerfolges mit der Zunahme der Defektgröße (Ramponi et al., 2017). Eine Überlebensanalyse zeigte, dass Patienten, die sich einer arthroskopischen BMS unterzogen und deren OLT eine Größe von $\geq 150 \text{ mm}^2$ aufwiesen, bei der mittel- und langfristigen Nachbeobachtung eine signifikant niedrigere Überlebensrate hatten als Patienten mit kleineren OLT (J. H. Park et al., 2021; Shim et al., 2021). Diese Ergebnisse führen dazu, dass für die Behandlung größerer OLT andere chirurgische Verfahren wie beispielsweise die ACI oder OAT empfohlen werden.

Nach einem mittleren Follow-up von zwölf Jahren zeigte die matrixinduzierte ACI bei 15 Patienten, welche eine mittlere Läsionsgröße von 204 mm^2 aufwiesen, eine signifikante Verbesserung des AOFAS-Scores im Vergleich zur präoperativen Situation ($60 \pm 15 \text{ P.}$ vs. $84 \pm 8 \text{ P.}$) (Lenz, Tan, Carey, Ang, & Schneider, 2020). Die guten Ergebnisse wurden durch eine andere Studie bestätigt, in welcher sich 29 Patienten nach einer fehlgeschlagenen BMS einer ACI der ersten Generation unterzogen. Nach einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 5,8 Jahren wurde hierbei ein mittlerer AOFAS-Wert von 85,9 Punkten ermittelt (Kwak et al., 2014).

Die Ergebnisse der PROs (AOFAS, FAOS, Tegner Aktivitätsskala, Lysholm Score, VAS) sind vergleichbar mit denen früherer Studien (Shim et al., 2021; Shimozono et al., 2018). Hervorzuheben ist das Ergebnis von $89,6 \pm 12,5$ Punkten im AOFAS Score, was einen sehr guten klinischen Status des Fußes und des Sprunggelenks, auch nach einem langen Nachuntersuchungszeitraum, unterstreicht. Dieses Ergebnis ist im

Einklang mit den mittelfristigen Resultaten einer Studie von Fraser et al. aus dem Jahre 2016 (Fraser et al., 2016). Vor allem bei der Betrachtung möglicher Einschränkungen bei Aktivitäten des Täglichen Lebens konnte die vorliegende Studie hervorragende Langzeitergebnisse liefern (FAOS-Aktivitäten des tgl. Lebens $83,3 \pm 18,5$ Punkten). Folglich scheint die Wiederherstellung der biomechanischen Eigenschaften der nativen Knorpel-Knochen-Einheit durch OAT eine praktikable Behandlungsmodalität für die Behandlung von OLT zu sein, die bis zu 20 Jahre lang günstige Ergebnisse liefert.

Die Patienten dieser Arbeit hatten eine mittlere Läsionsgröße von 124 mm^2 , während in Studien, in denen BMS und ACI zur Behandlung von OLT untersucht wurden, eine mittlere Läsionsgröße von $100 - 105 \text{ mm}^2$ bzw. $198-204 \text{ mm}^2$ angegeben wurde (Park 2021, Rikken 2021, Lenz 2020, Kwak 2014). Folglich deuten die verfügbaren Daten darauf hin, dass BMS, ACI und OAT jeweils zu zufriedenstellenden klinischen und funktionellen Langzeitergebnissen führen können, wenn sie in Abhängigkeit von der Größe der OLT richtig indiziert sind.

Die autologe osteochondrale Transplantation zur Behandlung von OLT führt nachweislich zu einer hohen Patientenzufriedenheit bei der mittelfristigen Nachuntersuchung (Andreas B Imhoff et al., 2011, Shimozone et al., 2018), Shim et al., 2021). Es gibt jedoch kaum Studien, die eine Nachbeobachtungszeit von mehr als 10 Jahren aufweisen. Daher sind die langfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse dieser Arbeit für eine Knorpel-Knochen-Transplantation bei der Behandlung von osteochondralen Schäden am Talus von hoher Relevanz.

In der vorliegenden Studie hingegen betrug das Mindest-Follow-up 18 Jahre. Nach einem durchschnittlichen Follow-up von $19,1 \pm 1,4$ Jahren, zeigten sich ungefähr 70 % der 35 Studienteilnehmern zufrieden bis sehr zufrieden. In der klinischen

Untersuchung zeigte sich ein guter ROM für die Plantarflexion und die Dorsalextension von $54,9 \pm 13,9$ Grad, ohne signifikanten Unterschied zum nicht-betroffenen Sprunggelenk. Obwohl 86 % der Patienten eine Osteotomie des medialen Malleolus oder der anterolateralen Tibia erhielten, um eine angemessene Freilegung der Läsion zu erreichen, zeigten alle Studienteilnehmer in der Nachuntersuchung reizlose Narbenverhältnisse und eine konsolidierte Situation des Innenknöchels. Bei 69 % erfolgte nach $1,6 \pm 3,9$ Jahren eine Metallentfernung. Gründe dafür waren einerseits das junge Patientenalter und / oder prominente Schraubenköpfe am Innenknöchel, welche auf Dauer in einer Beeinträchtigung für den Patienten resultieren hätte können.

Aufgrund des sehr jungen Patientenalters zum Zeitpunkt des Index Eingriffs ist die Rückkehr zum Sport ein zentrales Element der Nachsorge bei OAT. 77,0 % der Patienten in der vorliegenden Studie waren auch nach dem Eingriff sportlich aktiv. Dieses Ergebnis unterstützt andere mittelfristige Resultate. So waren in einer Untersuchung von Paul et al. bei einem Follow-up von $5 \pm 2,4$ Jahren nach OAT 89,3 % der Patienten sportlich aktiv. Im Vergleich zum präoperativen Zeitraum zeigte sich aber eine Änderung der betriebenen Sportarten mit einer Reduktion von Sportarten, welche das Sprunggelenk stark belasten (z.B. Fußball, Tanzen, Inlineskating) (Jochen Paul et al., 2012). Auch in der vorliegenden Studie präferierten die Patienten Sportarten mit geringer Belastung des Talus. Ein Viertel des Kollektivs gab Fahrradfahren als Hauptsportart an.

Zur radiologischen Beurteilung der Knorpeltherapien wird das MOCART 2.0 Bewertungssystem verwendet, um die Qualität des talaren Knorpelreparaturgewebes mit dem umgebenden nativen Gewebe zu vergleichen. In der vorliegenden Studie bekamen 20 Patienten bei der finalen Untersuchung eine MRT basierte Beurteilung des operierten Sprunggelenks.

Nach matrixinduzierter ACI (n = 15) und AMIC (n = 33) zur Behandlung von OLT konnte nach einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 12 Jahren bzw. 4,7 Jahren keine Korrelation zwischen dem MOCART-Score und den klinischen Ergebnissen festgestellt werden (Lenz et al., 2020; Weigelt, Hartmann, Pfirrmann, Espinosa, & Wirth, 2019). Während eine andere Studie zwar einen besseren AOFAS Score bei Patienten mit guter Gelenksoberfläche zeigte, konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der MRT- morphologische Bildgebung und den klinischen Ergebnissen nach OAT bei OLT gezeigt werden (Andreas B Imhoff et al., 2011). Bei einem mittleren MOCART 2.0 Score von $73,7 \pm 16,7$ Punkten zeigt diese Studie eine vielversprechende Qualität des Knorpelreparaturgewebes, was die Langlebigkeit der OATS-Technik unterstreicht. Entgegen der ursprünglichen Hypothese dieser Arbeit konnte eine signifikante und positive Korrelation zwischen dem MOCART 2.0-Score und der FAOS-Subskala Sport/Freizeit festgestellt werden. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass ein besser inkorporiertes osteochondrales Autotransplantat eine geringere Beeinträchtigung bei Sport – und Freizeitaktivitäten des Patienten mit sich bringt.

Laut früheren Untersuchungen liegt die klinische Versagerquote nach einer OAT bei 1 - 24 % nach 5 - 8 Jahren Nachbeobachtung (K. H. Park et al., 2018; Shim et al., 2021; Shimozone et al., 2018). In einigen Studien wurden zwar Risikofaktoren für klinisches Versagen, wie z.B. eine größere Läsion oder eine sekundäre OAT im Vergleich zur primären OAT, genannt, jedoch wurden bisher keine konsistenten Faktoren für ein klinisches Versagen ermittelt (Andreas B Imhoff et al., 2011; K. H. Park et al., 2018). In der vorliegenden Arbeit erfüllten sechs Patienten die Kriterien eines klinischen Versagens, wobei sich keine Verbindung zu demografischen, chirurgischen oder verletzungsbedingten Merkmalen zeigte. Mit einer Überlebensrate von 77,9 % nach 20

Jahren und einer mittleren geschätzten Überlebenszeit von 21,3 Jahren, unterstreicht diese Arbeit die hohe Relevanz der OAT bei größeren osteochondralen Schäden.

Die Morbidität an der Entnahmestelle ist, Berichten zufolge, die häufigste Komplikation nach einer OAT und tritt bei 2 - 14 % der Patienten auf (Flynn et al., 2016; Andreas B Imhoff et al., 2011; Shimozono et al., 2018; Toker et al., 2020). Die Beurteilung einer möglichen Funktionseinschränkung am Kniegelenk / Spendergelenk erfolgte in der aktuellen Arbeit anhand zweier Bewertungssysteme. Die Ergebnisse der Tegner Aktivitätsskala (Median 3, IQR 2) und des Lysholm Scores ($82,2 \pm 21,6$ P.) spiegeln eine intakte Funktionalität und Belastbarkeit der Entnahmestelle wider. Basierend auf der Visuell Analogen Schmerzskala, welche für das Kniegelenk erhoben wurde, klagte keiner der Patienten in dieser Studie über Schmerzen oder Unwohlsein an der Entnahmestelle. Bereits die Übersichtsarbeit von Shimozono et al. konnte zeigen, dass die Morbidität an der Spenderstelle mit längerer Nachbeobachtung abnimmt (Shimozono et al., 2018).

5.1 Limitationen dieser Studie

Die größte Stärke dieser Studie ist die lange Nachbeobachtungszeit von durchschnittlich 19,1 Jahren, welche bis dato nicht in der Literatur beschrieben war. Ein so langes Follow-up geht jedoch mit Einschränkungen, wie einer höheren Drop-out-Rate und dem Fehlen von präoperativen Scores, einher. Fast 63 % der Patienten konnten nicht nachverfolgt werden, da sie ihren Wohnsitz oder ihre Kontaktdaten geändert hatten. Dennoch wurden 35 Patienten in diese Studie aufgenommen, was eine angemessene Stichprobengröße darstellt. Des Weiteren stimmte nicht jeder Teilnehmer einer MRT-Untersuchung zu, was zu einer radiologischen Beurteilung von nur 20 Teilnehmern führte. Eine weitere Einschränkung dieser Studie war das Fehlen von Kontroll- oder

Vergleichsgruppen, wie Patienten, die nicht operativ behandelt wurden, oder Patienten, die sich einem anderen Knorpelwiederherstellungsverfahren unterzogen hatten. Diese Einschränkung bezieht sich auf das retrospektive Design dieser Studie. Künftige, prospektive Studien sollten Kontroll- und Vergleichsgruppen einbeziehen, um die am besten geeignete Behandlung, in Abhängigkeit vom Knorpeldefekt, zu ermitteln und so ein individualisiertes Management bei der Behandlung von OLT zu ermöglichen.

6 Schlussfolgerung

Die autologe osteochondrale Transplantation ist ein sicheres und praktikables Verfahren zur Behandlung von OLT, das günstige klinische und funktionelle Ergebnisse ohne Morbidität an der Spenderstelle und einer 20 - Jahres-Überlebensrate von fast 80 % erzielt. Die hohe Patientenzufriedenheit in Verbindung mit einer akzeptablen Rate an Einschränkungen bei den Aktivitäten des täglichen Lebens sowie der sportlichen und beruflichen Leistungsfähigkeit unterstreichen den klinischen Wert der AOT. Des Weiteren zeigte diese Studie in der radiologischen Auswertung eine vielversprechende Qualität des Knorpelreparaturgewebes, was die Langlebigkeit der OATS-Technik unterstreicht. Dabei kann bei einem besser inkorporierten osteochondralen Autotransplantat in der MR- Bildgebung, eine geringere Beeinträchtigung bei Sport – und Freizeitaktivitäten des Patienten erwartet werden

7 Zusammenfassung

Osteochondrale Läsionen des Talus (OLT) sind in der Regel traumatische Verletzungen, die mit einer frühen Verschlechterung der Gelenksfunktion und funktionellen Einschränkungen einhergehen. Unbehandelt führen sie zu einem degenerativen Gelenkverschleiß und resultieren im schlimmsten Fall in einer Sprunggelenksarthrose. Heutzutage existieren je nach Größe des osteochondralen Defekts unterschiedliche Therapiemöglichkeiten. Kleinere, nicht-dislozierte OLT werden entweder konservativ oder mit knochenmarkstimulierenden Verfahren (BMS) behandelt. Im Falle ausgedehnter subchondraler Knorpelschäden oder fehlgeschlagener Voroperationen, ist die autologe osteochondrale Transplantation (OAT) jedoch oft die letzte Chance zur gelenkerhaltenden Therapie. Während bereits vielversprechende kurz- und mittelfristige Ergebnisse nach OAT bei OLT existieren, fehlen langfristige Resultate in der Literatur bislang. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher diese Lücke zu füllen und die klinischen und radiologischen Langzeitergebnisse von Patienten, die sich einer OAT mittels OATS zur Behandlung von OLT unterzogen haben, zu untersuchen. Des Weiteren wurde eine Korrelationsanalyse zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen durchgeführt, um einen möglichen Zusammenhang dieser festzustellen.

96 Patienten, die zwischen 1997 und 2003 eine OAT bei OLT erhielten, wurden auf Einschlusskriterien der Studie geprüft. 35 Patienten, mit einem Durchschnittsalter von $32,2 \pm 8,9$ Jahren zum Zeitpunkt der OAT, waren nach durchschnittlich $19,1 \pm 1,4$ Jahren für eine Nachuntersuchung verfügbar. Anhand von standardisierten Fragebögen und Scores konnten patientenbezogenen Daten (PROs) sowie allgemeine soziodemographische Daten erhoben werden. Folgende Scores wurden zur Beurteilung des Sprunggelenks verwendet: AOFAS-Score (American Orthopaedic Foot & Ankle Society), der FAOS (Foot and Ankle Outcome Score), die Tegner-Aktivitätsskala und

die Visuell Analoge Schmerzskala (VAS). Der Lysholm-Score und die VAS für Knie-schmerzen wurden erhoben, um die Morbidität der Entnahmestelle am Knie zu beurteilen. Bei 20 Patienten erfolgte zudem eine klinische Untersuchung sowie eine MRT basierte radiologische Beurteilung des Knorpelreparaturgewebes anhand des Klassifizierungssystem Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue (MOCART) 2.0.

80,0 % der OLT waren traumatisch bedingt, wobei die Mehrheit an der medialen Taluskante lokalisiert war. Im gesamten Studienkollektiv konnten günstige klinische (PROs) und radiologische Ergebnisse (MOCART-Score, $73,7 \pm 16,7$ Punkte), ohne Entnahmemorbidität am Kniegelenk, gezeigt werden. 23 (65,7 %) Patienten waren mit der chirurgischen Behandlung zufrieden oder sehr zufrieden. 25 (71,4 %) bzw. 14 (40,0 %) Patienten hatten keine bzw. geringe Einschränkungen in ihrer beruflichen oder sportlichen Leistungsfähigkeit. Insgesamt kehrten 77,1 % zu einer sportlichen Aktivität zurück. Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem MOCART und der FAOS-Subskala für Sport- und Freizeitaktivitäten festgestellt werden (r_s , 0,491; $p = 0,033$). Im gesamten Kollektiv erfüllten sechs (17,1 %) Patienten die Kriterien für klinisches Versagen, was in einer geschätzten Überlebenszeit von 21,3 Jahren resultiert.

Zusammenfassend ist die OAT ein sicheres und praktikables Verfahren zur Behandlung von OLT, das günstige klinische und funktionelle Ergebnisse und eine 20 - Jahres-Überlebensrate von fast 80 % erzielt, ohne dass es zu einer Morbidität an der Entnahmestelle kommt. Die hohe Patientenzufriedenheit in Verbindung mit einer akzeptablen Rate an Einschränkungen in der sportlichen und beruflichen Belastbarkeit unterstreichen den klinischen Wert der OAT. Eine Rückkehr zur sportlichen Aktivität kann erwartet werden.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Fußes und Einteilung des Talus.....	2
Abbildung 2: Arterielle Versorgung des Talus.....	4
Abbildung 3: Bogenförmiger Hautschnitt bei medialen OLT	22
Abbildung 4: Darstellung Osteochondralen Defektzone nach Innenknöchelosteotomie	22
Abbildung 5: Entnahme der Defektzylinder.....	24
Abbildung 6: Neun-Zonen-Raster	25
Abbildung 7: Postoperative MRT eines ersetzten Knorpeldefekts mittels OATS- Zylinder.....	34
Abbildung 8: Ergebnisse der Traumaanamnese des Patientenkollektivs	36
Abbildung 9: Ergebnisse der chirurgischen Vorgeschichte des Patientenkollektivs am Indexsprunggelenk	37
Abbildung 10: Balkendiagramm zur Darstellung der betriebenen Hauptsportarten nach OAT am Sprunggelenk	39
Abbildung 11: Ergebnisse der FAOS-Untergruppen sowie des AOFAS Scores.....	41
Abbildung 12: Ergebnisse der Tegner Aktivitätskala	42
Abbildung 13: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse.....	44
Abbildung 14: Korrelation zwischen MOCART 2.0 und der FAOS Untergruppe Sport und Freizeitaktivitäten.....	46

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der OCL nach ICRS. Basierend auf Arthroskopie	9
Tabelle 2: Einteilung der OCL nach Imhoff. Basierend auf Röntgen, MRT und Arthroskopie	9
Tabelle 3: Einteilung der OD nach Berndt & Harty. Basierend auf Röntgen.....	11
Tabelle 4: Detaillierte Operationsdaten	37
Tabelle 5: Patientenbezogene Daten bzgl. Sport – und Berufsalltag aus der Patientenbefragung	38
Tabelle 6: Korrelationsanalyse zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen	45

10 Literatur

- Baltzer, A. W., & Arnold, J. P. (2005). Bone-cartilage transplantation from the ipsilateral knee for chondral lesions of the talus. *Arthroscopy*, *21*(2), 159-166. doi:10.1016/j.arthro.2004.10.021
- Becher, C., Malahias, M. A., Ali, M. M., Maffulli, N., & Thermann, H. (2019). Arthroscopic microfracture vs. arthroscopic autologous matrix-induced chondrogenesis for the treatment of articular cartilage defects of the talus. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, *27*(9), 2731-2736.
- Berndt, A. L., & Harty, M. (1959). Transchondral fractures (osteochondritis dissecans) of the talus. *JBJS*, *41*(7), 1363.
- Braun, S., Vogt, S., & Imhoff, A. B. (2007). Stadiengerechte operative Knorpeltherapie. *Der Orthopäde*, *36*(6), 589-600. doi:10.1007/s00132-007-1095-2
- Briggs, K. K., Steadman, J. R., Hay, C. J., & Hines, S. L. (2009). Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *The American journal of sports medicine*, *37*(5), 898-901.
- Brill, R., & Hempfling, H. (2016). Taluskantenläsionen. *OUP 2016*, *12*, 708–715.
- Bruns, J., & Rosenbach, B. (1989). Osteochondrosis dissecans tali. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, *127*(05), 549-555.
- Buckley, R., & Sands, A. (2010). AO Foundation. *Talus Anatomy*. Retrieved from <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/talus/body/definition#fracture-occurrence>
- Ceccarelli, F., Calderazzi, F., & Pedrazzi, G. (2014). Is there a relation between AOFAS ankle-hindfoot score and SF-36 in evaluation of Achilles ruptures treated by percutaneous technique? *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, *53*(1), 16-21.
- Choi, W. J., Park, K. K., Kim, B. S., & Lee, J. W. (2009). Osteochondral lesion of the talus: is there a critical defect size for poor outcome? *The American journal of sports medicine*, *37*(10), 1974-1980.
- Christensen, B. B. (2016). Autologous tissue transplantations for osteochondral repair. *Dan Med J*, *63*(4), B5236.
- Dombrowski, M. E., Yasui, Y., Murawski, C. D., Fortier, L. A., Giza, E., Haleem, A. M., Hamid, K., Tuan, R., Zhang, Z., & Schon, L. C. (2018). Conservative management and biological treatment strategies: proceedings of the international consensus meeting on cartilage repair of the ankle. *Foot & ankle international*, *39*(1_suppl), 9S-15S.
- Flick, A., & Gould, N. (1985). Osteochondritis dissecans of the talus (transchondral fractures of the talus): review of the literature and new surgical approach for medial dome lesions. *Foot & ankle*, *5*(4), 165-185.
- Flynn, S., Ross, K. A., Hannon, C. P., Yasui, Y., Newman, H., Murawski, C. D., Deyer, T. W., Do, H. T., & Kennedy, J. G. (2016). Autologous osteochondral transplantation for osteochondral lesions of the talus. *Foot & ankle international*, *37*(4), 363-372.
- Fraser, E. J., Harris, M. C., Prado, M. P., & Kennedy, J. G. (2016). Autologous osteochondral transplantation for osteochondral lesions of the talus in an athletic population. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, *24*(4), 1272-1279.
- Gelberman, R. H., & Mortensen, W. W. (1983). The arterial anatomy of the talus. *Foot & ankle*, *4*(2), 64-72.

- Guettler, J. H., Demetropoulos, C. K., Yang, K. H., & Jurist, K. A. (2004). Osteochondral defects in the human knee: influence of defect size on cartilage rim stress and load redistribution to surrounding cartilage. *The American journal of sports medicine*, 32(6), 1451-1458.
- Guney, A., Akar, M., Karaman, I., Oner, M., & Guney, B. (2015). Clinical outcomes of platelet rich plasma (PRP) as an adjunct to microfracture surgery in osteochondral lesions of the talus. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 23(8), 2384-2389.
- Hangody, L., Kish, G., Karpati, Z., Szerb, I., & Udvarhelyi, I. (1997). Arthroscopic autogenous osteochondral mosaicplasty for the treatment of femoral condylar articular defects A preliminary report. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 5(4), 262-267.
- Harris, J. D., Frank, R. M., McCormick, F. M., & Cole, B. J. (2014). Minced cartilage techniques. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 24(1), 27-34.
- Hintermann, B., Boss, A., & Schäfer, D. (2002). Arthroscopic findings in patients with chronic ankle instability. *The American journal of sports medicine*, 30(3), 402-409.
- Horisberger, M., Leumann, A., Walcher, M., Pagenstert, G. I., & Valderrabano, V. (2011). Osteochondral Lesions of the Talus—Etiology, Pathomechanisms, and Classifications. *Techniques in Foot & Ankle Surgery*, 10(4), 134-138.
- Imhoff, A. B., & König, U. (2003). Arthroskopie—qualifizierte Stadieneinteilung der osteochondralen Läsion (OCL) am Knie. *Arthroskopie*, 16(1), 23-28. doi:10.1007/s00142-003-0209-z
- Imhoff, A. B., Paul, J., Ottinger, B., Wörtler, K., Lämmle, L., Spang, J., & Hinterwimmer, S. (2011). Osteochondral transplantation of the talus: long-term clinical and magnetic resonance imaging evaluation. *The American journal of sports medicine*, 39(7), 1487-1493.
- Josten, C., & Rose, T. (1999). Acute and chronic osteochondral talus lesions. *Der Orthopade*, 28(6), 500-508. doi:10.1007/PL00003635
- Kappis, M. (1922). Weitere Beiträge zur traumatisch-mechanischen Entstehung der „spontanen“ Knorpelablösungen (sogen. Osteochondritis dissecans). *Deutsche Zeitschrift für Chirurgie*, 171(1), 13-29.
- Katcherian, D. (1994). Soft-Tissue Injury of the Ankle. *Orthopaedic knowledge update: foot and ankle*, 241-253.
- Kennedy, J. G., & Murawski, C. D. (2011). The treatment of osteochondral lesions of the talus with autologous osteochondral transplantation and bone marrow aspirate concentrate: surgical technique. *Cartilage*, 2(4), 327-336.
- Kitaoka, H. B., Alexander, I. J., Adelaar, R. S., Nunley, J. A., Myerson, M. S., & Sanders, M. (1994). Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot & ankle international*, 15(7), 349-353.
- Klammer, G., Maquieira, G. J., Spahn, S., Vigfusson, V., Zanetti, M., & Espinosa, N. (2015). Natural history of nonoperatively treated osteochondral lesions of the talus. *Foot & ankle international*, 36(1), 24-31.
- König. (1888). Ueber freie Körper in den Gelenken. *Deutsche Zeitschrift für Chirurgie*, 27(1), 90-109. doi:10.1007/BF02792135
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15(2), 155-163. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012
- Kostuj, T., Baums, M., & Lieske, S. (2014). German Validation of the AOFAS ankle hindfoot scale. *Fuß Sprunggelenk*, 12, 100-106.

- Kostuj, T., Schaper, K., Baums, M. H., & Lieske, S. (2014). Eine Validierung des AOFAS-ankle-hindfoot-scale für den deutschen sprachraum. *Fuß & Sprunggelenk*, *12*(2), 100-106.
- Kwak, S. K., Kern, B. S., Ferkel, R. D., Chan, K. W., Kasraeian, S., & Applegate, G. R. (2014). Autologous chondrocyte implantation of the ankle: 2-to 10-year results. *The American journal of sports medicine*, *42*(9), 2156-2164.
- Lenz, C. G., Tan, S., Carey, A. L., Ang, K., & Schneider, T. (2020). Matrix-induced autologous chondrocyte implantation (MACI) grafting for osteochondral lesions of the talus. *Foot & ankle international*, *41*(9), 1099-1105.
- Lomax, A., Miller, R. J., Fogg, Q. A., Madeley, N. J., & Kumar, C. S. (2014). Quantitative assessment of the subchondral vascularity of the talar dome: a cadaveric study. *Foot and Ankle Surgery*, *20*(1), 57-60.
- Looze, C. A., Capo, J., Ryan, M. K., Begly, J. P., Chapman, C., Swanson, D., Singh, B. C., & Strauss, E. J. (2017). Evaluation and management of osteochondral lesions of the talus. *Cartilage*, *8*(1), 19-30.
- Lysholm, J., & Gillquist, J. (1982). Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *The American journal of sports medicine*, *10*(3), 150-154.
- Lysholm, J., & Tegner, Y. (2007). Knee injury rating scales. *Acta orthopaedica*, *78*(4), 445-453.
- Marlovits, S., Singer, P., Zeller, P., Mandl, I., Haller, J., & Trattnig, S. (2006). Magnetic resonance observation of cartilage repair tissue (MOCART) for the evaluation of autologous chondrocyte transplantation: determination of interobserver variability and correlation to clinical outcome after 2 years. *European journal of radiology*, *57*(1), 16-23.
- Marlovits, S., Striessnig, G., Resinger, C. T., Aldrian, S. M., Vecsei, V., Imhof, H., & Trattnig, S. (2004). Definition of pertinent parameters for the evaluation of articular cartilage repair tissue with high-resolution magnetic resonance imaging. *European journal of radiology*, *52*(3), 310-319.
- Miller, M. D., Osborne, J. R., Gordon, W. T., Hinkin, D. T., & Brinker, M. R. (1998). The natural history of bone bruises. *The American journal of sports medicine*, *26*(1), 15-19.
- Mubarak, S., & Carroll, N. (1979). Familial osteochondritis dissecans of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, *140*, 131-136.
- Murawski, C. D., & Kennedy, J. G. (2013). Operative treatment of osteochondral lesions of the talus. *JBJS*, *95*(11), 1045-1054.
- Niemeyer, P., Salzmann, G., Schmal, H., Mayr, H., & Südkamp, N. P. (2012). Autologous chondrocyte implantation for the treatment of chondral and osteochondral defects of the talus: a meta-analysis of available evidence. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, *20*(9), 1696-1703.
- O'Loughlin, P. F., Heyworth, B. E., & Kennedy, J. G. (2010). Current concepts in the diagnosis and treatment of osteochondral lesions of the ankle. *The American journal of sports medicine*, *38*(2), 392-404.
- Pagenstert, G. I., Hintermann, B., Barg, A., Leumann, A., & Valderrabano, V. (2007). Realignment surgery as alternative treatment of varus and valgus ankle osteoarthritis. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, *462*, 156-168.
- Park, J. H., Park, K. H., Cho, J. Y., Han, S. H., & Lee, J. W. (2021). Bone marrow stimulation for osteochondral lesions of the talus: are clinical outcomes maintained 10 years later? *The American journal of sports medicine*, *49*(5), 1220-1226.

- Park, K. H., Hwang, Y., Han, S. H., Park, Y. J., Shim, D. W., Choi, W. J., & Lee, J. W. (2018). Primary versus secondary osteochondral autograft transplantation for the treatment of large osteochondral lesions of the talus. *The American journal of sports medicine*, *46*(6), 1389-1396.
- Paul, J., Sagstetter, A., Kriner, M., Imhoff, A., Spang, J., & Hinterwimmer, S. (2009). Donor-site morbidity after osteochondral autologous transplantation for lesions of the talus. *JBJS*, *91*(7), 1683-1688.
- Paul, J., Sagstetter, M., Lämmle, L., Spang, J., El-Azab, H., Imhoff, A. B., & Hinterwimmer, S. (2012). Sports activity after osteochondral transplantation of the talus. *The American journal of sports medicine*, *40*(4), 870-874.
- Procter, P., & Paul, J. (1982). Ankle joint biomechanics. *Journal of Biomechanics*, *15*(9), 627-634.
- Prometheus, L. d. A. 10 Unterschenkel, Fußgelenke und Fuß.
- Raikin, S. M., Elias, I., Zoga, A. C., Morrison, W. B., Besser, M. P., & Schweitzer, M. E. (2007). Osteochondral lesions of the talus: localization and morphologic data from 424 patients using a novel anatomical grid scheme. *Foot & ankle international*, *28*(2), 154-161.
- Ramponi, L., Yasui, Y., Murawski, C. D., Ferkel, R. D., DiGiovanni, C. W., Kerkhoffs, G. M., Calder, J. D., Takao, M., Vannini, F., & Choi, W. J. (2017). Lesion size is a predictor of clinical outcomes after bone marrow stimulation for osteochondral lesions of the talus: a systematic review. *The American journal of sports medicine*, *45*(7), 1698-1705.
- Rikken, Q. G., Dahmen, J., Stufkens, S. A., & Kerkhoffs, G. M. (2021). Satisfactory long-term clinical outcomes after bone marrow stimulation of osteochondral lesions of the talus. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, *29*(11), 3525-3533.
- Roos, E. M., Brandsson, S., & Karlsson, J. (2001). Validation of the foot and ankle outcome score for ankle ligament reconstruction. *Foot & ankle international*, *22*(10), 788-794.
- Roth, K. E., Ossendorff, R., Klos, K., Simons, P., Drees, P., & Salzman, G. M. (2021). Arthroscopic minced cartilage implantation for chondral lesions at the talus: A technical note. *Arthroscopy techniques*, *10*(4), e1149-e1154.
- Santrock, R. D., Buchanan, M. M., Lee, T. H., & Berlet, G. C. (2003). Osteochondral lesions of the talus. *Foot and ankle clinics*, *8*(1), 73-90.
- Saxena, A., & Eakin, C. (2007). Articular talar injuries in athletes: results of microfracture and autogenous bone graft. *The American journal of sports medicine*, *35*(10), 1680-1687.
- Schoettle, P. B., & Imhoff, A. B. (2002). Die osteochondrale Autograft-Transplantation (OATS) am Talus. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, *14*(2), 123-140.
- Schöttle, P., Oetli, G., Agneskirchner, J., & Imhoff, A. (2001). Operative therapy of osteochondral lesions of the talus with autologous cartilage-bone transplantation. *Der Orthopäde*, *30*(1), 53-58.
- Schreiner, M., Raudner, M., Marlovits, S., Bohndorf, K., Weber, M., Zalaudek, M., Röhrich, S., Szomolanyi, P., Filardo, G., & Windhager, R. (2019). The MOCART (Magnetic Resonance Observation of Cartilage Repair Tissue) 2.0 Knee Score and Atlas. *Cartilage*, *13*(1_suppl), 571S-587S.
- Scranton Jr, P., Frey, C., & Feder, K. (2006). Outcome of osteochondral autograft transplantation for type-V cystic osteochondral lesions of the talus. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, *88*(5), 614-619.

- Shepherd, D., & Seedhom, B. (1999). Thickness of human articular cartilage in joints of the lower limb. *Annals of the rheumatic diseases*, 58(1), 27-34.
- Shim, D. W., Park, K. H., Lee, J. W., Yang, Y.-j., Shin, J., & Han, S. H. (2021). Primary autologous osteochondral transfer shows superior long-term outcome and survival rate compared with bone marrow stimulation for large cystic osteochondral lesion of talus. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 37(3), 989-997.
- Shimozono, Y., Hurley, E. T., Myerson, C. L., & Kennedy, J. G. (2018). Good clinical and functional outcomes at mid-term following autologous osteochondral transplantation for osteochondral lesions of the talus. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 26(10), 3055-3062.
- Steinhagen, J., Niggemeyer, O., & Bruns, J. (2001). Ätiologie und Pathogenese der Osteochondrosis dissecans tali. *Der Orthopäde*, 30(1), 20-27.
- Tegner, Y., & Lysholm, J. (1985). Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical orthopaedics and related research*(198), 43-49.
- Toker, B., Erden, T., Çetinkaya, S., Dikmen, G., Özden, V. E., & Taşer, Ö. (2020). Long-term results of osteochondral autograft transplantation of the talus with a novel groove malleolar osteotomy technique. *Joint diseases and related surgery*, 31(3), 509.
- TRIAS, A., MUELLER, K., & RD, R. (1961). Epiphysial stapling. *Surgery, Gynecology & Obstetrics*, 113, 315-323.
- U. Niethard, F., & Pfeil, J. (2005). Osteochondrosis dissecans. In A. Bob & K. Bob (Eds.), *Duale Reihe Orthopädie* (5th ed., pp. 504-507). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Valderrabano, V., Leumann, A., & Wright, J. (2008). What is the best treatment for ankle osteochondral lesions. *Evidence-Based Orthopaedics. Philadelphia, PA: Saunders WB Co*, 462-472.
- Van Bergen, C., Sierevelt, I., Hoogervorst, P., Waizy, H., Van Dijk, C., & Becher, C. (2014). Translation and validation of the German version of the foot and ankle outcome score. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 134(7), 897-901.
- van Diepen, P. R., Dahmen, J., Altink, J. N., Stufkens, S. A., & Kerkhoffs, G. M. (2021). Location distribution of 2,087 osteochondral lesions of the talus. *Cartilage*, 13(1_suppl), 1344S-1353S.
- Van Dijk, C. N., Reilingh, M. L., Zengerink, M., & Van Bergen, C. J. (2010). Osteochondral defects in the ankle: why painful? *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 18(5), 570-580.
- Verhagen, R. A., Struijs, P. A., Bossuyt, P. M., & van Dijk, C. N. (2003). Systematic review of treatment strategies for osteochondral defects of the talar dome. *Foot and ankle clinics*, 8(2), 233-242.
- Weigelt, L., Hartmann, R., Pfirrmann, C., Espinosa, N., & Wirth, S. H. (2019). Autologous matrix-induced chondrogenesis for osteochondral lesions of the talus: a clinical and radiological 2-to 8-year follow-up study. *The American journal of sports medicine*, 47(7), 1679-1686.
- Wewers, M. E., & Lowe, N. K. (1990). A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in nursing & health*, 13(4), 227-236.
- Winkler, P. W., Geyer, S., Walzl, D., Woertler, K., Paul, J., Siebenlist, S., Imhoff, A. B., & Achtenich, A. (2023). Favorable long-term clinical and radiologic outcomes with high survivorship after autologous osteochondral transplantation of the talus. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 31(6), 2166-2173.

- Wirth, B., Liffert, F., & de Bruin, E. D. (2011). Development and evaluation of a German version of the Lysholm score for measuring outcome after anterior cruciate ligament injuries. *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 25(1), 37-43.
- Wirth, B., Meier, N., Koch, P., & Swanenburg, J. (2013). Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbands. *Sportverletzung-Sportschaden*, 27(01), 21-27.
- Yang, H.-Y., & Lee, K.-B. (2020). Arthroscopic microfracture for osteochondral lesions of the talus: second-look arthroscopic and magnetic resonance analysis of cartilage repair tissue outcomes. *JBJS*, 102(1), 10-20.
- Zengerink, M., Struijs, P. A., Tol, J. L., & Van Dijk, C. N. (2010). Treatment of osteochondral lesions of the talus: a systematic review. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 18(2), 238-246.

11 Anhang

Untersuchungsprotokoll

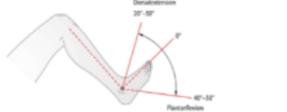
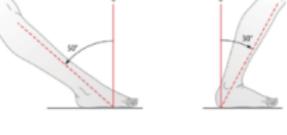
ANAMNESE

Patientenname			
Geburtsdatum			
Geschlecht	männlich	weiblich	
Telefonnummer			
Betroffene Seite	Rechts	Links	
Trauma	Einmaliges Trauma	Multiple Traumata	
Voroperationen	Datum:	Grund:	Op-Art:
Revisionen	Datum:	Grund:	Op-Art:

INSPEKTION/PALPATION

Narben	Hypästhesie	Atrophie	Druckschmerz

BEWEGLICHKEIT (nach Neutral-Null-Methode in°)

ROM	Betroffen	Nicht-betroffen
Dorsalextension/Plantarflexion 		
Eversion/Inversion 		
Passive Extension/Flexion 		

INSTABILITÄT (0=keine; +=leichtgradig; +=mittelgradig; +++hochgradig)

Mediale Instabilität		
Laterale Instabilität		
Talusvorschub		
Instabilität Peronealsehnen		
Instabilität Syndesmose		

Patientenfragebogen

SOZIODEMOGRAFISCHE DATEN

Name: _____ Geschlecht: ♀ ♂ Geburtsdatum: ___/___/___

Heutiges Datum: ___/___/___ Datum der Operation (falls zutreffend): ___/___/___

Verletzungsdatum: ___/___/___ Verletztes Kniegelenk: rechts links

Gewicht: _____ kg Größe: _____ cm

Sind Sie Raucher/in? Ja Nein

Arbeitsstatus: Vollzeit Teilzeit Pensioniert
 Haushalt Student Arbeits- oder Erwerbsunfähig
 Anders: _____

Welche sind Ihre beiden Hauptsportarten? 1) _____
2) _____

Wie oft üben Sie Ihre beiden Hauptsportarten im Schnitt pro Woche aus?

Sportart 1: ___ mal/Woche für ca. ___ Stunden

Sportart 2: ___ mal/Woche für ca. ___ Stunden

Auf welchem Level würden Sie sagen, üben Sie Ihre Sportart 1 aus?

Anfänger Fortgeschritten
 Experte Profi

Wie zufrieden sind Sie mit dem aktuellen Zustand ihres Sprunggelenks?

sehr zufrieden etwas unzufrieden
 zufrieden sehr unzufrieden

Haben Sie Ihr ursprüngliches sportliches Niveau (vor der Verletzung) wieder erreicht?

vollständig leichte Einschränkung auf gleichem Niveau
 kein Sport mehr deutliche Einschränkung niedrigeres Niveau

Grund des Wechsels:

Unfall Familie Beruf neuer Unfall

Haben Sie Ihr ursprüngliches berufliches Niveau (vor der Verletzung) wieder erreicht?

vollständig leichte Einschränkung im alten Beruf
 Umschulung / neuer Arbeitsplatz / AU deutliche Einschränkung im alten Beruf

Grund des Wechsels:

Unfall Familie Beruf neuer Unfall

Standardisierte Scores

FOOT AND ANKLE OUTCOME SCORE (FAOS)

Dieser Fragebogen stellt Ihnen Fragen zum Zustand Ihres Fuß und Sprunggelenks. Die dadurch gewonnenen Informationen erlauben uns Ihre Beurteilung von Ihrem Fuß und Sprunggelenk zu verfolgen und dokumentiert wie gut Sie in der Lage sind, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten.

Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens. Bitte nur ein Kästchen pro Frage ankreuzen. Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Symptome:

Diese Fragen beziehen sich auf Ihre Fuß/Sprunggelenksbeschwerden während der vergangenen Woche.

S1. Hatten Sie Schwellungen an Ihrem Fuß/Sprunggelenk?

niemals selten manchmal oft immer

S2. Fühlten Sie ein Mahlen, hörten Sie ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk bewegten?

niemals selten manchmal oft immer

S3. Blieb Ihr Fuß/Sprunggelenk hängen, oder blockierte er/es bei Bewegung?

niemals selten manchmal oft immer

S4. Konnten Sie Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk ganz ausstrecken?

immer oft manchmal selten niemals

S5. Konnten Sie Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk ganz beugen?

immer oft manchmal selten niemals

Steifigkeit:

Die nachfolgenden Fragen betreffen die Steifigkeit in Ihrem Fuß/Sprunggelenk während der letzten Woche. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit Ihre Gelenke zu bewegen.

S6. Wie stark war Ihre Fuß/Sprunggelenkssteifigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?

keine schwach mäßig stark sehr stark

S7. Wie stark war Ihre Fuß/Sprunggelenksteifigkeit nach dem Sie saßen, lagen, oder sich im Verlauf des Tages ausruhten?

keine schwach mäßig stark sehr stark

Schmerzen:

P1. Wie oft haben Sie Schmerzen im Fuß/Sprunggelenk?

nie monatlich wöchentlich täglich immer

Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der vergangenen Woche als Sie z.B.:?

P2. Sich im Fuß/Sprunggelenk drehen

keine schwach mäßig stark sehr stark

Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der vergangenen Woche als Sie z.B.:?

P3. Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk ganz ausstrecken

keine schwach mäßig stark sehr stark

P4. Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk ganz beugen

keine schwach mäßig stark sehr stark

P5. Auf ebenen Boden gehen

keine schwach mäßig stark sehr stark

P6. Treppen herauf oder herunterstiegen

keine schwach mäßig stark sehr stark

P7. Nachts im Bett liegen

keine schwach mäßig stark sehr stark

P8. Saßen oder lagen

keine schwach mäßig stark sehr stark

P9. Aufrecht standen

keine schwach mäßig stark sehr stark

Aktivitäten des täglichen Lebens:

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Leistungsfähigkeit. Hierunter verstehen wir Ihre Fähigkeit, sich selbständig zu bewegen bzw. sich selbst zu versorgen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten geben Sie bitte das Ausmaß der Schwierigkeiten an, welche Sie aufgrund Ihres Fuß/Sprunggelenks innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

Welche Schwierigkeiten hatten Sie in der letzten Woche als Sie z.B.:

A1. Treppen herunterstiegen

keine wenig einige große sehr große

A2. Treppen hinaufstiegen

keine wenig einige große sehr große

A3. Vom Sitzen aufstanden

keine wenig einige große sehr große

A4. Aufrecht standen

keine wenig einige große sehr große

A5. Sich bückten um z.B. etwas vom Boden aufzuheben

keine wenig einige große sehr große

A6. Auf ebenen Boden gingen

keine wenig einige große sehr große

A7. Ins Auto ein-oder ausstiegen

keine wenig einige große sehr große

Welche Schwierigkeiten hatten Sie in der letzten Woche als Sie z.B.:

A8. Einkaufen gingen

keine wenig einige große sehr große

A9. Socken/Strümpfe anziehen

keine wenig einige große sehr große

A10. Vom Bett aufstehen

keine wenig einige große sehr große

A11. Socken/Strümpfe ausziehen

keine wenig einige große sehr große

A12. Im Bett liegen und sich drehen, ohne den Fuß/Sprunggelenk dabei zu beugen

keine wenig einige große sehr große

A13. In oder aus der Badewanne steigen

keine wenig einige große sehr große

A14. Saßen

keine wenig einige große sehr große

A15. Sich auf die Toilette setzen oder aufstehen

keine wenig einige große sehr große

A16. Schwere Hausarbeit verrichteten (schwere Kisten umstellen, Boden schrubben, etc)

keine wenig einige große sehr große

A17. Leichte Hausarbeit verrichteten (kochen, Staub wischen, etc.)

keine wenig einige große sehr große

Aktivitäten bei Sport und Freizeit:

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen von Sport- und Freizeitaktivitäten. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten geben Sie bitte das Ausmaß der Schwierigkeiten an, welche Sie aufgrund Ihres Fuß/Sprunggelenks innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

SP1. In die Hocke gingen

keine wenig einige große sehr große

SP2. Rannten

keine wenig einige große sehr große

SP3. Hüpfen

keine wenig einige große sehr große

SP4. Sich auf Ihrem kranken Fuß umdrehen

keine wenig einige große sehr große

SP5. Sich hinknieten

keine wenig einige große sehr große

Lebensqualität:

Q1. Wie oft sind Sie sich Ihres Fuß/Sprunggelenksproblems bewusst?

- nie monatlich wöchentlich täglich immer

Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert, um eventuell Ihrem Fuß/Sprunggelenk schadende Tätigkeiten zu vermeiden?

- gar nicht wenig etwas stark vollständig

Q3. Wie sehr leiden Sie unter einem Mangel an Vertrauen und Zuversicht hinsichtlich Ihres Fuß/Sprunggelenks?

- gar nicht wenig etwas stark sehr stark

Q4. Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten die Sie durch Ihren Fuß/Ihr Sprunggelenk haben?

- keine wenig einige große sehr große

TEGNER AKTIVITÄTSSKALA

Die folgende Frage beschäftigt sich mit Ihrem Aktivitätslevel. Bitte lesen Sie zuerst alle 10 Punkte aufmerksam durch und entscheiden Sie dann, welches Level Ihren Aktivitätszustand am Besten beschreibt. Berücksichtigen sie bei der Beantwortung der Frage insbesondere Ihre sportliche Aktivität. Wenn Sie beispielsweise einer

leichten körperlichen Arbeit nachgehen (Level 2), in Ihrer Freizeit jedoch regelmäßig Joggen gehen (Level 6), dann wählen Sie bitte Level 6 als Antwort aus.

<input type="checkbox"/> Level 0	Arbeitsunfähigkeit oder Berentung aufgrund der Knieprobleme
<input type="checkbox"/> Level 1	Sitzende Berufstätigkeit (z.B. SekretärIn) / Spazierengehen auf ebener Strecke möglich
<input type="checkbox"/> Level 2	Körperlich leichte Arbeit (z.B. Verkäuferin, Lehrerin) / Spazierengehen auf unebener Strecke möglich
<input type="checkbox"/> Level 3	Körperlich mittelschwere Arbeit (z.B. KrankenpflegerIn, Koch, Hausfrau mit kleinem Haushalt) / Leistungs- oder Freizeitsportler: Schwimmen, Wandern (ca. 5 km/h)
<input type="checkbox"/> Level 4	Körperlich schwere Arbeit (z.B. Putzfrau, MalerIn, Hausfrau mit großem Haushalt) / Freizeitsport: Radfahren, Skilanglauf, Joggen 2 x pro Woche auf ebener Strecke
<input type="checkbox"/> Level 5	Körperliche Schwerstarbeit (z.B. Bergbau, Straßenbau, Waldarbeiten) / Freizeitsport: Joggen 2 x pro Woche auf unebener Strecke
<input type="checkbox"/> Level 6	Freizeitsport: Tennis, Badminton, Handball, Basketball, Skiabfahrtslauf, Joggen häufiger als 2 x pro Woche
<input type="checkbox"/> Level 7	Leistungssport: Tennis, Leichtathletik (Laufen), Motocross, Handball, Basketball, Querfeldeinlauf / Freizeitsport: Fußball, Hockey, Squash, Badminton, Leichtathletik (Weitsprung), Querfeldeinlauf
<input type="checkbox"/> Level 8	Leistungssport: Hockey, Squash, Badminton, Leichtathletik (Weitsprung), Skiabfahrtslauf
<input type="checkbox"/> Level 9	Leistungssport: Fußball (niedrige Klasse), Eishockey, Ringen, Geräteturnen
<input type="checkbox"/> Level 10	Leistungssport: Fußball (national, international)

LYSHOLM SCORE

Bitte wählen Sie bei den folgenden Fragen jene Antwort, welche am ehesten auf den Zustand ihres Kniegelenks zutrifft. (Nur ein Kästchen pro Frage)

<p>1. Hinken Sie? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Leicht oder gelegentlich <input type="checkbox"/> Stark und immer</p>	<p>5. Haben Sie Schmerzen im Knie? <input type="checkbox"/> Nie <input type="checkbox"/> Unbeständig und leicht bei starker Belastung <input type="checkbox"/> Spürbar bei starker Belastung <input type="checkbox"/> Spürbar bei oder nach einer Gehstrecke von über 2 km Länge <input type="checkbox"/> Spürbar bei oder nach einer Gehstrecke von weniger als 2 km Länge <input type="checkbox"/> Ständig</p>
<p>2. Benötigen Sie eine Gehhilfe? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Stock oder Krücke <input type="checkbox"/> Belastung nicht möglich</p>	<p>6. Ist Ihr Kniegelenk geschwollen? <input type="checkbox"/> Nie <input type="checkbox"/> Unter starker Belastung <input type="checkbox"/> Ständig <input type="checkbox"/> Bei gewöhnlicher Belastung</p>
<p>3. Blockiert Ihr Knie? <input type="checkbox"/> Keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung <input type="checkbox"/> Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung <input type="checkbox"/> Gelegentliche Blockierung <input type="checkbox"/> Häufige Blockierung <input type="checkbox"/> Blockiertes Gelenk bei der Untersuchung</p>	<p>7. Können Sie Kauern/in die Hocke gehen? <input type="checkbox"/> Ohne Probleme <input type="checkbox"/> Leichte Beeinträchtigung <input type="checkbox"/> Nicht über 90° <input type="checkbox"/> Nicht möglich</p>
<p>4. Ist Ihr Knie instabil? <input type="checkbox"/> Kein Instabilitätsgefühl <input type="checkbox"/> Selten beim Sport oder bei anderen anstrengenden Tätigkeiten <input type="checkbox"/> Häufig beim Sport oder bei anderen anstrengenden Tätigkeiten <input type="checkbox"/> Gelegentlich bei alltäglichen Tätigkeiten <input type="checkbox"/> Häufig bei alltäglichen Tätigkeiten <input type="checkbox"/> Bei jedem Schritt</p>	<p>8. Können Sie Treppensteigen? <input type="checkbox"/> Ohne Probleme <input type="checkbox"/> Leichte Beeinträchtigung <input type="checkbox"/> Schrittweise <input type="checkbox"/> Nicht möglich</p>

VISUELLE ANALOGSKALA (VAS) FÜR SCHMERZ - SPRUNGGELENK

Bitte fügen Sie, entsprechend ihrer aktuellen Schmerzintensität (bezogen auf das operierte Sprunggelenk), eine Markierung am folgenden Balken hinzu.

Keine Schmerzen _____ Stärkste vorstellbare Schmerzen

VISUELLE ANALOGSKALA (VAS) FÜR SCHMERZ - KNIEGELENK

Bitte fügen Sie, entsprechend ihrer aktuellen Schmerzintensität (bezogen auf das operierte Kniegelenk), eine Markierung am folgenden Balken hinzu.

Keine Schmerzen _____ Stärkste vorstellbare Schmerzen

AMERICAN ORTHOPAEDIC FOOT & ANKLE SOCIETY (AOFAS) ANKLE-HINDFOOT SCALE

Die folgenden Fragen sind in Zusammenarbeit mit der Studienärztin / dem Studienarzt zu beantworten.

1. Schmerz	(40 Punkte)
<input type="checkbox"/> Kein Schmerz	(40)
<input type="checkbox"/> Leichter Schmerz	(30)
<input type="checkbox"/> Mäßiger Schmerz	(20)
<input type="checkbox"/> Stärkster Schmerz	(0)
<hr/>	
2. Funktion (50 Punkte)	
Aktivitätseinschränkungen	
<input type="checkbox"/> Keine	(10)
<input type="checkbox"/> Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten	(7)
<input type="checkbox"/> Mäßige Einschränkungen in Alltag und Freizeit	(4)
<input type="checkbox"/> Stärkste Einschränkungen in Alltag und Freizeit	(0)
<hr/>	
Maximale Gehstrecke am Stück	
<input type="checkbox"/> Mehr als 600 Meter	(5)
<input type="checkbox"/> Zwischen 400 und 600 Meter	(4)
<input type="checkbox"/> Zwischen 100 und 400 Meter	(2)
<input type="checkbox"/> Weniger als 100 Meter	(0)
<hr/>	
Laufoberflächen / Untergrund	
<input type="checkbox"/> Keine Probleme auf jeglichen Oberflächen	(5)
<input type="checkbox"/> Mäßige Probleme auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigung	(3)
<input type="checkbox"/> Stärkste Probleme oder Unfähigkeit auf unebenem Gelände, Treppen, Gefälle oder Steigung zu gehen	(0)
<hr/>	
Gangauffälligkeiten	
<input type="checkbox"/> Keine oder geringe	(8)
<input type="checkbox"/> Offensichtliche (Gehen möglich aber abnorm)	(4)
<input type="checkbox"/> Deutliche (Gehen schwierig und abnorm)	(0)
<hr/>	
Sagittale Bewegung (Dorsalextension plus Plantarflexion)	
<input type="checkbox"/> Normal oder leichte Einschränkungen (30° oder mehr)	(8)
<input type="checkbox"/> Mäßige Einschränkungen (15-29°)	(4)
<input type="checkbox"/> Massive Einschränkungen (weniger als 15°)	(0)
<hr/>	
Rückfußbewegung (Inversion plus Eversion)	
<input type="checkbox"/> Normal oder leichte Einschränkungen (75-100% der Norm)	(6)
<input type="checkbox"/> Mäßige Einschränkungen (25-74% der Norm)	(4)
<input type="checkbox"/> Massive Einschränkungen (weniger als 25% der Norm)	(0)
<hr/>	
Sprungelenk-Rückfußstabilität (vordere Schublade, Varus-/Valgusstress)	
<input type="checkbox"/> Stabil	(8)
<input type="checkbox"/> Instabil	(0)
<hr/>	
3. Ausrichtung / Alignment	(10 Punkte)
<input type="checkbox"/> Gut, Fuß plantigrad, keine Fehlstellung	(10)
<input type="checkbox"/> Mäßig, Fuß plantigrad, leichte bis mittelschwere Fehlstellung	(5)
<input type="checkbox"/> Schlecht, Fuß nicht plantigrad, starke Fehlstellung	(0)

MOCART 2.0. Score

ID	OBS 1 (KW)	OBS 2 (GS)	OBS 3_1 (PW)	OBS 3_2 (PW)	OBS 3_3 (PW)
	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte
1					
2					
3					
4					
..					
..					
..					

OBS= Observer
 _1= Zeitpunkt 1
 _2= Zeitpunkt 2
 _3= Zeitpunkt 3
 ID= PatientenID

KW: Klaus Wörtler
 GS: Geyer Stephanie
 PW= Philipp Winkler

Punkte = Gesamtpunktezahl = Summe aus 1. bis 7. (max. 100 P)

1. Volumen (20P)
2. Integration (15P)
3. Oberfläche 10 P)
4. Struktur (10 P)
5. Signalintensität (15 P)
6. knöchernen Defekte (10 P)
7. subchondrale Veränderungen (20P)

12 Danksagung

An erster Stelle gilt mein herzlichster Dank Frau Priv.-Doz. Dr. med. Andrea Achtnich für die Bereitstellung und Betreuung sowie für die Überlassung des Studienthemas. Frau Priv.-Doz. Dr.med. Stephanie Geyer und Herrn Dr.med. univ. Philipp Winkler danke ich für die vorzügliche Begleitung und Unterstützung in allen Stadien dieser Arbeit. Vor allem bedanke ich mich bei PD Dr. Geyer und Dr. Winkler für die äußerst gute Zusammenarbeit in der statistischen Auswertung, der Verfassung der Publikation sowie der Dissertation. Ebenfalls bedanke ich mich im Allgemeinen bei Herrn Prof. Dr. Imhoff und der gesamten Sektion für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar für die Bereitstellung der Operationsberichte und Patientendaten. Ein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus Wörtler für die Unterstützung im Rahmen der radiologischen Auswertung. Für den reibungslosen Ablauf der MRT-Untersuchungen bedanke ich mich bei den medizinischen Fachangestellten der Abteilung für Radiologie des Klinikums rechts der Isar. Frau Dr. med. Lena Friedrich danke ich für die Mentorenschaft dieser Studie. Besonders bedanke ich mich bei meiner Familie, Großeltern und meinem Partner für die persönliche Unterstützung und Motivation im Laufe der gesamten Dissertationszeit. Zuletzt gilt noch die Erwähnung von Ludwig, der mir in jeder Situation Halt gegeben hat.