

Diplomarbeit

# Morbiditäten des Kniegelenks nach Entnahme eines medialen Femurkondylappens

Eine retrospektive Studie

eingereicht von

**Thomas Ziegler**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Chirurgie**

**Klinische Abteilung für Plastische, Rekonstruktive und  
Ästhetische Chirurgie**

unter der Anleitung von Betreuer

**Univ.-Ass. Dr. Daryousch Parvizi**

und

**ao. Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr. Michael Schintler**

Graz, 03.02.2017

## Eidesstattliche Erklärung

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

Graz, am 03.02.2017

Thomas Ziegler eh.

## Vorwort

In den Tagen der modernen Medizin befand sich selten ein Fach in solch rasanter Entwicklung wie das der plastischen Chirurgie. Innovative Techniken und Zugänge sowie die große Bandbreite an Einsatzgebieten machen diese Sparte kompetitiv und zukunftsweisend. Die plastische Chirurgie ist eines jener Fächer, die, auch wenn die allgemeine Meinung häufig davon abweicht, ein sehr breit gefächertes Wissen und Interesse über den gesamten menschlichen Organismus erfordern. Speziell im chirurgischen Bereich stellen Anatomie, Physiologie, Histologie als auch physikalisches Grundwissen ein unverzichtbares Handwerkszeug zur Ausübung dieser medizinischen Tätigkeit dar. In meiner Arbeit lege ich Wert darauf, auch grundlegende Aspekte zu beleuchten, die bei Operationen an dieser Region von immenser Bedeutung sind, sowie eine Brücke von der Klinik zur Vorklinik zu schlagen, um die Notwendigkeit dieser wichtigen Bausteine zu untermauern. Durch die neue Ausbildungsreform, die eine ganzheitlichere Ausbildung verspricht, wird es zudem wieder notwendig die sicheren Pfade seines Faches verlassen zu können, über den Tellerrand zu blicken und anderen Disziplinen offen gegenüber zu treten. Die zunehmende Verspezialisierung und somit implizierte Förderung von Scheuklappendenken mancher Zweige haben einen wesentlichen Beitrag an der Entstehung des so häufig kolportierten doctor-hopping-Phänomens gehabt. Auch wenn hier ein sehr fokussiertes und detailverliehtes Thema behandelt wird, möchte ich - ohne den Rahmen zu sprengen - einen oder mehrere Blicke aus meiner Komfortzone wagen. Da dies die Abschlussarbeit meines Studiums ist und ich nach Vollendung sämtlicher Prüfungen einen fundierten Überblick bekommen habe, ist es mir ein besonderes Anliegen, sämtliche für diese Thesis relevante Disziplinen der modernen Medizin einfließen zu lassen. Ein weiterer Grund, mich näher mit der plastischen Chirurgie zu befassen ist die, speziell in diesem Fach, hohe Anforderung an den Menschen als Ganzes. Psychische Belastbarkeit, intellektuelle sowie körperliche Fähigkeiten und Stärken werden gefordert und gestärkt. In meiner Arbeit möchte ich mir ebenso vielfältige Aufgaben stellen, diese bewältigen und sie nicht nur als lästige Pflichtübung am Ende des Studiums betrachten. Als Mediziner sollte man auch ein Grundverständnis über statistische Zusammenhänge besitzen und sich über die tatsächliche Aussagekraft seines wissenschaftlichen Schaffens bewusst sein. Nicht selten kommt es hierbei zur Ausübung von

Pseudowissenschaft, die die Durchschaubarkeit des Produktes erschweren. Die intensive Auseinandersetzung mit diesem Thema wird es mir ermöglichen, andere wissenschaftliche Arbeiten besser zu verstehen und möglicherweise Fuß in dieser Sparte der Medizin fassen zu können. Da ich dieses Vorwort lange vor der Fertigstellung meiner Thesis verfasse, bin ich noch frei von jedem Zweifel und freue mich darauf, mit der Arbeit beginnen zu können.

Graz, Juli 2016

## Danksagungen

Dass Sie diese Diplomarbeit in Ihren Händen halten und darin blättern können, ist das Ergebnis spannender aber harter Arbeit, die sich über mehrere Monate hinweggezogen hat. Sie wäre heute noch nicht fertig verfasst, geschweige denn ausgedruckt und gebunden, wenn mir nicht einige Menschen dabei geholfen hätten.

An dieser Stelle gilt mein Dank in erster Linie meinen Diplomarbeitsbetreuern Herrn Doktor Daryousch Parvizi und Herrn Professor Doktor Michael Schintler. Ihre fachliche Kompetenz und Unterstützung haben es mir ermöglicht diese Arbeit zu vollenden.

Ein vielfaches Dankeschön geht auch an die ärztlichen MitarbeiterInnen der Abteilung für Plastische Chirurgie an der Universitätsklinik Graz und am Klinikum Wels-Grieskirchen, die mich in zahlreichen Praktika an ihrer Erfahrung teilhaben ließen und mich in meinem Bestreben diese Arbeit durchzuführen bestärkt haben.

Zu guter Letzt sollten auch Personen meines privaten Umfeldes nicht unerwähnt bleiben. Vielen Dank hiermit an meine Familie, Freunde und meine Lebensgefährtin Anja, die mir im Laufe meines Studiums den Rücken frei gehalten und mich tatkräftig unterstützt haben.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	iii
Danksagungen .....	v
Inhaltsverzeichnis .....	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	ix
Graphikverzeichnis .....	ix
Abbildungsverzeichnis.....	x
Tabellenverzeichnis.....	xii
Zusammenfassung .....	xiii
Abstract .....	xiv
Einleitung.....	1
Wissenschaftlicher Hintergrund.....	2
Geschichte des Medialen Femurkondyllappens .....	3
Anatomische Grundlagen .....	10
Ramus saphenus .....	16
Ramus articularis.....	18
Knochenphysiologie.....	27
Varianten des Medialen Femurkondyllappens .....	29
Kortikoperiostal .....	30
Kortikospongiös.....	33
Compound.....	35
Gestielt .....	38
Einsätze des Medialen Femurkondyllappens.....	41
Skaphoid .....	44
Lunatum .....	48

Daumen.....	50
Tibia .....	51
Naviculare .....	53
Großzehe .....	53
Clavicula.....	54
Der MFL im Vergleich zu anderen Methoden .....	56
Rippe.....	57
Tibia .....	57
Radius .....	57
LFL.....	58
Crista iliaca & Fibula.....	59
MFL .....	60
Zukunft .....	61
Operationsleitfaden.....	63
Empfängerstelle .....	73
Ziel .....	76
Zielgrößen.....	76
Einflussfaktoren .....	76
Nutzen Risiko Evaluierung .....	77
Material und Methoden.....	78
Patientinnen und Patienten.....	78
Larson-Score .....	79
Das Monofilament nach Semmes-Weinstein .....	83
Vancouver Scar Scale .....	87
Visual Analogue Scale .....	88
Gegenüberstellung mit vergleichbaren Methoden .....	90

Metaanalyse anatomischer Parameter .....	90
Statistik.....	91
Ergebnisse .....	92
Larson-Score .....	94
Das Monofilament nach Semmes-Weinstein .....	96
Vancouver Scar Scale .....	97
Visual Analogue Scale .....	98
Gegenüberstellung mit vergleichbaren Methoden .....	99
Metaanalyse anatomischer Parameter .....	100
Fallbericht.....	102
Zusammenfassung .....	102
Einleitung und Anatomie .....	102
Der Patient.....	103
Die Therapie: Operation.....	104
Nachbehandlung.....	109
Diskussion .....	110
Literaturverzeichnis .....	119
Anhang .....	131

## Abkürzungsverzeichnis

ADG.....	Arteria descendens genus
ASG.....	Arteria superomedialis genus
DCIA.....	Arteria circumflexa ilium profunda
DISI .....	Dorsal eingefügte Segmentinstabilität
FFF.....	Free Fibula Flap
LFL.....	Lateraler Femurkondyllappen
MFL .....	Medialer Femurkondyllappen
RA .....	Ramus articularis arteriae descendens genus
RM.....	Ramus muscularis arteriae descendens genus
RS .....	Ramus saphenus arteriae descendens genus
SNAC .....	Scaphoid Nonunion Advanced collaps
VAS .....	Visual Analogue Scale
VSS .....	Vancouver Scar Scale
WEST.....	Weinstein Enhanced Sensory Test

## Graphikverzeichnis

Graphik 1: Empfindungsantwortkurven.....	84
Graphik 2: Implantationslokalisationen des MFL .....	92
Graphik 3: Ergebnisse der Sensibilitätsprüfung.....	96
Graphik 4: Verschiedene Lappenplastiken im Vergleich .....	99

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gefäßversorgung des MFL.....	12
Abbildung 2: ASG fehlt.....	12
Abbildung 3: ADG fehlt.....	12
Abbildung 4: Dubois Ia .....	15
Abbildung 5: Dubois Ib .....	15
Abbildung 6: Dubois Ic.....	15
Abbildung 7: Dubois IIa .....	15
Abbildung 8: Dubois IIb .....	15
Abbildung 9: Dubois IIc.....	15
Abbildung 10: Dubois III .....	16
Abbildung 11: Gefäßversorgung der Patella.....	19
Abbildung 12: Kortikoperiostaler Lappen.....	30
Abbildung 13: Kortikospongiöser Lappen .....	33
Abbildung 14: Osteokutaner Lappen .....	35
Abbildung 15: Skaphoidrekonstruktion .....	47
Abbildung 16: Anzeichnung der Entnahmestelle .....	63
Abbildung 17: Hautperforatoren .....	67
Abbildung 18: Dubois IIc in vivo .....	68
Abbildung 19: Entnahme eines osteokutanen Transplantates.....	70
Abbildung 20: Entnahmestelle postoperativ .....	72
Abbildung 21: Empfängerstelle postoperativ .....	75
Abbildung 22: Entnahmestelle bei Follow-up.....	89
Abbildung 23: Pseudarthrose der Tibia .....	104
Abbildung 24: Entnahme und Empfängerstelle .....	105
Abbildung 25: Osteokutaner Lappen mit Gefäßstiel .....	106

Abbildung 26: Entnahmestelle 3 Tage post OP .....	109
Abbildung 27: Empfängerstelle 3 Tage post OP .....	109
Abbildung 28: Vancouver Scar Scale .....	131
Abbildung 29: Larson Knee Score .....	133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse: Garcia, Vasiljeva, Sananpanich, Iorio, Acland .....	24
Tabelle 2: Ergebnisse: Yoshida, Hong, Hertel, Martin, Larson .....	25
Tabelle 3: Ergebnisse: Yamamoto, Rahmanian, Dubois, Scheibel, Lee .....	26
Tabelle 4: Weinstein Enhanced Sensory Test.....	86
Tabelle 5: Altersverteilung bei Larson Score .....	94
Tabelle 6: Abschneiden der einzelnen Altersgruppen im Larson Score .....	95
Tabelle 7: Korrelation VAS-Funktionalität und Larson .....	95
Tabelle 8: Sensibilitätsverlust bei Nervenentnahme .....	97
Tabelle 9: Korrelation VAS-Ästhetik und VSS .....	98
Tabelle 10: Korrelation VSS und Heilungsverzögerung.....	98
Tabelle 11: Ergebnisse der Metaanalyse über 15 anatomische Studien .....	100

## Zusammenfassung

Die mediale vaskularisierte Femurkondylappenplastik stellt eine international anerkannte Methode dar, um Knochendefekte verschiedenster Art zu therapieren. Dieser Knochenlappen basiert auf der Arteria descendens genu, dem letzten Ast der Arteria femoralis superficialis. Die Entnahme immer größerer Knochenfragmente aus der medialen Femurtrochlea wirft die Frage nach der Auswirkung auf das Kniegelenk auf. Das Ziel dieser Studie ist die Untersuchung der Entnahmemorbidity des medialen Femurkondylappens.

Die vorliegende Arbeit berichtet über 19 Patientinnen und Patienten, die sich im Zeitraum zwischen Jänner 2013 und Februar 2015 einer medialen Femurkondylappenplastik unterzogen haben. Die Daten der Teilnehmenden wurden aus der Krankengeschichte retrospektiv ausgewertet. 10 dieser 19 Patientinnen und Patienten konnten für eine postoperative follow-up Untersuchung durchschnittlich 26,1 Monate (9-35 Monate) nach dem Eingriff gewonnen werden. Die Entnahmegebiete der Operierten wurden mit mehreren klinischen Tests untersucht. Die Funktion und Anatomie des Kniegelenks wurde mit dem Larson Score beurteilt. Sensibilitätsstörungen oder Verluste konnten mittels Semmes-Weinstein Monofilament detektiert werden. Die Beschaffenheit der Narbe konnte mit Hilfe des Vancouver Scar Scale semiquantitativ erfasst werden. Eine subjektive Beurteilung des ästhetischen Ergebnisses durch die Teilnehmenden wurde mit dem Visual Analogue Scale for satisfaction erhoben. Alle Untersuchungen wurden von der selben Person vorgenommen. Zum Zeitpunkt der Datenauswertung war an 10 Patientinnen und Patienten die klinische Untersuchung auf Entnahmemorbidity durchgeführt worden.

Bei der Beurteilung des Kniegelenks mit dem Larson Score erreichten die Untersuchten durchschnittlich 81,6 aus 100 möglichen Punkten (50,5-97 Punkte). Die Einschätzung der Narbe über dem Entnahmegebiet durch den Vancouver Scar Scale ergab im Durchschnitt 1,9 aus 13 möglichen Punkten (0-9 Punkte). Bei der Sammlung der Daten für die Sensibilitätsüberprüfung erreichten 80% eine normale Sensibilität. Eine Patientin (10%) wies verminderte Berührungssensibilität und ein Patient (10%) kompletten Verlust des Berührungsempfindens über der Innenseite des distalen Oberschenkels auf. Die mittlere Länge der Operationsnarbe betrug 18,8cm (15,5-21,5cm).

Unsere klinisch erhobenen und ausgewerteten Daten stützen die Hypothese, dass die Entnahmemorbidity des medialen Femurkondylappens nach mindestens 9 monatigem Follow-up gering sind.

## Abstract

Morbidity of the knee joint after harvest of a medial femoral condyle flap

### Purpose

The medial femoral condyle has become a reliable source of vascularized bone with many advantages for the reconstructive surgery. It offers a rapid harvest of vascularized bone. The bone flap is based upon the articular branch of the descending genicular artery. The practice of harvesting large corticancellous flaps based on this vessel raises the question of the impact on the knee. The aim of this study is to investigate the donor site morbidity of the medial femoral condyle flap.

### Methods

A retrospective review of a total of 19 patients who underwent medial femoral condyle flaps procedures between January of 2013 and February of 2015 was conducted. The authors examined the donor site morbidity of the medial femoral condyle flap harvest. 10 of 19 patients were available for a clinical follow-up to evaluate the donor site. Follow up data were recorded at a minimum of 6 months, with an average of 26,1 months (range 9-35 months). Skin sensitivity testing was performed with Semmes-Weinstein monofilaments at a location on the skin 1cm away around the scar. We observed the donor site scar with the Vancouver Scar Scale. Functional and anatomical criterias of the knee joint were examined with the Larson knee score. A visual analogue scale was used to measure the subjective satisfaction with the aesthetic result at the donor site. All measurements were taken by the same investigator. A p-value of 0,05 or less was considered to be statistically significant.

### Results

On examination all operative knees demonstrated good motion and functional results and an average of 81,15 points (range: 50,5-97) in the Larson Score (max 100 points). The quality of the donor site scar rated with the Vancouver Scar Scale averaged 1,9 points (max: 13 points, range: 0-5 points). The aesthetic appearance of the donor sites scored 1,1 points on the VAS (max 10 points). In collecting the data of sensibility with the S-W monofilament 8 patients (80%) had normal sensation 1 patient (10%) had reduced stimulation sensitivity and 1 patient (10%) had total loss of sensitivity in the operation area.

### Conclusion and clinical relevance

Our data support the hypothesis that the medial femoral condyle harvest creates minimal donor site morbidity according to clinical measures at greater than 9 months follow-up.

### Key words

Medial femoral condyle flap, donor site morbidity, descending genicular artery, free vascularized bone transfer, clinical examination

## Einleitung

Postoperative Einschränkungen treten in jedem chirurgischen Fach auf. Um diese Komplikationen so gering wie möglich zu halten, ist es von essenzieller Bedeutung deren Ursachen zu kennen. In dieser Arbeit möchte ich das Operationsverfahren der medialen Femurkondylappenplastik ausführlich beleuchten. Im Besonderen richtet sich meine Aufmerksamkeit auf den postoperativen Verlauf im Entnahmegebiet an der Innenseite des distalen Oberschenkels. Es gilt zu beobachten und beurteilen, ob pathologische Veränderungen am operierten Kniegelenk auftreten und ob diese im Zusammenhang mit der Operation stehen können. Auch wenn das Hauptaugenmerk bei dem Verfahren der medialen Femurkondylappenplastik auf der zu behandelnden Pathologie beruht, darf nicht vergessen werden, dass, um diese therapieren zu können, dem Körper eine zweite Wunde zugefügt werden muss. Entnahmestellen von autologen Transplantaten und Lappen stellen ebenfalls eine potentielle Keimpforte und Boden für andere Morbiditäten dar. Sie sollten mit der gleichen Aufmerksamkeit bedacht werden wie die zu kurierenden Implantationsstellen. In vielen der Reviews und Studien werden Entnahmemorbiditäten in Halbsätzen abgetan. Das mag an der tatsächlich geringen Wahrscheinlichkeit für Entnahmemorbiditäten liegen, ich sehe es aber als meine Aufgabe, diese Anpreisungen kritisch zu hinterfragen und auf ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Aus diesem Grund widme ich mich in meiner Fragestellung ausschließlich den Entnahmemorbiditäten des medialen Femurkondylappens sowie ihren Eigenschaften und Ursachen. In dieser Fallserie, die von 19 Patientinnen und Patienten nach erfolgter Lappenplastik handelt, versuche ich kausale Zusammenhänge zwischen aufgetretenen Pathologien an der Entnahmestelle und verschiedenen dafür in Frage kommenden Ursachen zu finden. Das Spektrum meiner potentiellen Beobachtungen reicht von rein ästhetischer Unzufriedenheit, Narbenbildungen, Sensibilitätsstörungen und Dysästhesien bis hin zu Wundinfektionen und funktionell relevanten Bewegungseinschränkungen.

## Wissenschaftlicher Hintergrund

Mit dem Aufkommen der vaskularisierten Knochentransplantate wurde eine neue Ära in der Therapie von Knochendefekten eingeleitet. Die mediale oder laterale vaskularisierte Femurkondylappenplastik stellt eine international anerkannte Methode dar, um Knochendefekte verschiedenster Art zu therapieren. Tierversuche an Hunden konnten zeigen, dass vaskularisierte Knochenlappen einen klaren Vorteil gegenüber ihren schon in den 1950er Jahren verwendeten Pendants aufweisen.(1) Ihr Haupteinsatzgebiet liegt im Handgelenk und in der Therapie der avaskulären Nekrosen von Handwurzelknochen. Diese degenerativen Prozesse führen zu progredienter Bewegungseinschränkung und Schmerzen im Handgelenk. Da in diesem Bereich insbesondere das os scaphoideum mit 60% als der am häufigsten frakturierte Knochen zu erwähnen ist, kommt diese Operationsmethode vor allem in der Versorgung dieser Morbidität zum Einsatz.(2) Der entnommene Knochenkeil aus dem distalen Oberschenkelknochen wird außerdem an der unteren Extremität als Ersatz des os naviculare implantiert, kann somit auch hier eine operative Arthrodesis verhindern und das Gelenk am Leben erhalten.(3) Der vaskularisierte Knochenlappen kommt sowohl in gestielter als auch freier Form zur Anwendung. Während gestielte Lappen nur in unmittelbarer Umgebung der Entnahmestelle eingesetzt werden können wie zum Beispiel bei komplizierten Frakturen am Femurschaft, können freie Lappen in weiter entfernte Pathologien im Bewegungsapparat implantiert werden. Eine Besonderheit dieses Knochenkeils besteht in der Möglichkeit zusätzlich Knorpelgewebe am Knochenlappen zu belassen und somit dem neu geformten Hand- oder Fußwurzelknochen eine annähernd physiologische Funktion im Gelenk zu geben. Gespeist wird dieses Gebiet aus der Arteria descendens genus, die gemeinsam mit der Vena saphena magna und dem Nervus saphenus nach distal zieht. Ein mehrschichtiges Gefäßnetz sichert vor Ort die arterielle Versorgung von Haut, Muskel, Knochen und Knorpel. Bei der Präparation des Operationsgebietes stellt eben diese anatomische Struktur den Chirurgen vor die Herausforderung das ideale Gefäß für die Versorgung des Transplantats zu finden. Bisher veröffentlichte Studien(4,5) zu diesem Thema befassen sich hauptsächlich mit der Empfängerstelle und beschreiben nur in geringem Maße das Vorhandensein von Entnahmemorbiditäten. Diese Angabe soll in dieser Studie präzisiert werden. Es existieren kaum Publikationen, die die

Beziehung zwischen der Entnahme eines medialen Femurkondylappens und Morbiditäten im Kniegelenk in Zusammenhang stellen. Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist, den postoperativen Verlauf nach durchgeführter medialer Femurkondylappenplastik auf Entnahmemorbiditäten zu beurteilen.

## Geschichte des Medialen Femurkondylappens

Bis zum heutigen Tage haben zahlreiche Zugänge für den Umgang mit Pseudarthrosen und anderen Knochensubstanzdefekten Einzug in den klinischen Alltag gefunden. Dazu zählen nicht-vaskularisierte Knochentransplantate ebenso wie ihre durch Blutgefäße versorgten nahen Verwandten. Limitationen beim Einsatz von gestielten Knochenlappen, vor allem durch die begrenzte Pedikellänge oder bei gelenksübergreifenden Einsätzen haben zu vermindertem Bewegungsumfang geführt und somit die Türe für neue Techniken eröffnet.

1932 ließ Gaythorne Girdlestone mit folgender Aussage aufhorchen: Ein Knochen ist eine Pflanze mit ihren Wurzeln in den weichen Geweben. Wenn seine vaskulären Verbindungen beschädigt sind, benötigt er nicht die Fähigkeiten eines Zimmermeisters, sondern die Pflege und Aufmerksamkeit einer Gärtners.(6) Selten war dieses Zitat so treffend, so klinisch anwendbar wie im Falle der freien vaskularisierten Knochenlappen.

Der Umgang mit Pseudarthrosen war lange Zeit ein umstrittenes Thema, zumal die Aussage von Cole und Williamson aus dem Jahre 1935 noch in vielen Köpfen steckte, die da sinngemäß lautet: Verpflanzungen von Knochenfragmenten wurden mit Erfolg durchgeführt, jedoch werden sie nie in der chirurgischen Routinearbeit Einzug finden, da es sich nur um eine rekonstruktive Showeinlage handelt.(7)

Die Meinungen änderten sich jedoch zusehends, als die von Russe(8) veröffentlichten Methoden in den frühen 1950er Jahren vielversprechende Resultate zeigten. Die entwickelten Arten der Eigenknochenverpflanzungen machten eine Unterteilung in verschiedene Klassifikationen notwendig. Mit der Vorstellung der nicht-vaskularisierten Knochentransplantate, die vorwiegend kortikaler Natur waren, ergab sich zunächst eine wesentliche Verbesserung in der Behandlung von Pseudarthrosen der Handwurzelknochen. Doch auch dieser

Meilenstein der Scaphoidchirurgie sollte nicht der letzte sein. Ein wichtiger Limitationsfaktor blieb das Auftreten einer avaskulären Nekrose. Die Notwendigkeit einer suffizienten Durchblutung wurde messbar. In Anwesenheit einer avaskulären Nekrose konnte bei konventioneller nicht-vaskularisierter Knochentransplantation lediglich ein Zusammenwachsen der Knochenfragmente in 47% beobachtet werden, wohingegen 94% aller Scaphoidfrakturen ohne avaskulärer Nekrose mit dieser Operation erfolgreich behandelt werden konnten.(9)

Der wachsende Zuspruch zu Knochentransplantaten resultierte in der Entwicklung neuer Techniken. Mit der Annahme, dass ein aufrecht erhaltener Blutfluss zur Verbesserung der Knochenheilung unumgänglich ist, wurden vaskularisierte Knochenlappen entwickelt. In vivo Studien konnten eine Beschleunigung der Knochenheilung und eine Reduktion von Zysten belegen. An Kaninchen konnte ein ebenso verbesserter Blutfluss sowie überlegene mechanische Eigenschaften im Vergleich zu nicht-vaskularisierten Knochentransplantaten bewiesen werden.(1,10)

Zahlreiche Behandlungsformen sind darauf ausgerichtet, die lokale biomechanische Umgebung und die Blutversorgung des Frakturgebietes zu modulieren und zu optimieren. Unter diesen Zugängen hat sich die Technik der vaskularisierten Knochentransplantation hervorgehoben, da sie sowohl biologische als auch strukturelle Integrität an der Defektseite gewährleistet.

Die Studien konnten auch eine Knochensubstanz-bildende Kapazität und erhöhte Funktionsfähigkeit des Transplantats bei vaskularisierten Periosost-Lappen nachweisen.(11)

Der osteozytäre Erhalt führt zu verbesserter Einverleibung des Lappens und gleichzeitiger Massenzunahme an der Empfängerstelle.(12,13)

Zunächst wurden gestielte vaskuläre Knochentransplantate eingesetzt, um die Heilungsrate zu erhöhen.(14)

Vaskularisierte Knochentransplantate sind ein wirksames Werkzeug in der Rekonstruktion von Knochendefekten und der Förderung von Frakturheilungen. Im Vergleich zu konventionellen, nicht-vaskularisierten Transplantaten haben durchblutete Knochenfragmente das Potenzial, das nekrotische Gewebe im Falle einer avaskulären Nekrose wieder zu revaskularisieren und besitzen zudem noch überlegene strukturelle Eigenschaften. Ursprünglich limitiert durch die

Notwendigkeit, eine gestielte Blutversorgung zu erhalten, hat die Entwicklung der mikrochirurgischen Instrumente und Techniken seit den 1960er Jahren die routinierte Anwendung solch vaskularisierter Knochen- und Weichteiltransplantate geebnet.(15)

Vaskularisierte Knochenlappen haben bewiesen, die Geschwindigkeit der Knochenheilung und funktionellen Genesung beschleunigen zu können.(16)

Sie können aus einer Vielfalt von Entnahmestellen gewonnen werden wie beispielsweise der Fibula, der Crista iliaca, dem distalen Radius, dem Metatarsus und Metacarpus sowie den Femurkondylen.

Die Auswahl der am besten geeigneten Entnahmestelle ist multifaktoriell. Überlegungen müssen die Größen- und Formübereinstimmung zwischen Empfänger- und Spenderstelle, die strukturellen Charakteristika des Transplantats, die mechanischen Ansprüche des Defekts, die Nähe zur potentiellen Entnahmestelle, die Notwendigkeit einer Anastomose, den Durchmesser der Entnahme- und Empfängergefäße, die Frage der Ästhetik und das Erfordernis einer Weichteildeckung, die Dauer der Prozedur und die Entnahmemorbiditäten beinhalten.

Vaskularisierte Knochenlappen besitzen das biologische Potential, die Kallusbildung an der Spender-Empfänger-Verbindungsstelle aufgrund ihrer wesenseigenen Blutversorgung über einen Gefäßstiel oder eine mikrochirurgische Anastomose, zu unterstützen und sogar zu initiieren.(13)

Der Erfolg dieser Technik ist abhängig vom Prozess des schleichenden Austausches. Das Überleben des Transplantats wird lediglich gewährleistet durch die Ernährung aus den umgebenden Weichteilgeweben des Empfängerbettes, langsamen Gefäßeinwuchs in das Transplantat und der Infiltration undifferenzierter mesenchymaler Zellen, die sich nachfolgend zu osteogenetischen Zellen differenzieren müssen. Somit ist das Überleben von konventionellen nicht-vaskularisierten Knochenlappen, auch wenn sie durch ihre mechanischen Eigenschaften eine gute Unterstützung für den geschädigten Knochen darstellen, nicht gesichert. In anderen Worten, können Knochentransplantate ohne versorgendes Blutgefäß absorbiert werden und sogar zu unvollständiger Knochenheilung und Scheingelenksbildung führen.(17)

In den vergangenen 40 Jahren sind vaskularisierte Knochentransplantate ein wichtiges Werkzeug im Repertoire des rekonstruktiven Chirurgen geworden. Durchbluteter Knochen hat gegenüber konventionellen Transplantaten ohne Gefäßversorgung eine große Anzahl von Vorteilen wie den Verbleib von lebensfähigen Osteozyten, schnellere Knochenheilung und verbesserter Biomechanik.(18)

Die osteogenetische Kapazität des freien Periosts wurde 1965 erstmals von Skoog demonstriert.(19) Vaskularisierter freier Knochentransfer wurde initial 1974 von Östruo und Frederickson experimentell beschrieben.(20)

Der Vorteil gegenüber einem gestielten Lappen liegt in der Tatsache, dass ein freies Transplantat leichter in die gewünschte Form, Größe und Lokalisation gebracht werden kann, da er nicht von der vaskulären Verbundenheit seiner gestielten Pendants abhängig ist.(14)

Knochenlappen dieser Art können auf unterschiedlichen Pedikeln basieren.(21)

Seit seiner Vorstellung durch Taylor(22) im Jahre 1975 wurde der freie Fibulalappen eine der meist gebrauchten Techniken zur Rekonstruktion von Hart- und Weichteildefekten.

Besonders in schwer vernarbten Regionen oder bei umfangreichen Knochendefekten kommt diese Technik zum Einsatz. Die Rekonstruktion von segmentübergreifenden Defekten langer Röhrenknochen der Extremitäten wurde in der Literatur exzessiv beschrieben. Hier gilt der freie vaskularisierte Fibulalappen als der beliebteste und zuverlässigste Zugang.(23)

Freie Lappenplastiken basierend auf der Arteria descendens genus wurden in den letzten drei Jahrzehnten vermehrt durchgeführt. Erstmals 1981 wurde der Saphenus Lappen von Acland et al(24) vorgestellt.

Die Arteria descendens genus versorgt Haut, Muskel, Sehnen und Knochenstrukturen im medialen Bereich des Knies. Drei Typen von Hautperforatoren einschließlich Muskulokutane durch den Musculus vastus medialis, Direkte und Arteria saphena-Perforatoren können mit einer Hautkomponente gehoben werden. Der freie Saphenus-Hautlappen aus dem medialen Kniegelenksbereich, basierend auf dem Ramus saphenus der Arteria descendens genus wurde erstmals 1981 von Acland et al(24) beschrieben.

Die Gefäßanatomie des medialen Femurkondyls als Quelle von vaskularisierten kortikoperiostalen Lappen wurde von Sakai et al(25) 1989 beschrieben.

In Tiermodellen konnte 1990 durch das Umwickeln eines spongiösen Knochens mit vaskularisiertem Periost neues kortikales Wachstum über der Spongiosa nachgewiesen werden.(26)

Ein Jahrzehnt nach der Einführung des freien Saphenuslappens wurde die Durchführung eines freien vaskularisierten Knochenlappens aus dem Condylus femoris medialis für Rekonstruktionen 1991 veröffentlicht.(25,27)

Ausgehend von diesen bahnbrechenden Veröffentlichungen wurde die Arteria descendens genus in einigen klinischen Fallserien für verschiedene Zwecke inklusive Composite-Lappen herangezogen.

Nach seinen ersten Beschreibungen als freier Lappen basierend auf der Arteria descendens genus oder seltener der Arteria superior medialis genus wurde dieser kortikoperiostale Lappen vielseitig angewandt.(25,27-29)

Die Arteria descendens genus wurde vermehrt als ein vielseitig einsetzbares Gefäß in der rekonstruktiven Mikrochirurgie herangezogen. Vorwiegend wurde sie nun als vaskulärer Stiel für den kortikoperiostalen oder kortikospongiösen medialen Femurkondyllappen verwendet, um in komplizierten Fällen von pseudarthrotisch verändertem Knochen eine suffiziente Behandlung zu erreichen.(30,31)

Durch die Möglichkeiten der mikrovaskulären Chirurgie konnten vaskularisierte Knochentransplantate oder osteokutane Lappen für jene Fälle angewendet werden, in denen das Gefäßbett im Bereich der Verletzung als insuffizient angesehen werden kann und somit das Überleben eines nicht-vaskularisierten Knochentransplantates in diesem Bereich nicht möglich wäre.(17)

Indessen blieb die allumfassende Akzeptanz der freien Lappen basierend auf DGA aufgrund ihrer reichlichen Variationen vor allem die Hautperforatoren betreffend jedoch noch aus.

Wachsendes Wissen über anatomische Spielarten und Präparationstechniken dieses Pedikels konnten die Optionen, Erfolgchancen und Popularität des Lappens weiter steigern.

Klinische Serien(32) zeigten ein positives Outcome von über 90%, was zu der Annahme führte, dass freie Lappen basierend auf der Arteria descendens genus, wie es auch der mediale Femurkondylappen ist, eine große Bandbreite an Gewebstransfers bieten.

Masquelet et al(33) machte 1992 auch auf die Anwendung eines lokal gestielten periostalen Lappens dieser Region aufmerksam.

Der Gebrauch von Periost aus dem Bereich des medialen Femurkondyls wurde von Masquelet(33) ausführlich analysiert und von Doi et al(34) schließlich popularisiert.

1994 konnte experimentell bewiesen werden, dass der kortikoperiostale Transfer in Bezug auf die Osteogenese seinem rein periostalen Pendant noch weiter überlegen ist.(35)

Dieser Unterschied ist auf den dadurch verbesserten Erhalt des Kambiums zurückzuführen, das unter der Vermutung steht, für den Großteil der osteogenetischen Aktivität des Periosts zuständig zu sein. Die im Kambium existierenden osteogenetischen Progenitorzellen sind in der Lage, sich zu Osteoblasten zu differenzieren.(36)

Im Jahre 2000 inkludierte Doi et al(14) zusätzlich tiefer liegenden spongiösen Knochen um einen vaskularisierten Knochenlappen aus dem medialen Femurkondyl zu kreieren mit dem 10 Kahnbeinpseudarthrosen mit assoziierter avaskulärer Nekrose erfolgreich behandelt werden konnten.

Die Resultate einer Studie von Sungawa et al(1) et al aus dem Jahr 2000 demonstrieren, dass vaskularisierte Knochentransplantate den konventionellen, nicht-durchbluteten Knochenfragmenten überlegen sind. Als Heilungsparameter wurden die Frakturheilung, Revaskularisierung des Knochengewebes und Osteogenese herangezogen.

Der mediale Femurkondyl ist in den letzten Jahren eine zuverlässige Quelle für chirurgische Sanierungen von Gelenks- und Knochenschäden geworden. Die Verfügbarkeit der filigranen periostalen Gefäße der Arteria descendens genus sowie der Arteria superior medialis genus stellen dem Chirurgen eine großzügige Auswahl für die Entnahme des Knochenkeils zur Verfügung. Die vielen Vorzüge und Fähigkeiten der Osteogenese haben zu seinem Einsatz bei lang bestehenden Pseudarthrosen geführt. Metacarpale, phalangeale, carpale sowie auch tarsale

Pseudogelenksbildungen können ebenso wie knöcherne Verletzungen des Gesichtsschädels mit diesem freien vaskularisierten Lappen behandelt werden. Im Großen und Ganzen kann dieses dünne und flexible kortikoperiostale Präparat für Pseudarthrosen mit wenig oder keinem Knochensubstanzverlust herangezogen werden.(37) In den letzten Jahren wurden die Möglichkeiten dieses Lappens jedoch auch noch erweitert. Nicht nur die kortikoperiostalen Gewebsschichten sondern auch kortikospongiöse, myotendinöse und hautinseltragende Lappen werden inzwischen in der Literatur(27) und auch in unserem Fallbericht beschrieben.

Die häufigste klinische Indikation für den Einsatz des medialen Femurkondyllappens (MFL) ist die Pseudarthrose(25,38), onkologische Defektrekonstruktionen(26) und Fehlverheilung nach offener Keilosteotomie als kortikospongiöses Transplantat(35).

Durch seine Flexibilität als kortikoperiostaler Lappen, die ihn beinahe jeder Defektform anpassbar macht und die Fähigkeit, rasch neuen subperiostalen Knochen zu formieren, lässt sich diese Technik vielseitig einsetzen.(13)

## Anatomische Grundlagen

Die allseitige Akzeptanz der Arteria descendens genus-Lappen wurde durch signifikante Variationen in der Gefäßanatomie dieser Region getrübt, die die Planung, Präparation und Hebung der Transplantate erschweren kann.(39,40)

Zusätzlich herrscht in der Fachliteratur eine nicht einheitlich akzeptierte Nomenklatur bezüglich der Gefäße über dem medialen Femurkondyl. Die inkonsequente Terminologie dieser Strukturen führte zu Verwirrung in der Benennung von Perforatorlappen. Obwohl der Gent consensus die offiziell akzeptierte Terminologie beinhaltet, wird diese von einigen Autoren kritisiert.(41,42)

lorio(43) beschreibt beispielsweise keinen Ramus articularis, sondern bezeichnet das periostale Gefäß als Arteria descendens genus. Der gemeinsame Abgang der Haut-, Muskel- und Knochenäste aus der Arteria femoralis superficialis wird ebenfalls als ADG bezeichnet.

Salabal(44) kann in seinen Präparaten keine robusten Kommunikationen zwischen den einzelnen Ästen der Arteria femoralis superficialis und Arteria poplitea feststellen und widerlegt mit seiner Studie das oft in Textbüchern und Anatomieatlanten dargestellte arterielle Kollateralnetz über dem Kniegelenk. Hiermit wird mit einer jahrhundertealten Annahme, wie sie auch in Gray's Anatomy zu finden ist, aufgeräumt.(45)

Diese Studie beweist, dass auch die Anatomie aus dem Lehrbuch(46) nicht als apodiktisch zu verstehen ist und in der gelebten Anatomie ständig mit Variationen und Abweichungen zu rechnen ist. Ebenso ist eine genaue Kenntnis und Beschäftigung mit dem aktuellen Forschungsstand der Topografie vor jeder Operation unumgänglich.(44)

Anatomische Studien(4,24,27,47) fokussieren sich darauf, die Region mit der größten Dichte kortikoperiostaler Perforatoren zum Knochen im Bereich des medialen Femurkondyls zu finden und dem ausführenden Chirurgen somit eine Hilfestellung zu geben. Auch der Umfang der periostalen Perfusion durch die Arteria descendens genus (ADG), die Durchblutung der darüberliegenden Haut sowie die Verzweigung des Gefäßnetzes über dem distalen Femur stellen wichtige Gesichtspunkte der anatomischen Forschung dar.

Ich möchte in meiner Diplomarbeit deshalb näher auf die neuesten Erkenntnisse der diesbezüglichen Anatomie eingehen.

Die bisher durchgeführten anatomischen Studien(43,48,49) unterscheiden sich in ihren Ergebnissen jedoch deutlich, und so haben wir eine Metaanalyse betreffend der statistischen Häufung der einzelnen Subgruppen vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind im folgenden Text bereits berücksichtigt.

Der mediale Femurkondyl und die Haut über der Innenseite des Kniegelenks erhalten ihre Blutversorgung aus vier individuellen arteriellen Quellen: Der Arteria femoralis superficialis, der Arteria saphena bzw. dem Ramus saphenus, der Arteria descendens genus und der Arteria superior medialis genus.

Das Periost über dem medialen Femurkondyl wird vom Ramus articularis der Arteria descendens genus und den superomedialen Arterien des Kniegelenks versorgt. Der vaskularisierte Knochenlappen kann entweder auf den medialen deszendierenden Kniegelenksarterien basieren, die proximal des Hiatus adductorius aus der Arteria femoralis superficialis austreten und nach medial ziehen, oder durch die Arteria superior medialis genus versorgt werden, die medialseitig aus der Arteria poplitea, also weiter distal, austritt. Für die zweite Möglichkeit ergibt sich dadurch meist ein kürzerer Gefäßstiel. In unserer Studie ist die ASG mit 11% der weniger häufig gebrauchte Pedikel.

Die Arteria descendens genus hingegen ist für gewöhnlich kaliberstärker, länger und einfacher zu präparieren und wurde in unserer Studie in 89% der Fälle verwendet. Zusätzlich geben die deszendierenden Gefäße einen Ramus saphenus ab, der Richtung Haut zieht und die gleichzeitige Durchführung eines Hautlappens ermöglicht.(38) Die venöse Drainage dieser Region erfolgt über die gepaarten Begleitvenen der genannten Arterien, die in die Vena femoralis münden.(50) Die absteigende mediale Kniearterie, die typischerweise als letzter Ast aus der oberflächlichen Oberschenkelarterie entspringt, verfügt sowohl über osteoartikuläre Äste, die die mediale Femurtrochlea und die Gelenkkapsel versorgen, als auch über Muskeläste und Hautperforatoren. Sie ist in 89% der menschlichen Individuen vorhanden (Länge: 1,57cm bis zur ersten Aufteilung) und übernimmt dabei die Hauptversorgung der knöchernen und periostären Strukturen des medialen Femurkondyls sowie teilweise des darüberliegenden Hautareals.(49) Die Distanz

zwischen dem Ursprung der Arteria descendens genus und der medialen Kniegelenkslinie ist durchschnittlich 14,11cm. Der äußere Durchmesser der Arteria descendens genus auf Höhe ihres Ursprungs ist im Mittel 2,21mm dick. Hautperforatoren aus der ADG entspringen zu 54% aus dem distalen, zu 46% aus dem proximalen und mittleren Drittel dieser Struktur. Zu 70% gibt sie zwei (44%) oder mehr Perforatoren ab. Die Hälfte zieht durch den Musculus vastus medialis, die übrigen direkt zur Haut. Muskulokutane Perforatoren aus der Arteria descendens genus durch den Sartorius stellen mit unter 5% eine Ausnahme dar.

Der mediale Femurkondyl wird zu immerhin 81% aus zwei Quellen, dem Ramus articularis der Arteria descendens genus und der Arteria superior medialis genus gespeist. Hier eignet sich die Arteria descendens genus als arterieller Pedikel gegenüber der Arteria superior medialis genus, die nur in 13% die hauptversorgende Arterie des Knochens ist.

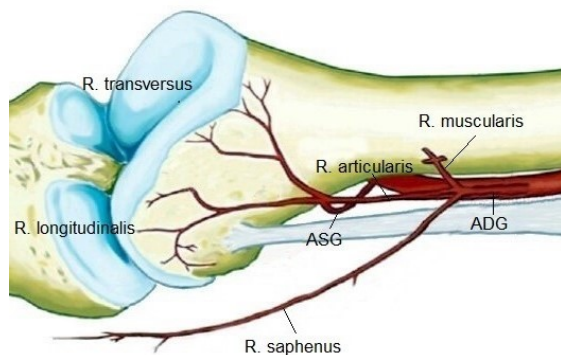


Abbildung 1: Gefäßversorgung über dem Kondyl

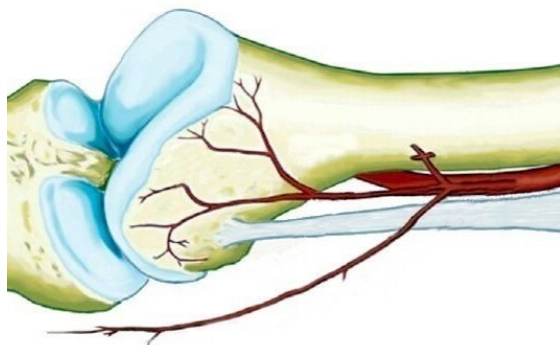


Abbildung 2: ASG fehlt

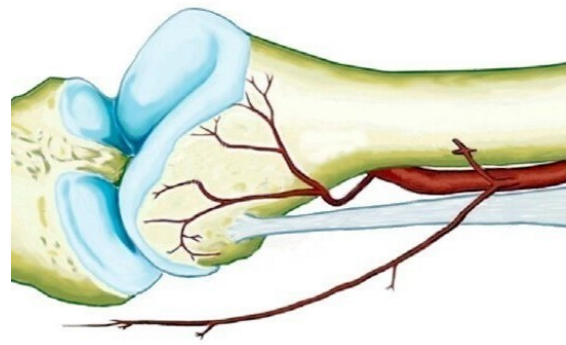


Abbildung 3: ADG fehlt

Bei Fehlen der Arteria descendens genus werden die Hautperforatoren nur durch den Ramus saphenus und die Arteria femoralis superficialis hervorgebracht. In diesem Fall übernimmt die Arteria superior medialis genus zur Gänze die Durchblutung des Knochens. Diese aus der Arteria poplitea entspringende Struktur existiert in 94% der Fälle und besitzt in der Regel nur osteoartikuläre Äste für den medialen Femurkondyl. In nur unter 5% gibt sie auch Hautperforatoren ab. Die Arteria superior medialis genus entspringt in 24% aus der Arteria femoralis superficialis und zu 76% aus der Arteria poplitea.

Üblicherweise entspringt die Arteria descendens genus aus der Arteria femoralis superficialis, kurz bevor diese durch die Öffnung der Adductor magnus Sehne tritt. Danach teilt sie sich in den Ramus muscularis, Ramus articularis und den Ramus saphenus auf.(51) Die Länge der Arteria descendens genus bis zu ihren distalen Aufzweigungen beträgt im Durchschnitt 1,57cm.

Die Länge der Abgänge der Arteria descendens genus:

Der Ramus muscularis (RM) misst im Mittel 3,22cm bevor er in den Vastus medialis zieht.

Der Ramus saphenus misst von seinem Ursprung bis zum distalen Ende des Sartorius durchschnittlich 11,92cm.

Der Ramus articularis (RA) ist im Durchschnitt 7,88cm lang.(48)

In der Vergangenheit haben einige Autoren(31,52-54) die anatomischen Variationen der Arteria descendens genus genau untersucht.

Die Studie von Dubois(52) beschreibt 5 verschiedene Aufteilungsmuster dieses Gefäßes in seine Endäste. Durch weitere Studien kann diese Klassifikation erweitert und komplettiert werden. Drei Hauptgruppen, die unterscheiden, ob die drei Äste der Arteria descendens genus entweder gemeinsam oder getrennt voneinander aus der Arteria femoralis austreten und insgesamt sieben Subgruppen, die die unterschiedlichen Abgänge jedes einzelnen Astes beurteilen, ermöglichen eine genaue Nomenklatur der medialen Kniegelenksversorgung.

Das Abgangsmuster des Hauptstammes nach der Klassifikation von Dubois(52) bei Vorhandensein aller Strukturen:

I: Die drei Äste treten aus der Arteria descendens genus aus (63%)

A Die Arteria descendens genus zerfällt in die drei Endäste (19%)

B Der Ramus muscularis tritt als erstes aus und hinterlässt einen Truncus saphenoarticularis (14%)

C Der Ramus saphenus tritt als erstes aus und hinterlässt einen Truncus musculoarticularis (30%)

II Einer der Äste entspringt direkt aus der Arteria femoralis (35%)

A Der Ramus articularis tritt separat aus der Arteria femoralis aus und die Arteria descendens genus zerfällt nur in den Ramus saphenus und Ramus muscularis (5%)

B Der Ramus saphenus entspringt direkt aus der Arteria femoralis und die Arteria descendens genus teilt sich nur in den Ramus muscularis und Ramus articularis auf (15%)

C Der Ramus muscularis entspringt alleine aus der Arteria femoralis und aus der Arteria descendens genus gehen die Rami articularis und saphenus hervor. (15%)

III: Der Ramus saphenus, articularis und muscularis entspringen separat aus der Arteria femoralis (2%)

Es ist von größter Bedeutung die klinischen Auswirkungen der verschiedenen Subtypen zu ermitteln. Eine Typ I Verteilung, beeinflusst die Lappenhebung nicht. Ein kortikoperiostaler Lappen kann entweder isoliert oder in Kombination mit einem Haut- oder Muskelanteil entnommen werden.

Eine Verteilung nach Dubois Typ II kann aufgrund der getrennten Abgänge ein Hindernis bei Compound Lappen ergeben. Unter Umständen kann die Länge des Gefäßstiels bei einer Typ III Verteilung zu kurz sein und den Einsatz des Lappens unmöglich machen oder den Gebrauch eines venösen Interponats erzwingen. In den anatomischen Studien konnte gezeigt werden, dass der Ramus articularis bei isoliertem Abgang signifikant kürzer ist (23-50mm), was den Lappeneinsatz erschwert.(48)

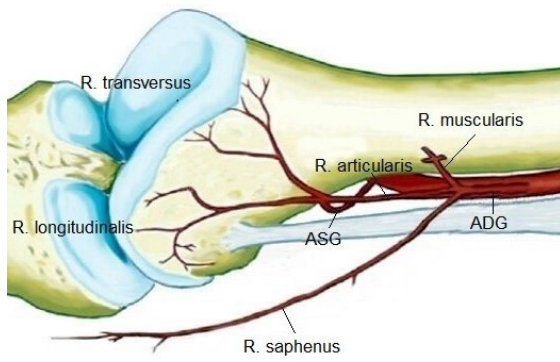


Abbildung 4: Dubois Ia

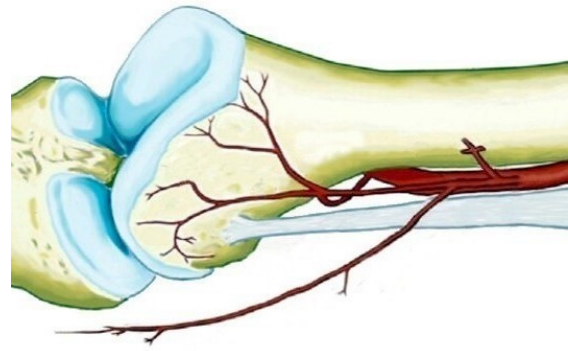


Abbildung 5: Dubois Ib

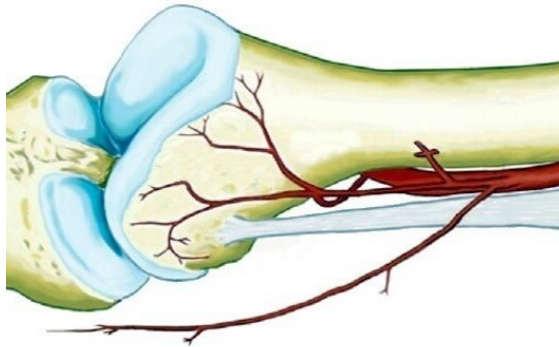


Abbildung 6: Dubois Ic

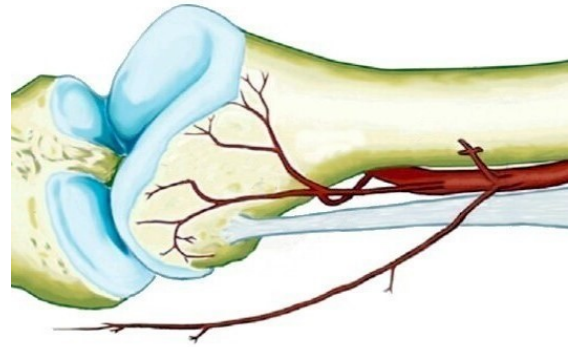


Abbildung 7: Dubois IIa

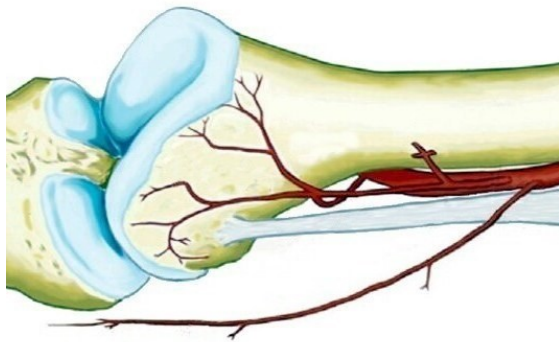


Abbildung 8: Dubois IIb

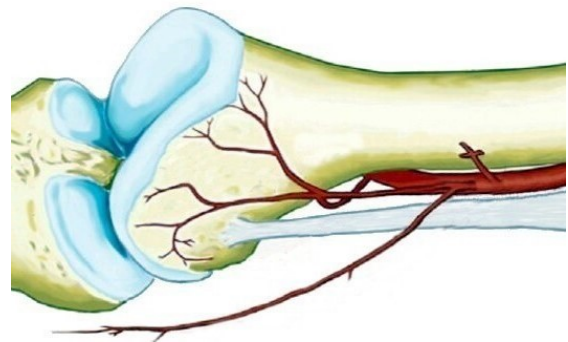


Abbildung 9: Dubois IIc

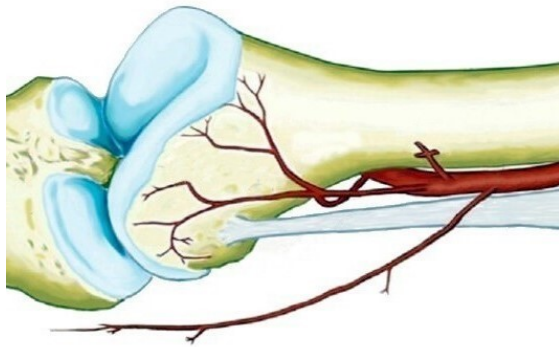


Abbildung 10: Dubois III

Quelle: In Anlehnung an Sananpanich, Kraisarin 2015

### Ramus saphenus

Der Gefäßstiel des kutanen Saphenuslappens beinhaltet den Ramus saphenus (RS), die zugehörigen Venen, als auch Teile des sensiblen Nervus saphenus.(49)

Dieses den Nervus saphenus begleitende und versorgende Gefäß wurde 1981 von Acland(24) in Wahrheit fälschlicherweise als Arteria saphena bezeichnet, da dieser Terminus in der Anatomie vieler Vertebrata bereits ein anderes Gefäß darstellt und beim Menschen nicht beschrieben ist.

Die Arteria saphena oder der Ramus saphenus entspringt laut Lehrbuch als Endast aus der Arteria descendens genus. Wobei erwähnt bleiben muss, dass der Ramus saphenus auch weiter proximal direkt aus der Arteria femoralis superficialis entspringen kann.(49)

Der Ramus saphenus der Arteria descendens genus kann durch seinen nahen Verlauf zum Nervus saphenus aus dem Nervus femoralis (L1-L4) identifiziert werden. Die beiden Strukturen verlaufen tief zur Sehne des Musculus sartorius.(43)

Der Ramus saphenus ist nach Sananpanich(49) ausgehend von seinem Ursprung bis zum Eintritt seiner Muskeläste in den Sartorius durchschnittlich 51,9mm lang (Durchmesser: 1,39mm). Er entspringt in 17% direkt aus der Arteria femoralis wohingegen in den restlichen Fällen sein Ursprung in der Arteria descendens genus liegt. Hautperforatoren aus dem Ramus saphenus verlaufen zu 45% als direkte Äste, zu 36% muskulokutan durch den Musculus sartorius und treten in 19% gemischt auf. Üblicherweise gibt der Ramus saphenus im Gegensatz zur Arteria

descendens genus keine Perforatoren in den Vastus medialis ab. Dieser Umstand kann bei der Unterscheidung der beiden Gefäße hilfreich sein.

Im Rahmen einer anatomischen Studie konnte das Team rund um Lee(51) zeigen, dass der Ramus saphenus durchschnittlich mit 4 Perforatoren ausgestattet ist. Jeweils zwei davon sind septokutaner und zwei davon myokutaner Natur. Die höchste Dichte von Hautperforatoren aus diesem Gefäß befindet sich 70mm proximal des medialen Femurkondyls. Distal dieser Struktur gibt der Ramus saphenus keine Perforatoren mehr ab. Nach Saint-Cyr et al(55) versorgt jeder Perforator ein eigenes Territorium, das als Perforasom bezeichnet werden kann.

Es werden von Iorio(43) drei verschiedene anatomische Variationen des Ramus saphenus beschrieben, die sich auch mit den Ergebnissen anderer Studien decken.(48,52)

In 83% der Fälle entspringt der Ramus saphenus aus einem gemeinsamen Stamm zusammen mit der Arteria descendens genus aus der Arteria femoralis. Ein separater Ursprung proximal der anderen Abgänge aus der Arteria femoralis superficialis tritt in 17% auf. In diesem Fall ist der Einsatz einer Monitorinsel gespeist durch den RS meist nicht möglich.(43)

Um auch die Möglichkeiten und Limitationen eines Hautinsel-tragenden Femurkondyllappens zu kennen, beschreibt Iorio(43) 2012 in einer anatomischen Studie die Gefäßversorgung des Integuments über dem medialen Kniebereich.

Der Versorgungsbereich des Ramus saphenus umfasst nach den Injektionsstudien von Acland(24) einen Bereich, der von 100mm proximal des medialen Kondyls bis 200mm distal des Kniegelenks reicht.

Distal des Abganges des Ramus saphenus konnten deutliche separate Hautäste direkt aus der Arteria descendens genus festgehalten werden. Dies demonstriert das Potenzial der Arteria descendens genus, die darüberliegende Haut auch ohne Beihilfe des Ramus saphenus versorgen zu können.

Durch eine farblich getrennte Einspritzung des Ramus saphenus sowie den Hautästen der Arteria descendens genus konnte an Kadaverstudien jedoch exakt gezeigt werden, wie umfangreich die jeweilige Hautversorgung ist.

Das Versorgungsgebiet der Hautperforatoren aus der Arteria descendens genus befindet sich direkt über dem medialen Femurkondyl. Iorio(43) konnte durch Injektionstechniken eine durchschnittliche Größe von 70cm<sup>2</sup> für dieses Areal nachweisen. Dieses Angiosom reicht nach distal nicht über die proximale Tibia und nach dorsal nicht über die Grenze zum Ramus saphenus hinaus.

Das Versorgungsgebiet des Ramus saphenus deckt mit einer durchschnittlichen Größe von 361cm<sup>2</sup> ein weit größeres Hautareal über der Innenseite der unteren Extremität ab. Nach dorsal reicht es bis zur Mittellinie der Fossa poplitea und nach distal bis zum mittleren Drittel des Unterschenkels.(43)

Auch wenn die Arteria femoralis superficialis das versorgende Gefäß der gesamten Extremität ist, so gibt auch sie selbst in 32% der Fälle Hautperforatoren in das beschriebene Gebiet ab, wovon die eine Hälfte direkte Hautperforatoren darstellen und der übrige Anteil muskulokutane Äste sind, die durch den Musculus sartorius und Vastus medialis ziehen.

Sananpanich et al(49) zeigen, dass es also mehrere Quellen für Hautperforatoren im medialen Bereich des Knies gibt, die für freie Lappenplastiken herangezogen werden können.

Die Arteria descendens genus bietet einen größeren arteriellen Durchmesser und ist wesentlich länger als der Ramus saphenus, der wiederum ein größeres Hautareal versorgt und somit für ausgedehntere Weichteildefekte verwendet werden kann.(43)

#### Ramus articularis

Der Ramus articularis der absteigenden Kniearterie versorgt das Periost über dem medialen distalen Anteil des Femurs und der Epiphyse sowie die Kniegelenkscapsel mit sauerstoffreichem Blut und stellt die Ernährung des Knochenanteils einer Femurkondylallappenplastik sicher.(49)

Der Abstand zwischen dem Punkt, an dem der Ramus articularis in das Periost eintritt, und der medialen Kniegelenkslinie beträgt im Mittel 62mm (55-80mm).(48)

Der Ramus articularis, in verschiedenen Studien auch als Arteria suprema genus bezeichnet, ist ein Ast der Arteria descendens genus, kann aber auch in 7% direkt

aus der Arteria femoralis superficialis proximal der Öffnung des Canalis vastoadductorius entspringen. Diese Arterie anastomosiert mit dem peripatellären anastomotischen Ring und dem prepatellären Gefäßnetz.

Die gesamte Blutversorgung der Patellea setzt sich aus einem peripatellären anastomotischen Ring, der aus den fünf Kniegelenksarterien und der Arteria tibialis anterior recurrens gespeist wird, zusammen. Die medialen und lateralen Abschnitte dieses Ringes laufen entlang der patellären Kanten im retinaculum musculorum und anastomosieren die superiores und inferiores Gefäße. Der distale Teil wird durch den Ramus transversus infrapatellaris gebildet, der innerhalb des Hoffa'schen retropatellären Fettkörpers läuft. Von diesem Ring ausgehend ziehen zwei Gefäßsysteme zum Sesambein und versorgen die intraossären Strukturen der Kniescheibe. Eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigt, dass das dominante blutversorgende Gefäß der Patella im Bereich des distalen Pols in den Knochen eintritt. (56)

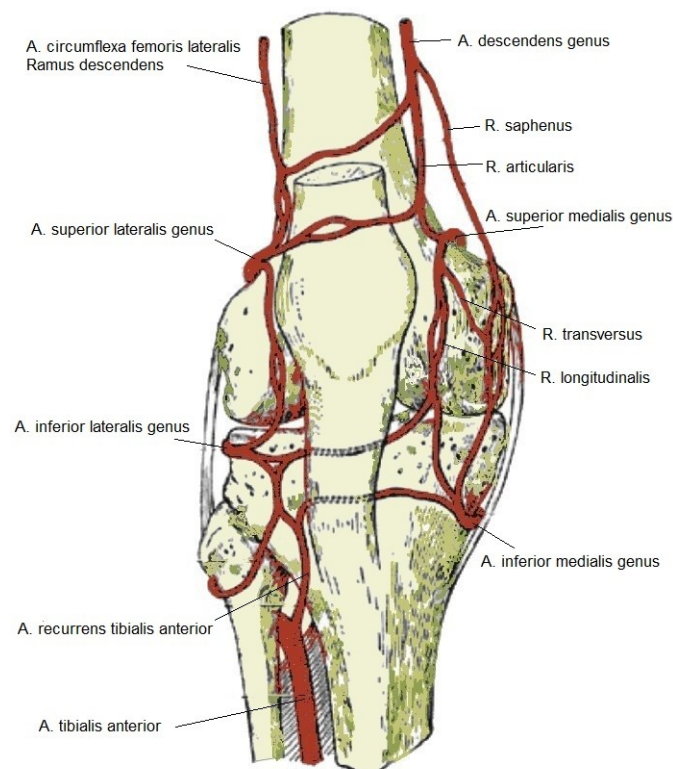


Abbildung 11: Gefäßversorgung der Patella

Quelle: In Anlehnung an Gray 1910

Die medialen Kniegelenksarterien geben mehr anastomosierende Gefäße in den peripatellären Ring ab als die gegenüberliegenden lateralen Arterien. Ein Wegfall der Arteria descendens genus und ihren versorgenden Ästen wird also gut toleriert. Das Risiko einer patellären Devaskularisation besteht aber natürlich dennoch.(57)

Im Laufe unserer Studie wurde darum auch im Rahmen der Kniegelenksbeurteilung mittels Larson Score auf Auffälligkeiten der Patella geachtet.

lorio(4) konnte beweisen, dass allein durch den Ramus articularis der Arteria descendens genus und seiner periostalen Kollateralen durchschnittlich 29% des medialen Femurperiosts perfundiert wird. Nach distal sind die Möglichkeiten der Entnahme lediglich durch die Gelenkslinie und das Ligamentum collaterale mediale begrenzt.

Obwohl die anatomische Basis und die chirurgischen Techniken bereits detailliert beschrieben sind, konnte ein aktueller Artikel von Cavadas(36) einen neuen nützlichen topografischen Orientierungspunkt zur Auffindung des Ramus articularis der Arteria descendens genus aufzeigen. Die grobe Anatomie dieses Lappens ist in den 28 von Cavadas durchgeführten Operationen annähernd gleich. So verläuft der Ramus articularis zu über 90% direkt hinter der Sehne des Musculus adductor magnus.

Der anwendbare Umfang eines gestielten Knochentransplantates aus diesem Bereich und damit der klinische Benefit ist abhängig von der Länge der Arteria descendens genus.

Die Länge der Arteria descendens genus von ihrem Ursprung aus der Femoralarterie bis zu den periostalen Aufzweigungen des Ramus articularis beträgt im Schnitt 9,21cm in 259 Präparaten, was einen Bewegungsumfang von 18cm eines gestielten Präparates nach proximal erlaubt.(58)

Der Ramus articularis der Arteria descendens genus bringt zwei periostale Endäste im Bereich der kondylären Fläche hervor:

Der Ramus longitudinalis läuft an der medialen Seite des Kondyls bis zum distalen Ende des Knochens und in die mediale Gelenkscapsel. Er wird üblicherweise für die Hebung von Lappen zur Skaphoidrekonstruktion herangezogen.

Der Ramus transversus läuft ventral am Kondyl Richtung medialer Trochlea und tritt dort in intime Beziehung mit der proximalen Knorpelgrenze und wird von Bürger für die Rekonstruktion von Handwurzelknochen angewendet.(4)

Anatomische Studien(4,59) haben das verzweigende Muster der Gefäße über dem distalen Femur detailliert beschrieben. So konnte auch aufgezeigt werden, dass der kranial gelegene Ramus transversus des periostalen Netzes aus dem Ramus articularis direkt zum proximalen Anteil der knorpelüberzogenen medialen Trochlea zieht.

Das Gefäßmuster dieses Systems beinhaltet periostale Gefäße, die das Knorpellager der Trochlea über den Ramus transversus der Arteria descendens genus versorgen. Anatomische Studien haben diese knochen- und knorpelversorgende vaskuläre Arkade bereits beschrieben sowie morphologische Ähnlichkeiten zwischen der proximalen Krümmung des os scaphoideum und der konvexen Oberfläche des medialen Femurkondyls festgestellt.(37) Die Oberfläche der knorpeltragenden Segmente des medialen Femurkondyls stellt eine annähernd physiologische Übereinstimmung mit der Facies articularis der proximalen Handwurzelreihe zur Verfügung.(29) Dadurch ist es auch möglich, diesen knorpelüberzogenen Anteil des Knochens als Gelenksflächenersatz im Bereich des Kahnbeins oder Mondbeins auszunützen.(59)

Die Gegenwart einer knorpeltragenden Region innerhalb der zur Verfügung stehenden vaskulären Achse, bietet große Möglichkeiten in der Behandlung von bisher ungelösten Problemen im intraartikulären Bereich.

Der Gebrauch von nicht-vaskularisierten knorpeltragenden, autologen, osteochondralen Präparaten ist zahlreich. Diese Rekonstruktionen gehen von der Annahme aus, die örtliche synoviale Nutrition sei für das Überleben des verpflanzten Gewebes ausreichend. Die Notwendigkeit einer aufrechterhaltenen Blutversorgung des Knochens, um den darüberliegenden Knorpel zu ernähren, ist jedoch experimentell noch nicht bewiesen worden und beruht nur auf klinischen Beobachtungen.(37) Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass eine Schnittstelle zwischen Knochen und Knorpel vor allem für die tiefen Schichten des Gelenkknorpels überlebenswichtig sind.(60,61)

Das Verständnis der Mikrozirkulation des Knochens ist entscheidend für den erfolgreichen Gebrauch dieser Technik. Eine dünne Schicht der Kortikalis, die auf dem Lappen belassen wird, verspricht laut einer Studie(2) eine bessere Knochenheilungsrate.

Der Verzicht auf die Entnahme von Kortex erleichtert hingegen die Befestigung des Lappens und ermöglicht einen sich möglicherweise auf die Heilung günstig auswirkenden gründlichen Kontakt des Periosts mit dem Knochen.(50)

Die vaskuläre Makro- und Mikroanatomie spielt eine entscheidende Rolle in der Auswahl dieser Entnahmeregion. Die Mikrozirkulation des spongiösen Knochens im Bereich des medialen Femurkondyls und der suprakondylären Anteile hängen in erster Linie von einer medullären Blutversorgung ab, die aus anastomosierenden Ästen der nutritiven-, metaphysären- und epiphysealen Gefäße zusammengesetzt ist. Die periostalen Blutgefäße nehmen bei der Versorgung der Kortikalis grundsätzlich eine nur geringe Rolle ein. Obwohl die periostalen Kapillaren direkt mit den Arteriolen und Venolen der darunter liegenden kortikalen und spongiösen Schichten verbunden sind, gibt es aufgrund des zentrifugalen Druckgradienten entlang der intraossären Gefäße keinen zentripetalen arteriellen Blutfluss vom Periost in den Knochen. In pathologischen oder ischämischen Situationen jedoch kann die Blutversorgung des Knochens über diesen Kollateralkreislauf aufrechterhalten werden.(38)

Bergen(62) hat bewiesen, dass Knochentransplantate, die durch periostale Gefäße revaskularisiert werden, einen Kollateralkreislauf zu den spongiösen Gefäßen errichten. Es gibt laut dieser Studie also keinen Unterschied in der Vitalität zwischen Knochenfragmenten, die durch medulläre und periostale Blutzufuhr versorgt werden oder Knochenlappen, die auf die alleinige Ernährung via periostaler Gefäße angewiesen sind. Die Erhaltung der periostalen Vaskularisation kann also ein kortikospongiöses Knochentransplantat am Leben erhalten, auch wenn es in ein insuffizient durchblutetes Wundbett verpflanzt wird. (29)

Zwei dieser zahlreichen Variationen in der Gefäßversorgung des medialen Femurkondyls sind klinisch relevant und deshalb im Speziellen noch einmal hervorzuheben.

Die erste Variante ist die wechselseitige bzw. gleichzeitige Versorgung des Kortikoperiostums über dem medialen Kondyl durch den meist dominanten Ramus articularis arteriae descendens genus und der häufig geringer ausgebildeten Arteria superior medialis genus. Ist die zweitgenannte Arterie dominant, ergibt sich aufgrund der kürzeren Gefäßlänge eine Einschränkung in der Beweglichkeit des Stiels und macht mitunter das Einbringen eines Gefäßinterponats notwendig.

Eine weitere relevante Variation in der Gefäßanatomie des medialen Femurkondyls ist das unabhängige Austreten der Arteria descendens genus und des Ramus saphenus aus der Arteria femoralis superficialis. Diese Spielform tritt in etwa 17% der Fälle auf(24) und verdient besondere Aufmerksamkeit, wenn ein sogenannter compound flap, der aus zwei oder mehreren Gewebselementen zusammengesetzt ist, geplant wird. Cavadas beschreibt die Möglichkeit, in einem solchen Fall den Ramus saphenus als eigenständigen Lappen an einen Seitenast der Arteria descendens genus anzuschließen. (36)

Das Wissen über alle Typen und Möglichkeiten der Hautperforatoren soll die Optionen, Erfolgsrate und Popularität des Lappens erhöhen.(32)

Die Ergebnisse der einzelnen Studien sind auf den folgenden Seiten angeführt.

Studie	Garcia	Vasiljeva	Sananpanich	Iorio	Acland
Jahr	2014	2013	2013	2012	1981
Kadaver	20	35	31	12	82
<b>Dubois I</b>	<b>60%</b>	<b>48%</b>	<b>48%</b>	<b>64%</b>	<b>95%</b>
Dubois Ia	20%	48%	k.A.	k.A.	k.A.
Dubois Ib	20%	0%	k.A.	k.A.	k.A.
Dubois Ic	20%	0%	k.A.	k.A.	k.A.
<b>Dubois II</b>	<b>30%</b>	<b>52%</b>	<b>52%</b>	<b>36%</b>	<b>5%</b>
Dubois IIa	5%	3%	0%	0%	0%
Dubois IIb	15%	9%	52%	9%	5%
Dubois IIc	10%	40%	0%	27%	0%
<b>Dubois III</b>	<b>10%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>k.A.</b>
<b>ADG Vorhanden</b>	100%	100%	87%	100%	k.A.
<b>ADG Abgangshöhe</b>	12,83cm	14,3cm	12,83cm	14,2cm	15cm
<b>ADG bis Periost</b>	6,73cm	9cm	8,16cm	k.A.	k.A.
<b>ADG Länge</b>	1,44cm	2,2cm	k.A.	k.A.	k.A.
<b>ADG Durchmesser</b>	1,77mm	1,9mm	2,7mm	k.A.	k.A.
<b>RA Länge</b>	5,3cm	6,8cm	k.A.	k.A.	k.A.
<b>RA Durchmesser</b>	k.A.	1,1mm	k.A.	k.A.	k.A.
<b>RS Vorhanden</b>	100%	100%	100%	92%	95%
<b>RS Länge</b>	15,6cm	13,9cm	5,19cm	k.A.	k.A.
<b>RS Durchmesser</b>	k.A.	0,9mm	2,1mm	k.A.	k.A.
<b>RM Länge</b>	2,3cm	1,9cm	k.A.	k.A.	k.A.
<b>RM Durchmesser</b>	k.A.	1,1mm	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 1: Studienergebnisse von Garcia, Vasiljeva, Sananpanich, Iorio, Acland

Studie	Yoshida	Hong	Hertel	Martin	Larson
Jahr	2009	1986	1989	1991	2007
Kadaver	16	40	100	36	20
<b>Dubois I</b>	<b>k.A.</b>	<b>64%</b>	<b>38%</b>	<b>69,5%</b>	<b>79%</b>
Dubois Ia	k.A.	k.A.	k.A.	8,3%	k.A.
Dubois Ib	k.A.	k.A.	k.A.	5,6%	k.A.
Dubois Ic	k.A.	k.A.	k.A.	55,5%	k.A.
<b>Dubois II</b>	<b>k.A.</b>	<b>36%</b>	<b>58%</b>	<b>30,5%</b>	<b>10%</b>
Dubois IIa	k.A.	0%	6%	8,3%	10%
Dubois IIb	k.A.	36%	36%	16,7%	0%
Dubois IIc	k.A.	0%	16%	5,6%	0%
<b>Dubois III</b>	<b>0%</b>	<b>k.A.</b>	<b>4%</b>	<b>0,0%</b>	<b>11%</b>
ADG Vorhanden	100%	k.A.	92%	k.A.	k.A.
ADG Abgangshöhe	k.A.	k.A.	14cm	k.A.	13,7cm
ADG bis Periost	8,5cm	k.A.	9,2cm	9,3cm	k.A.
ADG Länge	k.A.	1,47cm	1,2cm	1,3cm	2,1cm
ADG Durchmesser	k.A.	2,3mm	2,1mm	2,5mm	k.A.
RA Länge	k.A.	k.A.	8cm	8cm	k.A.
RA Durchmesser	k.A.	k.A.	1,2mm	k.A.	k.A.
RS Vorhanden	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	79%
RS Länge	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
RS Durchmesser	k.A.	1,6mm	1,3mm	k.A.	k.A.
RM Länge	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
RM Durchmesser	k.A.	k.A.	1,4mm	1,65mm	k.A.

*Tabelle 2: Studienergebnisse von Yoshida, Hong, Hertel, Martin, Larson*

Studie	Yamamoto	Rahmanian	Dubois	Scheibel	Lee
Jahr	2010	2011	2010	2002	2011
Kadaver	19	21	25	32	10
<b>Dubois I</b>	<b>78%</b>	<b>91,5%</b>	<b>80%</b>	<b>62,6%</b>	<b>k.A.</b>
Dubois Ia	k.A.	k.A.	20%	0,0%	k.A.
Dubois Ib	k.A.	k.A.	16%	31,3%	k.A.
Dubois Ic	k.A.	k.A.	44%	31,3%	k.A.
<b>Dubois II</b>	<b>11%</b>	<b>8,5%</b>	<b>20%</b>	<b>34,4%</b>	<b>k.A.</b>
Dubois IIa	11%	0%	4%	3,1%	k.A.
Dubois IIb	0%	8,5%	16%	18,7%	k.A.
Dubois IIc	0%	0%	0%	12,5%	k.A.
<b>Dubois III</b>	<b>11%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>3,1%</b>	<b>k.A.</b>
ADG Vorhanden	k.A.	100%	k.A.	75%	k.A.
ADG Abgangshöhe	13,7cm	14,7cm	k.A.	k.A.	k.A.
ADG bis Periost	k.A.	13,9cm	k.A.	k.A.	k.A.
ADG Länge	k.A.	2,5cm	k.A.	k.A.	k.A.
ADG Durchmesser	1,5mm	2,9mm	k.A.	k.A.	k.A.
RA Länge	k.A.	11,4cm	k.A.	k.A.	k.A.
RA Durchmesser	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
RS Vorhanden	79%	100%	k.A.	100%	100%
RS Länge	k.A.	13,7cm	k.A.	k.A.	14,8cm
RS Durchmesser	0,97mm	k.A.	k.A.	k.A.	1,63mm
RM Länge	k.A.	6,3cm	k.A.	k.A.	k.A.
RM Durchmesser	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 3: Studienergebnisse von Yamamoto, Rahmanian, Dubois, Scheibel, Lee

## Knochenphysiologie

Der Erfolg von durchbluteten Knochenlappen ist abhängig vom Prozess des schleichenden Austausches. Das Einwachsen des Transplantats wird lediglich gewährleistet durch die Ernährung aus den umgebenden Weichteilgeweben des Empfängerbettes, langsamen Gefäßeinwuchs in das Transplantat und der Infiltration undifferenzierter mesenchymaler Zellen, die sich nachfolgend zu osteogenetischen Zellen differenzieren müssen. Somit ist das Überleben von konventionellen nicht-vaskularisierten Knochenlappen, auch wenn sie durch ihre mechanischen Eigenschaften eine gute Unterstützung für den geschädigten Knochen darstellen, nicht gesichert. Knochentransplantate ohne versorgendes Blutgefäß können absorbiert werden oder zu unvollständiger Knochenheilung führen.(17)

Knochendurchblutungsmessungen (Bone blood flow measurements) und quantitative histomorphometrische Untersuchungen des Osteoids demonstrieren eine signifikante Überlegenheit des Blutflusses und des Knochenumbaus in avaskulären Segmenten nach dem Einsatz von vaskularisierten Transplantaten. Auch der Prozess der Osteogenese in lebensunfähigem Knochen nach dem Einbau vaskularisierter Knochenlappen ist ähnlich der spontanen Revaskularisation und des Knochenumbaus. Frische Knochenformationen treten rasch auf abgestorbenen Knochenbälkchen auf. Nach der Invasion von Gefäßen und undifferenzierten Zellen in das Gewebe entsteht auch subchondraler Knochen. Es macht auch den Anschein, dass enchondrale Ossifikation bei dem Wiederaufbau der Strukturen eine Rolle spielt, da Chondrozytenformationen innerhalb des neu geformten Knochengewebes entdeckt werden konnten. Dass direkte Migration von Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten aus dem angrenzenden Transplantat auch Teil des Remodelings ist, ist noch nicht bewiesen. Die Hauptfunktion durchbluteter Knochenlappen in der Behandlung von avaskulären Nekrosen und Pseudarthrosen scheint die Bereitstellung und das Auswachsen von gesunden Gefäßen zu sein.(63)

Diese Gefäße wiederum bieten die Möglichkeit zur Einwanderung von undifferenzierten Zellen, Zytokinen und anderen Chemotaxinen, die zur Bildung neuer Knochensubstanz beitragen. Die Osteogenese in geschädigtem Knochen erfolgt jedoch um einiges langsamer als die Revaskularisation und Angiogenese.

Nach acht Wochen finden sich die ersten unreifen Geflechtknochenformationen, jedoch noch kein belastungsfähiger Lamellenknochen in vormals nekrotischen Gebieten.(1)

## Varianten des Medialen Femurkondyllappens

Speziell für die Rekonstruktion von großen Knochensubstanzdefekten mit über 6cm Ausdehnung und in Situationen mit irritierten, infizierten und schlecht durchbluteten Empfängergebieten ist an den Gebrauch eines vaskularisierten Knochentransplantates zu denken.(64) Vaskularisierte Knochentransplantate können weiter in gestielte und freie Lappen unterteilt werden. Gestielte Exemplare zeichnen sich durch ein Knochensegment nahe des Defekts, das unter Aufrechterhaltung der Blutversorgung in das Empfängerbett eingebracht wird, aus. Dies setzt die Existenz eines stabilen Spenderknochens in unmittelbarer Proximalität des Defekts voraus.

Der Einsatz ihrer freien Pendants konnte diese Limitationen bewältigen. Freie vaskularisierte Knochenlappen verfügen über die Möglichkeit ein Knochensegment mit seinem versorgenden Gefäß von der Spenderseite abzulösen und es mit der Empfängerseite sowie einem lokalen Gefäß im Defektgebiet individuell zu anastomosieren und zu verbinden.(2)

Für die Wiederherstellung von Defekten der oberen Extremität werden Knochentransplantate vorwiegend aus der Fibula oder dem Darneinkamm entnommen(65), aber auch der Radius, die Scapula, Rippen oder andere Lokalisationen bieten die Möglichkeit für einen nützlichen Knochenlappen. Vor wenigen Jahren wurde der mediale Femurkondyllappen als eine weitere Alternative populär.(14,34,66-68) Die Auswahl des vaskularisierten Knochenlappens sollte mit der Defektgröße übereinstimmen. Während traditionelle Transplantate wie die freie Fibula in der Lage sind, größere Defekte zu behandeln, ist ihr Einsatz in Fällen mit minimalem Knochenverlust aufgrund ihrer Größe, Form und potenziellen Entnahmemorbiditäten zu überdenken.(12)

Sakai et al(25) beschrieb 1991 erstmals die Entnahme von freiem vaskularisierten Knochen aus dem suprakondylären Bereich des Femurs. Die suprakondyläre und epikondyläre Region der medialen Seite des distalen Oberschenkelknochens wird durch die Arteria descendens genus und die Arteria superior medialis genus versorgt.(50) Der vaskularisierte mediale Femurkondyllappen hat als Knochentransplantat viele klinische Anwendungsgebiete. Er kann als dünner und anschiemiger kortikoperiostaler Lappen gehoben, um lange Röhrenknochen

gewickelt werden und so die Heilung von langwierigen Pseudarthrosen herbeiführen. Andererseits kann er auch als strukturelles kortikospongiöses Transplantat für die Therapie von kleinen Knochensubstanzverlusten wie etwa bei avaskulären Pseudarthrosen im Scaphoid herangezogen werden.

### Kortikoperiostal

Das Kortikoperiostum ist eine relativ flexible Struktur, die durch ihr gut durchblutetes Kambium eine exzellente osteogenetische Kapazität aufweist.(36)

Das Periost über dem medialen Femurkondyl wird vom Ramus articularis der Arteria descendens genus und den superomedialen Arterien des Kniegelenks versorgt. Der vaskularisierte kortikoperiostale Knochenlappen kann entweder auf den deszendierenden Kniegelenksarterien basieren, die proximal des Hiatus adductorius aus der Arteria femoralis austreten und nach medial ziehen, oder durch die Arteria superior medialis genus versorgt werden, die medialseitig aus der Arteria poplitea, also weiter distal, austritt.



*Abbildung 12: Entnahme eines kortikoperiostalen medialen Femurkondyllappens*

Für die zweite Möglichkeit ergibt sich dadurch meist ein kürzerer Gefäßstiel. Die Arteria descendens genus hingegen ist für gewöhnlich kaliberstärker, länger und

einfacher zu präparieren. Zusätzlich geben die deszendierenden Gefäße meist einen Ramus saphenus ab, der Richtung Haut zieht und die gleichzeitige Durchführung eines Hautlappens ermöglicht.

Der vaskularisierte dünne kortikoperiostale Lappen beinhaltet Periost und den darunterliegenden dünnen kortikalen Knochen, um Schäden am Kambium zu verhindern. Dieses Resektat ist dünn, elastisch und im Empfängerbett in jede Konfiguration gut verformbar.(38) Aufgrund ihrer osteogenetischen Kapazität haben kortikoperiostale Lappen ein erhebliches Potenzial zur Rekonstruktion von Knochendefekten(69)

Bereits 1965 konnte Skoog(19) zeigen, dass verpflanztes durchblutetes Periostum das Knochenwachstum anregen kann. Initial wurden vaskularisierte Transplantate aus dem medialen Femurkondyl hauptsächlich als gestielte kortikoperiostale Lappen, basierend auf Ästen der Arteria descendens genus beschrieben. Infolgedessen wurde auch der freie Gewebstransfer in der Behandlung von instabilen Frakturen großer sowie kleiner Röhrenknochen Teil der chirurgischen Forschung auf diesem Gebiet.(15)

Der Gebrauch von Periost aus dem Bereich des medialen Femurkondyls wurde von Masquelet(33) ausführlich analysiert und von Doi et al popularisiert.(34) In Tiermodellen konnte durch das Umwickeln eines spongiösen Knochens mit vaskularisiertem Periost neues kortikales Wachstum über der Spongiosa nachgewiesen werden.(26) Vaskularisierte periostale Lappen bieten in Form dieser biologischen Manschette eine gute Behandlungsoption in Fällen von atrophen Pseudarthrosen.(50)

Passende Empfängergefäße, Pedikellänge und lokale dreidimensionale Anforderungen stellen hohe Ansprüche an den Chirurgen bei der Einbringung dieses Lappens. Das Transplantat muss beide Fraktarenden bedecken und sollte zur Gänze um den Defekt gewickelt werden können. Die Faltung des kortikalen Anteils ist essentiell für einen hinreichenden Kontakt von Lappen und debridierem Empfängerknochen. Um ein Abrutschen des Transplantates zu verhindern, sind periphere Nähte notwendig. Aufgrund ihrer osteogenetischen Kapazität, haben kortikoperiostale Transplantate ein hohes Potenzial, die Rekonstruktion von Knochensubstanzdefekten zu erleichtern. Es konnte experimentell gezeigt werden,

dass die Kombination aus periostalem und spongiösem Gewebe besser zur Produktion von kompaktem Knochen geeignet ist als eines der beiden alleine.

Der Großteil der Fachliteratur(25,26,34,36) fokussiert sich auf die Vorzüge der vaskularisierten kortikoperiostalen Lappen. In einigen Fällen bietet der alleinige Einsatz von Periost und dünner Kortikalis oft nicht genug Knochenmasse, und die Beigabe eines Knochentransplantates, meist aus der Crista iliaca, wird notwendig. Strukturelle Unterstützung des rekonstruierten Knochens bei wirksamen Substanzverlusten ist für eine prompte Rehabilitation und Wiedergewinnung einer angemessenen Funktionalität zwingend notwendig.

Ein suffizient durchbluteter periostaler Lappen ist in der Lage, ein rein strukturelles nicht-vaskularisiertes Knochentransplantat zu revaskularisieren. Die Methode des Umwickelns eines nicht perfundiertem Transplantats mit vaskularisiertem Periost konnte Frakturlücken von bis zu 5cm erfolgreich und ohne rezidivierende Pseudarthrose schließen. Die Behandlung von größeren Spalten eignet sich für den Einsatz eines freien Fibulatransplantates. Weitere Studien, die größere periostale Transfers aus dem medialen Femurkondyl behandeln, sollten durchgeführt werden.

Der mediale Femurkondyllappen kann als stark durchblutetes Knochenaufbauunterstützendes, kortikoperiostales Transplantat entnommen werden und erfolgreich für die Behandlung von persistierenden Pseudarthrosen und kleinen Frakturspaltrekonstruktionen herangezogen werden. Klassische Transplantate aus dem Darmbeinkamm können durch die Anwesenheit eines vaskularisierten kortikoperiostalen Lappens stark profitieren.(70)

Vaskularisierte kortikoperiostale Lappen aus dem medialen Femurkondyl wurden bereits um Pseudarthrosen des Radius, Humerus, der Ulna(64), der Clavicula(71) und der Metacarpalknochen(25) gewickelt, um endgültige Knochenheilung zu erreichen.

Im Jahre 2000 inkludierte Doi et al(14) zusätzlich tiefer liegenden spongiösen Knochen, um einen vaskularisierten Knochenlappen zu kreieren, mit dem 10 Kahnbeinpseudarthrosen mit assoziierter avaskulärer Nekrose erfolgreich behandelt werden konnten.(15)

## Kortikospongiös

Die Entnahme des medialen Femurkondyllappens beinhaltet üblicherweise Periost und eine dünne darunterliegende kortikale Schicht, um ein flaches Transplantat zu erhalten, das um eine Pseudarthrose mit wenig oder keinem Substanzdefizit gewickelt werden kann.(25) In den letzten Jahren hat die Fachliteratur eine progressive Expansion der Indikationsstellung für diesen Lappen bewirkt. Nicht nur eine simple kortikoperiostale Schicht, sondern auch der Gebrauch von kortikospongiösen multistrukturellen Lappen aus dieser Region konnte in der Literatur beschrieben werden.(72)

Kürzlich konnten experimentelle Modelle von Camilli und Penteadó(30,35) demonstrieren, dass kortikospongiöse Lappen im Hinblick auf Knochenproduktion und Heilung effizienter sind als reine kortikoperiostale Lappenplastiken. Dieser Unterschied wurde der besseren Erhaltung der tiefen Schichten des Periosts - dem Kambium – zugeschrieben, das unter der Vermutung steht, für den Großteil der osteogenetischen Aktivität des Periosts zuständig zu sein.(35)



*Abbildung 13: Entnahme eines kortikospongiösen medialen Femurkondyllappens*

Der vaskularisierte kortikospongiöse Femurkondyllappen beinhaltet das Periost, die komplette Kortikalis und darunterliegenden spongiösen Knochen. Diese Option ist

eine Sonderform des vaskularisierten Knochenlappens und kann ebenso in Fällen von geringem Knochensubstanzverlust eingesetzt werden.(38)

In der oberen Extremität konnten bereits kortikospongiöse Transplantate eingesetzt werden, um nekrotisches Gewebe im Kahnbein erfolgreich zu ersetzen. Sammer konnte zeigen, dass der kortikospongiöse Lappen aus dem medialen Femurkondyl auch für die Therapie von Knochensubstanzdefekten im Bereich der Mittelhandknochen erfolgreich eingesetzt werden kann.(72)

Der mediale Femurkondyllappen kann aber nicht nur für die Behandlung kleiner Pseudarthrosen, sondern auch für größere kortikospongiöse Knochendefekte als Interponat herangezogen werden.(39)

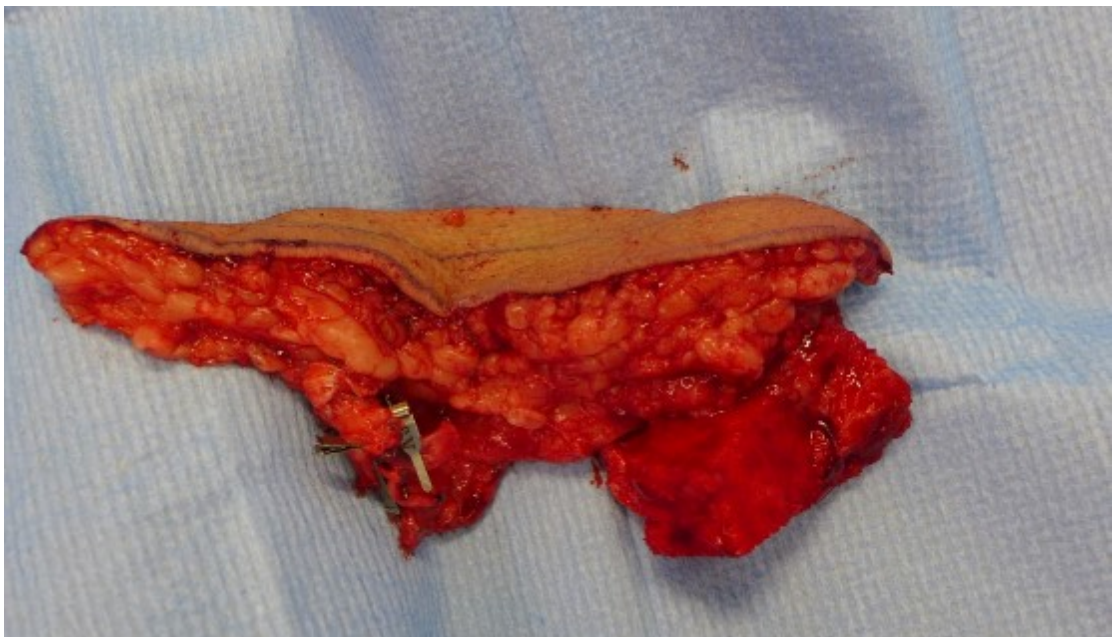
Kürzlich veröffentlichte klinische Serien haben demonstriert, dass dieser Lappen auch als kortikospongöses Transplantat von bis zu 10cm Länge anwendbar ist.(4,43,73-75)

Einige Zentren haben damit begonnen spongiöse Zwischensegmente von bis zu 10cm Länge mit diesem Knochenransplantat zu versorgen. Die Entnahme immer größerer Knochenfragmente basierend auf der Arteria descendens genus wirft die Frage nach der ossären Perfusion dieses Gefäßes auf.(4)

Abgesehen von nicht-strukturellen Defekten, sind kortikospongiöse Transplantate gegenüber rein kortikoperiostalen zu bevorzugen, um die Stabilität der Rekonstruktion und eine frühe Rehabilitation und Wiedererlangung der Funktionalität zu erreichen.(76)

## Compound

Etwas mehr als 100 Fälle für den klinischen Gebrauch des vaskularisierten medialen Femurkondylappens sind in der Literatur beschrieben. Weniger als 20 dieser publizierten Lappenplastiken wurden mit einem Hautanteil übertragen. In der Mehrheit der Fälle wird dieses Transplantat als dünner, leicht verformbarer kortikoperiostaler Lappen entnommen und kommt daher oft ohne den Gebrauch von zusätzlichem Weichteilgewebe aus, um das Empfängerbett suffizient verschließen zu können. Einige Chirurgen sind möglicherweise auch der Meinung, dass eine Monitorinsel bei dieser Technik nicht notwendig ist, da eine unentdeckte mikrovaskuläre Thrombose im Lappengefäß zu keiner katastrophalen Komplikation führen würde. Lediglich eine Umwandlung in ein noch immer wertvolles, jedoch nicht-vaskularisiertes Knochentransplantat wäre die Konsequenz.(39)



*Abbildung 14: Entnahme eines osteokutanen Compound Lappen aus dem medialen Femurkondyl*

Eine durchblutete Hautinsel stattet das Transplantat aber mit 2 Vorteilen aus. Einerseits erleichtert sie einen spannungsfreien Verschluss der Empfängerstelle direkt über der mikrovaskulären Anastomose und bietet so noch zusätzlich Schutz, andererseits gestattet das Hautfenster ein exaktes Lappenmonitoring. Das Auftreten einer Thrombose kann somit schnell erkannt werden und eine eventuell notwendige Revision rechtzeitig erfolgen. Durch eine operative Exploration nach sofort entdeckter Thrombose bei freien Lappenplastiken liegt auch trotz dieser

Komplikation die Erfolgsrate noch bei über 50%. Das Hautsegment des medialen Femurkondylallappens bietet die Möglichkeit der visuellen Beurteilung über die Durchgängigkeit der mikrovaskulären Anastomose und somit auch der Perfusion des vaskularisierten Knochenanteils. Ein Hautelement kann somit den Vorteil dieses komplexen und langwierigen Eingriffes bewahren und eine ungewollte Konversion in ein weniger effizientes Knochentransplantat ohne eigene Durchblutung verhindern, wenn eine Thrombose nach der Operation unentdeckt bleibt.

Das Heben des Hautlappens ist der anspruchsvollste Teil der Präparation. Es existieren erhebliche Unterschiede in den anatomischen Variationen der Hautäste aus der Arteria descendens genus.(43)

Die Kombination aus Haut- und Knochen-versorgenden Gefäßästen, die aus einem Pedikel entspringen, ermöglichen die Durchführung von osteokutanen Chimära-Lappen.(43)

Für gestielte oder freie Lappenplastiken ist die Distanz vom Ursprung des Pedikels bis zu seiner Versorgungsstelle und der Durchmesser des Gefäßstiels am Ursprung von klinischer Bedeutung. Für Chimära-Lappen sind die Distanz vom Ursprung bis zur Aufzweigung der verschiedenen Gewebeversorgungsgebiete und die Summe der Länge der abgehenden Äste untereinander zusätzlich interessant.

Osteokutane Chimära-Lappen, versorgt durch die Arteria descendens genus, können für Defekte im Bereich des Knochens als auch der Haut herangezogen werden. Als Chimära-Pedikel wird die Arteria descendens genus bis zu ihren Aufzweigungen in die beiden Chimära-Arme, die zu den verschiedenen Gewebetypen ziehen, bezeichnet (Ramus articularis und Ramus saphenus). Die Länge des Chimära-Pedikels ist entscheidend für den Abstand des Empfängergefäßes zur Defektstelle, wohingegen die Armlänge den Abstand zwischen Knochen- und Hautdefekt in der Empfängerstelle limitiert. Entspringt der Ramus saphenus aus der Arteria descendens genus, entsteht durch seinen weit proximal gelegenen Abgang ein sehr kurzer Chimära-Pedikel, jedoch ein langer Chimära-Arm. Dieser Lappen eignet sich für Fälle, in denen der Abstand zwischen Knochen- und Hautdefekt sehr groß ist. Wird statt des Ramus saphenus ein distaler

Perforator zur Versorgung des Hautanteils herangezogen, entsteht ein umgekehrtes Bild.

Verglichen mit anderen gemischten Lappen, scheint der mediale Femurkondyl-Chimära-Lappen einfacher in der Hebung, Formung und Verpflanzung in das Empfängerbett zu sein. Die zahlreichen anatomischen Variationen sind jedoch zu beachten.(49)

Die Idee des neurokutanen Lappens wurde erstmals 1993 von Masquelet(33) beschrieben. Sie basiert auf der Tatsache, dass größere oberflächliche sensible Hautnerven auch von relevanten Arterien begleitet werden und somit für die Versorgung eines Hautareals herangezogen werden können. Der Suralislappen und der Saphenuslappen gehören zu den beliebtesten dieser Familie.

Obwohl der Saphenuslappen im Bereich der Weichteilrekonstruktion bereits häufig als freier Lappen verwendet wurde, gibt es über die Perforatoren des Ramus saphenus aus der Arteria descendens genus nur eine anatomische Studie.(51)

Aufgrund seines langen vaskulären Pedikels mit ausreichend großem arteriellen Gefäßlumen, dünner und minimal behaarter Haut, einer meist unkomplizierten Präparation sowie der Möglichkeit einer individuellen Innervation des Gewebes erfreut sich dieser Lappen großer Beliebtheit. Der Gefäßstiel des Saphenuslappens beinhaltet den Ramus saphenus, die zugehörigen Venen als auch den sensiblen Nervus saphenus. Wobei erwähnt bleiben muss, dass der Ramus saphenus auch weiter proximal direkt aus der Arteria femoralis superficialis entspringen kann.

Andere freie Hautlappen aus der medialen Knieregion basierend auf weiter distal gelegenen Ästen und Perforatoren der Arteria descendens genus wurden ebenfalls beschrieben.(27)

Der Saphenuslappen und somit auch der osteokutane Femurkondyllappen können als innervierte Lappen gehoben werden, falls dies notwendig ist. In diesem Fall kann entweder der Nervus cutaneus femoris medialis aus dem Nervus obturatorius (L2-L4) oder der Nervus saphenus an sich zur Innervation des Hautareals herangezogen werden. Nach Karamürsel und Celebioglu(77) muss für den Erhalt der sensiblen Funktion eines Hautlappens aus dem kranialen Bereich des Knies der Nervus saphenus intakt bleiben. Wird eine Hautinsel aus dem unteren Bereich des

medialen Knies gehoben, ist eine Innervation dessen durch den Erhalt des Nervus cutaneus femoris medialis zu erreichen.

Zusätzlich kann der Nervus saphenus relativ gut isoliert werden, da er parallel zu der namensgleichen Arterie verläuft.(51)

Auch Cavadas(36) beschreibt die Möglichkeit, den medialen Femurkondylappen als Compound-Lappen zu heben. Zusammen mit Segmenten des Musculus vastus medialis oder sartorius sowie dem Gewebe des subkutanen Saphenuslappen, der ebenfalls auf der Arteria genicularis descendens basiert, kann Knochen aus dem medialen Femurkondyl entnommen und so ein muskuloosteokutaner Lappen geformt werden.

### Gestielt

Sakai et al(25) beschrieb 1991 erstmals die Entnahme von freiem vaskularisierten Knochen aus der suprakondylären Region des Femurs. Die suprakondyläre und epikondyläre Region der medialen Seite des distalen Oberschenkelknochens wird durch die Arteria descendens genus und die Arteria superior medialis genus versorgt. Diese Methode wurde bislang eingesetzt, um Patientinnen und Patienten mit Pseudarthrosen ohne massiven Knochensubstanzverlust, deren Pathologie sich der Therapie durch konventionelle Zugänge entzogen hat, zu kurieren. Personen mit Pseudarthrosen des Femurs selbst können unter bestimmten Umständen auch von einem gestielten vaskularisierten Knochenlappen profitieren. Um die Einsatzmöglichkeiten und Limitationen des medialen Femurkondylappens als gestieltes Präparat für Fragestellungen am Femur selbst zu evaluieren, führten Yoshida et al(58) im Jahr 2009 eine anatomische Studie durch. Der anwendbare Umfang eines gestielten Knochentransplantates aus diesem Bereich und damit der klinische Benefit ist abhängig von der Länge der Arteria descendens genus. Die Länge der Arteria descendens genus von ihrem Ursprung aus der Femoralarterie bis zu ihren periostalen Aufzweigungen beträgt im Schnitt 9,21cm in 259 Präparaten, was einen Bewegungsumfang von 13-20cm des gestielten Präparates nach proximal erlaubt.

Intramedulläre Nägel oder Platten werden für Femurschaftfrakturen häufig eingesetzt. Bei fester interner Fixation kann eine Knochenheilung verhältnismäßig

früh erreicht werden. In manchen Fällen kommt es jedoch zu einem Ausbleiben der Frakturspaltschließung und zur Ausbildung von Pseudarthrosen. Vaskularisierte Knochenlappen wurden in der Vergangenheit zur Behandlung von ausladenden skelettalen Defekten herangezogen.(78) Für ausbleibende Knochenheilungen ohne massiven Substanzverlust, ist die Anwendung und Anbringung vaskularisierter Knochentransplantate aufgrund ihres großen Erscheinungsbildes schwierig. Dünne, durchblutete, kortikoperiostale Lappen hingegen sind elastisch und können leicht in jede gewünschte Form und Konfiguration im Empfängerbett gebracht werden und sind daher geeignet für Pseudarthrosen ohne signifikanten Defekt.

Wenige Veröffentlichungen haben bisher den Gebrauch dieses Lappens für Pathologien am Oberschenkelknochen selbst behandelt. Da das Femur nur wenige Gefäße anbietet, die sich als Empfängergefäße eignen, sind mehr technische Herausforderungen zu bewältigen als bei anderen Empfängerstellen. In proximalen Bereichen des Oberschenkels kann die Arteria femoralis profunda und die Arteria circumflexa femoris lateralis zur Anastomosierung herangezogen werden. Im mittleren Drittel jedoch steht nur die Arteria femoralis zur Verfügung. Gestielte vaskularisierte Femurkondyllappen sind, vorausgesetzt der Pedikel ist lange genug, um den Defekt zu erreichen, in diesem Bereich also einer freien Lappentransplantation vorzuziehen. Yoshida et al(58) beschäftigt sich mit der Anwendung dieser Möglichkeit und zeigt, dass suffiziente gestielte Lappen aus der Arteria descendens genus innerhalb der distalen Hälfte des Femurs eingesetzt werden können. Befindet sich die Defektstelle zwischen den proximalen 30% und 52% des Femurschaftes, sollte eine Angiographie der Oberschenkelgefäße erfolgen, um den Umfang des Gefäßstiels präoperativ beurteilen zu können. Ist die Pseudarthrose innerhalb der proximalen 30% des Oberschenkels lokalisiert, kann der Pedikel die Pathologie nicht mehr erreichen und es muss eine freie Lappenplastik durchgeführt werden.

Dieser kortikoperiostale Lappen weist einige Vorteile auf. Das Periost ist großflächig und konstant durch die Arteria descendens genus und die Arteria superior medialis genus versorgt, die bei der Durchblutung des Knochens nur wenige Variationen aufweisen.

Der Lappen kann meist ohne große Schwierigkeiten gehoben werden. Der entnommene Knochen ist elastisch und gut verformbar, da der kortikale Knochen

des medialen Femurkondyls äußerst dünn ist. Zusätzlich kann auch eine erhebliche Menge an spongiösem Knochen aus dieser Struktur entnommen werden, ohne signifikante hinterbleibende Behinderungen zu riskieren.(58) Die Operation kann ohne Positionswechsel, zusätzlichen Schnitt, Resterilisation und Mikrosanastomosen durchgeführt werden, wenn die gestielte Variante erwogen wird.(58)

## Einsätze des Medialen Femurkondyallappens

Der Großteil aller Frakturen heilt ereignislos ab und führt ohne weitere Folgen zur Wiederherstellung, skelettaler Integrität und funktioneller Fähigkeit des Knochens. In Fällen von suboptimalen biologischen Umständen wie großflächigen Infektionen oder nach Bestrahlungen und Knochenmassenverlust können die primäre und sekundäre Knochenheilung kompromittiert sein und die Instabilität der Fraktur persistieren.

Heilen Frakturen nicht mehr zusammen, kommt es zur Ausbildung sogenannter Pseudarthrosen.(38)

Etwa 5-10% aller Frakturen zeigen Zeichen von verminderter Heilung und können sich dementsprechend zu Pseudarthrosen entwickeln.(79)

In den meisten Fällen ist die Ursache unbekannt und lässt sich vermutlich auf inadäquate Ruhigstellung, den körperlichen Status des Patienten oder die Natur des traumatischen Geschehens zurückführen.(12)

Aufsässige Pseudarthrosen sind dadurch definiert, dass bereits mindestens drei vorherige Behandlungszugänge nichts am klinischen Ergebnis ändern konnten.(80)

Es wird angenommen, dass die Heilung von durchschnittlich 3-4% aller Knochenbrüche durch die Entstehung einer Pseudarthrose erschwert wird. Um eine adäquate Heilung zu erreichen, benötigt ein Knochen Stabilität, genügend Knochensubstanz und suffiziente Durchblutung.

Fehlerhafte chirurgische Eingriffe, unzulängliche Fixierung oder unangemessen verfrühte Bewegung sind Faktoren, die die Knochenstabilität und den Frakturschluss negativ beeinflussen und zur Entstehung von hypertrophen, vitalen Scheingelenken führen können.(76)

Atrophe, avitale Pseudogelenke andererseits sind charakterisiert durch die Abwesenheit von Kallus und Kortikalis, avaskulären Frakturende und schlechtem Heilungspotenzial. Üblicherweise sind sie das Ergebnis einer schlecht durchbluteten Wundumgebung, wie sie nach hoch-Energie-Traumata oder wiederholten chirurgischen Eingriffen in der entsprechenden Region auftreten können. Einige Knochen, dazu gehören Ulna, Tibia, Os scaphoideum und Humerus, zeigen aus bisher nicht vollständig verstandenen Gründen eine erhöhte Rate an

Pseudarthrosen. Eine ausgedehnte Abtragung des pseudarthrotischen Gewebes mit folgender interner Fixation, kombiniert mit avaskulärer Knochengewebsrransplantation stellt die Standardtherapie des Scheingelenks dar. In bis zu 90% der Fälle mit hypertropher, vitaler Pseudarthrose kann somit eine effektive Heilung erzielt werden. Für die atrophe, avitale Pseudarthrose ist die Heilungsrate wesentlich geringer.(76,81)

Knochensubstanzverlust kann sekundär nach Traumata oder im Zusammenhang mit spezifischen Krankheiten wie der idiopathischen avaskulären Nekrose oder septischer Pseudarthrose stehen. Vor der chirurgischen Sanierung muss das Befinden der lokalen Gewebe und die Funktion der gesamten Region beurteilt und eingeschätzt werden. Ausschlaggebende Variablen beinhalten ebenfalls die Erwartungen und Motivation der Patientinnen und Patienten, vorherige chirurgische Eingriffe an der Defektstelle und die erwartete Zeitspanne für die Operation und Rehabilitation. Zusätzliche Faktoren wie die Größe und Lokalisation des Defekts, die Präsenz von Infektionen oder komplexe regionale Schmerzzustände sowie die Restfunktion von Sehnen, Nerven und angrenzenden Gelenken müssen ebenfalls berücksichtigt werden.(13)

Die Rekonstruktion kleiner Knochendefekte der langen Röhrenknochen stellt eine wesentliche Herausforderung dar. Unphysiologische, posttraumatische Gelenksbildungen können mit gestielten oder freien vaskularisierten Knochenlappen therapiert werden.

Ist der Defekt größer als 6cm, wird in der Literatur der Gebrauch von vaskularisierten Knochenlappen empfohlen. Bei solch ausgedehnten Knochendefekten ist der freie Fibulalappen die populärste und sicherste Variante.(82) Abhängig vom Defekt kommen auch Knochenlappen aus dem Darmbeinkamm oder der Scapula in Frage.

Bei kleineren Schäden der Knochenheilung oder geometrisch komplexeren Oberflächen können vaskularisierte Knochenfragmente aus der suprakondylären Region des medialen Femurs entnommen werden. Dieser Knochenlappen kann für Rekonstruktionen und für die Behandlung von Pseudarthrosen an diversen Regionen des Bewegungsapparates herangezogen werden. Doi(38) beschreibt eine erfolgreiche Verpflanzung des MFL in das Scaphoid, das Lunatum, den

Humerus, den Radius, die Ulna, das Femur, den Talus, die Cavicula, die Tibia, die Mittelhandknochen und die Fingerknochen.

In der Behandlung von widerspenstigen Pseudarthrosen ist der Knochendefekt üblicherweise nicht größer als 2cm. Die gesicherte Durchblutung solch kleiner Knochenlappen ist nicht leicht zu garantieren. Zusätzlich treten die meisten Fälle im distalen Bereich der Knochen auf, wo ein Volumsverlust noch schlechter toleriert wird.(83)

Aufgrund der Tatsache, dass der vaskularisierte kortikoperiostale Lappen aus dem medialen Femurkondyl sehr dünn ist und laut der bisherigen Literatur(5,14,15,17,37,50,71,75,84) keine Auswirkungen auf die Entnahmestelle hat, ist er für diese Fälle ideal geeignet. Das Periost kann um kleine Defekte von Röhrenknochen herumgeschlungen werden und wird dadurch zum idealen Lappen für die Behandlung von Pseudarthrosen. Die Präparation seines Hauptastes der Arteria descendens genus ermöglicht es verschiedene Gewebe entnehmen. Der Lappen kann somit zusammen mit Haut und Muskel gehoben werden.

Das grundsätzliche Problem in der Beschäftigung mit aufsässigen Pseudarthrosen in langen Röhrenknochen ist der schmale Spalt zwischen den Knochenfragmenten, der sich meist auf 1-2cm beschränkt. Werden konventionelle vaskularisierte Knochentransplantate wie die Fibula oder Scapula eingesetzt, ist es schwierig eine adäquate Durchblutung solch kleiner ossärer Keile zu gewährleisten.(48,50)

Bereits frühe Bestrebungen vaskularisierte periostale Knochenlappen aus dem medialen Femurkondyl zu entnehmen, behaupteten sich als relativ erfolgreich.(26)

Die Arteria descendens genus wurde vermehrt als ein vielseitig einsetzbares Gefäß in der rekonstruktiven Mikrochirurgie herangezogen. Vorwiegend wurde sie als vaskulärer Stiel für den kortikoperiostalen oder kortikospongiösen medialen Femurkondyllappen verwendet, um in komplizierten Fällen von pseudarthrotisch verändertem Knochen eine suffiziente Behandlung zu erreichen.

Das Gefäßmuster dieses Systems beinhaltet auch die periostalen Blutgefäße, die für den knorpeltragenden Anteil der Femurtrochlea zuständig sind. Die Möglichkeit auch diesen Bereich für Lappen mit konvexer, knorpelüberzogener Oberfläche zur Rekonstruktion von Handwurzelknochen, insbesondere dem Kahnbein zu verwenden, wurde in der Fachliteratur mehrmals beschrieben.(85)

Das dünne kortikoperiostale Transplantat aus den medial-kondylären und suprakondylären Regionen des Femurs kann erfolgreich zur Behandlung von Pseudarthrosen und avaskulärer Nekrosen angewendet werden. Basierend auf dem Ramus articularis der Arteria descendens genus und ihren Begleitvenen beinhaltet dieser Lappen das Periost mit einer dünnen Schicht der darunter liegenden Kortikalis.(38)

Verschiedene Autoren haben exzellente klinische Resultate in der Therapie von persistierenden Pseudarthrosen im Bereich der oberen Extremität(14,67,68) sowie der unteren Extremität(36) mit dem medialen Femurkondyllappen publiziert. Einige Anwendungen für Kopf- und Halsdefekte wurden ebenfalls veröffentlicht.(76,86,87)

### Skaphoid

Das knöcherne Skelett des Carpus ermöglicht mit seiner komplexen Anatomie erst die präzisen Bewegungen der Hand. Durch die einzigartige Form, Größe und Anordnung der einzelnen Handwurzelknochen entstehen Limitationen in ihrer Gefäßversorgung und die Prädisposition für nekrotische Läsionen einzelner Knochen. Es existieren mehrere Entnahmestellen für vaskularisierte Knochentransplantate zur Therapie der Handwurzel.(13)

Der freie mediale Femurkondyllappen wurde bereits in zahlreichen anatomischen Lokalisationen verwendet, um komplizierte Knochenverluste oder Pseudarthrosen zu behandeln. Aufgrund seiner guten Verformbarkeit kam ihm jedoch besonders in der Therapie des Kahnbeinersatzes große Bedeutung zu. Hier stellt er eine bisweilen überlegene Alternative zu den gestielten Knochenlappen des distalen Radius dar.(37)

Das Kahnbein ist mit 60% der am häufigsten frakturierte Handwurzelknochen. Obwohl die meisten Scaphoidfrakturen unter Schienung spontan heilen, liegt die Wahrscheinlichkeit einer Pseudarthrose bei 10-15 %.(88)

Die Ursache dieser Komplikation ist direkt mit der Unterbrechung der Blutzufuhr des Knochens vergesellschaftet. Der Hauptrisikofaktor für eine Pseudogelenksbildung ist mit 55% die Verschiebung der Bruchstücke. Andere nennenswerte

Risikofaktoren sind etwa eine proximale Frakturlokalisierung, inadäquate Immobilisation oder das Auftreten einer avaskulären Nekrose.(89)

Typisch für die Kahnbeinfraktur sind Schmerzen bei Druck auf die Tabatiere anatomique.(90)

Als Folge der Pseudarthrose können progressive degenerative Veränderungen mit der Bildung von Zysten, vermehrter Knochenresorption sowie eine schmerzhafte Handgelenksarthrose entstehen, die zu einer Gefügestörung der Handwurzelknochen führen. Es entsteht ein Handwurzelkollaps oder scaphoid nonunion advanced collaps (SNAC). Die resultierende Handgelenksarchitektur wird als dorsal eingefügte Segment Instabilität (DISI) bezeichnet. Diese Erkrankung hat ernstzunehmende Einschränkungen der Beweglichkeit und Stabilität des Handgelenks zur Folge und wird auch im Zusammenhang mit der Humpback Deformation beschrieben.(91)

Eine typische Fehlstellung nach Kahnbeinfrakturen ist die humpback oder Buckel Deformität. Durch das Abknicken des peripheren Bruchstückes nach volar kommt es zur Buckelbildung am Dorsum manu.(90)

Pseudarthrosen und avaskuläre Nekrose sind weitverbreitete Komplikationen von Frakturen des Skaphoids. Auch mit dem Einsatz neuerer Techniken wie der internen Fixation und Knochentransplantationen beschränken sich die erfolgreichen Knochenheilungsraten auf unter 90%. Die konventionelle Russe Knochentransplantationstechnik ist auch heute noch die meistangewendete Behandlung der gesicherten Pseudarthrose ohne Osteoarthritis. Die Heilungsraten werden in der Literatur mit 75-90% beschrieben.(14,92)

Skaphoid Pseudarthrosen werden auch mit der Herbert-Schraube und einer anterioren interpositionalen Knochentransplantation behandelt. Diese Strategie resultiert in einer 81%igen Erfolgsrate.(93)

Schlechte Ergebnisse sind mit unsachgemäßer Verschraubung, Kompressionsfehlern oder persistierender avaskulärer Nekrose vergesellschaftet.(14)

Die avaskuläre Nekrose des proximalen Skaphoid Pols im Rahmen einer Fraktur dieses Knochens stellt den behandelnden Handchirurgen vor eine schwierige Aufgabe. Konventionelle, nicht-vaskularisierte Knochentransplantationen, die den

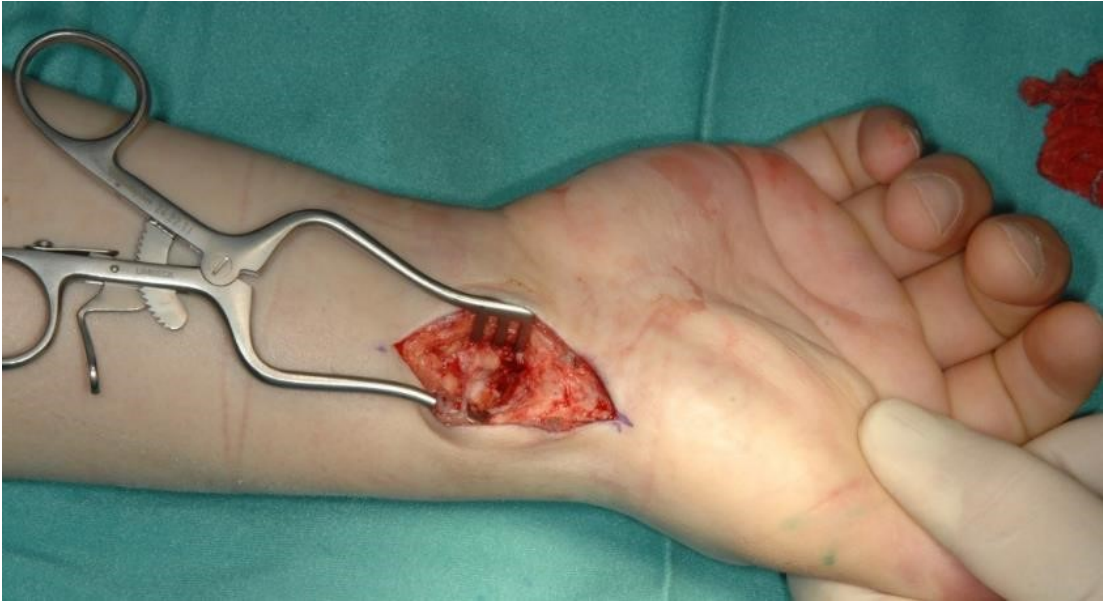
Goldstandard in der Therapie von Pseudarthrosen darstellen, sind weniger effektiv, wenn die Fraktur ein Fragment mit avaskulärer Nekrose beinhaltet.(93)

In Fällen von avaskulärer Nekrosen des Kahnbeins hat eine Metaanalyse der bisherigen Literatur ergeben, dass die Behandlung mit konventionellen nicht-vaskularisierten Knochentransplantaten eine Heilungsrate von 47% erreicht. Vaskularisierte Knochenlappen haben in der selben Analyse eine Heilungsrate von immerhin 88%(9).

Das Zusammenheilen der Pseudarthrose und Revaskularisierung sowie Osteogenese im avaskulären Pol kann durch den Gebrauch von vaskularisierten Knochentransplantaten erreicht werden. Durchblutete Knochenlappen weisen substantielle Vorteile gegenüber gewöhnlichen Transplantaten auf, da die Zirkulation und die Funktionsfähigkeit der Osteoblasten in ihnen erhalten bleibt. Revaskularisation und Knochengeweberemodellierung in der Umgebung wird durch das Vorhandensein dieser Transplantate eingeleitet und beschleunigt.

Obwohl dorsal und palmar gestielte Knochenlappen einige Erfolge feierten, wurden sie Opfer ihrer eigenen Limitationen. Bereits kurz nach ihrer Einführung wurde in Fällen von SNAC oder Humpback Deformitäten offensichtlich, dass die gebräuchlichen dorsalen distalen Radiuslappen nur eine 50%ige Erfolgsrate hatten.(94)

Die Schwierigkeit liegt hierbei in der vorgegebenen kurzen Strecke des Gefäßstiels und der damit verbundenen eingeschränkten Manövrierbarkeit des Transplantats, um die Deformität zu korrigieren und den Spenderknochen in die Scaphoidhöhle einzulegen. Zusätzlich kann ein für die Verletzung oft ursächliches Trauma der Weichgewebe oder des distalen Radius den Einsatz dieses lokalen Lappens verhindern.(14) Der Einsatz ihrer freien Pendants konnte diese Limitationen bewältigen. Freie vaskularisierte Knochenlappen verfügen über die Möglichkeit, ein Knochensegment mit seinem versorgenden Gefäß von der Spenderseite abzulösen und es mit der Empfängerseite sowie einem lokalen Gefäß im Defektgebiet individuell zu anastomosieren und zu verbinden.



*Abbildung 15: Wundbett am Handgelenk vor der Implantation eines medialen Femurkondyllappens zur Rekonstruktion des Kahnbeins*

Dieser Knochenlappen kann auch universell eingesetzt werden und findet ebenfalls in der Behandlung von Pseudarthrosen der Mandibula, Clavicula, des Humerus, der Tibia und im Bereich der Mittelhandknochen Anwendung.(2)

Bürger(37) beschreibt in seiner Arbeit zur Kahnbeinrekonstruktion 16 Fälle, die mit osteocartilaginen medialen Femurkondyllappen aufgrund von Avaskularität im proximalen Skaphoidpol behandelt wurden. 15 dieser Fälle konnten in der postoperativen Computertomografie eine vollständige Heilung nachweisen. Bei einem Patienten konnte keine vollständige Heilung nachgewiesen werden. Bei diesem Patienten handelte es sich um einen Raucher. Auch in unserer Studie wurde der Zusammenhang von chronischem Nikotinabusus mit möglichen Entnahmemorbiditäten untersucht.

Nach Bürger(37) bietet die Verfügbarkeit der vaskularisierten osteocartilaginen Knochenlappen dem Chirurgen mehr Spielraum in der individuellen Rekonstruktion des Kahnbeins. Es kann radikaler in der Resektion des nekrotischen proximalen Knochenanteils vorgegangen werden und auch distal der Fraktur noch Spongiosa entfernt werden, um ein optimales Anheilen des Lappens an eine vitale Knochenfläche zu gewährleisten. Sowohl die Stabilität als auch die Lebensfähigkeit des Knochens können verbessert werden. Die Ähnlichkeit in Größe und Kontur der

medialen Femurtrochlea und die Krümmung des Os scaphoideum ermöglicht eine beinahe anatomische Rekonstruktion des Handwurzelknochens, auch wenn größere Teile reseziert werden.(59)

Jones´(15) Studie demonstriert zwar, dass vaskularisierte Knochentransplantate eine signifikante Bereicherung für die Behandlung von Knochendefekten darstellt, die Heilung jedoch stark von anderen Faktoren wie inadäquater interner Fixation und Rauchen negativ beeinflusst werden kann.

Jones(15) konnte 2010 12 Personen mit Humpback Deformität nach Kahnbeinfrakturen erfolgreich mit dieser Methode behandeln. Von palmar wurde ein Knochenkeil zur strukturellen Unterstützung, Korrektur der Kahnbeingeometrie und karpalen Ausrichtung eingesetzt.

Der mediale Femurkondylappen bietet mehrere Vorteile im Rahmen der kombinierten avaskulären Nekrose und der Skaphoid Verkürzung. Da es von allen Verbindungen zum Knochen getrennt wird, kann das Transplantat so lange umgeformt und manipuliert werden, bis es mit wenig Risiko zur Drehung und Beschädigung des Gefäßstiels in den Defekt eingepasst werden kann und die normale Länge des Skaphoids oder Humpback Deformität wiederherstellt. Die Qualität des spongiösen Knochens ist exzellent, ähnlich wenn nicht höher als die des Skaphoids und deutlich robuster als Transplantate aus dem distalen Radius. Die Gefäßversorgung des medialen Femurkondyls ist solide. Die versorgenden Arterien und Begleitvenen haben konstante Durchmesser von 1 bis 2mm und ermöglichen so mikrovaskuläre Anastomosen.(15)

## Lunatum

Der mediale Femurkondyl ist ein chirurgisch vielseitig einsetzbares Werkzeug zur Defektdeckung im Bereich von unvollständigen Knochenheilungen oder Traumata. Die periostalen Gefäßäste der Arteria descendens genus bieten einige Möglichkeiten für die rekonstruktive Chirurgie.

Konventionelle Behandlungsstrategien für Mb. Kienböck mit Lunatumkollaps beinhalten den gestielten vaskularisierten distalen Radius Knochenlappen und die komplette Entfernung der proximalen Handwurzelreihe. Diese Prozeduren reduzieren die Schmerzen in den meisten Fällen und demonstrieren bescheidene

Verbesserungen in der Range of motion des Handgelenks. Keine von den konventionellen Eingriffen bietet jedoch die Möglichkeit einer Verbesserung der karpalen Höhe oder eine Reduktion der Lichtman Stadien.(95,96)

Im Rahmen eines fortgeschrittenen Kienböck Syndroms oder Lunatummalazie stoßen konventionelle Zugänge bald an ihre Grenzen. Gelenksplanierungen wie die Radiuskürzungsosteotomie sind für weniger fortgeschrittene Erkrankungen geeignet, in denen die Architektur des Os lunatum noch besteht.

Lunatumerhaltende Methoden wie der gestielte vaskularisierte kortikoperiostale Knochenlappen des distalen Radius stellen eine Rekonstruktionsmöglichkeit dar. Diese Eingriffsart verlangt jedoch Restvitalität des oft avaskulären Mondbeins und benötigt aufwendige Ruhigstellungskonzepte, um das Konstrukt zu schützen. Die Verfügbarkeit des osteochondral vaskularisierten medialen Femurkondyls bietet eine Lösung zur Aufrechterhaltung der Durchblutung des Mondbeins und ersetzt zugleich den Last tragenden Knorpel der Articulatio radiocarpalis. Gleichzeitig wird der meist weniger beschädigte ursprüngliche intracarpale Gelenksknorpel des Lunatum in seiner Integrität bewahrt.

Die Oberfläche der knorpeltragenden Segmente des medialen Femurkondyls stellt eine annähernd physiologische Übereinstimmung mit der Facies articularis carpalis des Radius zur Verfügung. Zudem trägt der Lappen einen wesentlich dickeren Knorpelmantel als der ursprüngliche Handwurzelknochen.(59)

Dadurch wird es dem Chirurgen ermöglicht eine zufriedenstellende Kongruenz der Gelenksflächen herzustellen. Außerdem muss beachtet werden, dass die stärkere Knorpelschicht zu einem Step-off Phänomen im Handwurzelröntgen führt. Auch in seiner Studie über die Rekonstruktion des Mondbeins beschreibt Bürger(29) eine Fallzahl von 16 Teilnehmenden, die hier von einer Lunatummalazie betroffen waren.

Bürger empfiehlt eine achtwöchige postoperative Immobilisierung des Handgelenks sowie eine darauf folgende vierwöchige Teilimmobilisation mit einer abnehmbaren Orthese. Mit dem Beginn einer vier- bis sechzehnwochigen Physiotherapie sollte bis zur radiologischen Bestätigung der Einheilung gewartet werden. Eine Kontrolle mittels Computertomografie sollte 12 bis 16 Wochen nach der Operation durchgeführt werden. Die Entnahmestelle an der unteren Extremität verlangte in keinem der 16 Fälle eine Immobilisation oder Therapie. In den ersten 4 Wochen bis

3 Monaten nach dem Eingriff berichteten alle 16 TeilnehmerInnen über Beschwerden im Entnahmegebiet. Danach kam es jedoch wieder zu einer vollständigen Auflösung der Schmerzen, und präoperative Aktivitäten inklusive Sport konnten wieder ausgeübt werden.

Vor allem bei Kienböck-Syndrom im Lichtman Stadium 3 konnte Bürger große Erfolge erzielen. Die Technik konnte in diesen Fällen die verloren gegangene karpale Höhe wiederherstellen und in einigen Fällen das Stadium somit von 3 auf 2 reduzieren.

Diese Technik ist nicht die einzig beschriebene Möglichkeit, einen vaskularisierten osteochondralen Ersatz für das Mondben einzusetzen. Sowohl der Ersatz durch ein gestieltes Os pisiforme als auch eine Arthroplastie aus den zwei Gelenksflächen der *Articulatio metatarsophalangeae II* lassen sich in der Literatur finden.(97,98)

Eines der Hauptprobleme des medialen Femurkondylarlappens im Zusammenhang mit Lunatumrekonstruktionen ist der Zusammenhalt innerhalb der proximalen Handwurzelreihe durch die teilweise Entfernung der Ligamenta scapholunare und lunotriquetrale. Es wird versucht durch vorsichtige Erhaltung dieser Bänder vor allem im distalen Bereich unter Entfernung der proximalen Lunatumanteile die Stabilität der Handwurzel zu bewahren. Durch das Bestehenbleiben der Bänder wird auch die konvexe Architektur der proximalen Handwurzelreihe aufrechterhalten.

Auch wenn diese ersten Resultate vielversprechend sind, liefert diese neue Methode einige Limitationen und noch unbeantwortete Fragen. Langzeituntersuchungen radiologischer Natur sowie die individuellen Ergebnisse der Teilnehmenden, werden zu einem besseres Verständnis führen, inwieweit osteochondrale Lappen die Gelenkdynamik aufrechterhalten können und vor entzündlichen und arthrotischen Veränderungen zu schützen vermögen.(29)

## Daumen

Verheerende Handverletzungen erfordern individuelle rekonstruktive Strategien, um das funktionelle Outcome zu maximieren. Insbesondere bei schweren Verletzungen des Daumens können Behinderungen und Arbeitsunfähigkeit die Folge sein. Um beides, Funktion und Form des Daumens wiederherzustellen, bedarf es der Überlegung einiger rekonstruktiver Optionen. Lokale Gewebslappen,

Mittelhandknochenverlängerung, Pollizisation aus dem Zeigefinger oder freier Zehentransfer stellen Techniken zum Wiederaufbau des Daumens zur Verfügung.(99)

Osteomyelitis in einem Röhrenknochen der Hand ist eine ernste Angelegenheit und endet in 39% der Fälle mit der Amputation.(100) Wenn die vollständige Amputation nicht notwendig ist, führt das aggressive Debridement häufig zu großen strukturellen Knochendefekten. Für die Rekonstruktion von segmentalen Defekten des Metacarpus sind in den meisten Fällen konventionelle nicht-vaskularisierte Knochentransplantate ausreichend. Bei Erfolglosigkeit dieser Methoden, insbesondere bei Vorhandensein von Infektionen sollte an den Einsatz von durchblutetem Knochenmaterial gedacht werden.(72)

Fünf Hauptziele werden in der Rekonstruktion von Daumen verfolgt: Länge, Stabilität, Mobilität, Sensibilität und Erscheinung. Die Möglichkeit, alle dieser Anforderungen zu erfüllen, würde das klinische Outcome sichtbar optimieren.

Die erfolgreiche Durchführung eines Medialen Femurkondylallappens zum Wiederaufbau eines os metacarpale I auf einer Länge von 3,2cm wurde 2014 von Wong et al beschrieben.(101)

## Tibia

Über den Einsatz des Arteria descendens genus Knochenlappens, wurde hauptsächlich für den Gebrauch von Defekten der oberen Extremität berichtet und kommt hier zu Recht als Ersatz für die avaskulären Nekrosen des Kahnbeins sowie des Mondbeins zum Einsatz.(29,37)

Cavadas(36) hat sich als Ziel genommen, den freien vaskularisierten kortikoperiostalen Lappen der Arteria genicularis descendens auch in der Behandlung von Pseudarthrosen der unteren Extremität im Bereich der distalen Tibia als Therapieoption vorzustellen. Bei den 21 Patientinnen und Patienten mit bereits durchgeführten erfolglosen Operationen konnte eine 100%ige Erfolgsrate in Bezug auf die Heilung der Pseudarthrose beschrieben werden. Im Mittel dauerte die radiologisch validierte Knochenheilung 3,1 Monate. Dieser Erfolg kann jedoch unter anderem auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass septische Pseudarthrosen aus dieser Serie ausgeschlossen wurden und auch deshalb die

postoperative Infektionsrate 0% beträgt. Ein weiteres Erfolgsrezept Cavadas im Vergleich zu Operationen der oberen Extremität(29,37) ist die starre Fixierung des implantierten Knochenkeils in der distalen Tibia, deren Wichtigkeit im Zusammenhang mit der Heilungsrate zu pointieren ist. Auch die osteogenetische Kapazität des kortikoperiostalen Gewebes kann eine minderwertig ausgeführte Knochenfixierung nicht kompensieren. Dies unterstreichen Studien, in denen mit nicht-vaskularisierten Knochenverpflanzungen in Kombination mit starrer interner Fixation mittels Verplattung hohe Erfolgsraten erzielt werden konnten(102). Die Kombination aus starrer Osteosynthese und die osteogenetische Kapazität der freien vaskularisierten kortikoperiostalen Knochenlappen erlaubt auch in komplizierten Situationen eine Erfolgsrate von 100%(36).

Hartnäckige Pseudarthrosen der distalen Tibia werfen komplexe Probleme auf. Das übliche Vorgehen orthopädischer Chirurgen beinhaltet die Revision und interne Fixation mit einer 4,5mm 90° Platte und spongiöser Knochen Okkludierung mit akzeptablen Ergebnissen, jedoch einer Versagensrate von bis zu 13%(102)

Ohne signifikanten Knochenverlust wird ein Vorgehen mit vaskularisiertem Kortikoperiostum vorgeschlagen.

Der potentielle Gebrauch der Kortikoperiostums des medialen Femurs als Ursprung für distal gestielte Lappen für proximale Schäden der Tibia wurde von Hertel und Masquelet veröffentlicht.(31)

Die benötigte Zeit bis zur kompletten Einheilung der Knochenlappen in die untere Extremität ist mit durchschnittlich 3,1 Monaten bei Cavadas(36) länger als in Eingriffen an der oberen Extremität beschrieben. Die Erklärung dafür ist bisher unklar. Es wird vermutet, dass die Knochenheilung nicht alleine von der osteogenetischen Fähigkeit des Lappens abhängt, sondern auch die Vaskularisierung der beiden Bruchenden eine entscheidende Rolle spielen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der kombinierte Einsatz von interner Osteosynthese und dem Herumwickeln eines kortikoperiostalen freien Lappens einheitlich als erfolgreich für die Behandlung von Pseudarthrosen der distalen Tibia ohne großen Knochensubstanzverlust gilt.

Neben dem Einsatz an der Tibia kann der freie kortikoperiostale Lappen des medialen Femurkondyls auch bei posttraumatischen avaskulären Nekrosen des

Talus angewendet werden. Die Erfolgsrate dieser Behandlung ist in Studien jedoch durchwachsen.(34)

### Naviculare

Seit seiner klinischen Erstbeschreibung 1991(28) wurde der mediale Femurkondyllappen in verschiedenartigsten anatomischen Lokalisationen zur Behandlung herausfordernder Pseudarthrosen oder avaskulären Nekrosen herangezogen. Sein Erfolg wurde bereits durch den Einsatz in zahlreichen Empfängerstellen bestätigt.

In den letzten Jahren steht vor allem die Behandlung des Skaphoids im Zentrum der Aufmerksamkeit, das auch als Naviculare der Handwurzel bezeichnet wird und große Ähnlichkeit in der Zusammenstellung der Knochensubstanz mit dem Kahnbein der Fußwurzel hat.

Aufgrund dieser ähnlichen anatomischen Eigenschaften und dem Beweis, dass vaskularisierte Knochenlappen hohe Stabilitäten aufweisen, besteht großes Potenzial, diese Technik auch in der Rekonstruktion des os naviculare zu etablieren.

Das Os naviculare ist ein Knochen mit großen Gelenksflächen und wenig Oberflächengebiet zur Vaskularisierung. Die Durchblutung im Zentrum des Knochens, wo der meiste mechanische Stress aus der Artikulation mit dem Taluskopf ausgeübt wird, ist dürftig. Eine normale Inversion und Eversion des Fußes sind von der einwandfreien Funktion eben genau dieses Gelenks, der Articulation talonavicularis, abhängig. In 44% aller Mittelfußfrakturen ist das Os naviculare zumindest mitbetroffen.(103) Es wird in der rekonstruktiven Chirurgie bisher stiefmütterlich behandelt. Holm(3) beschreibt erstmals den Einsatz des MFL bei traumatischer avaskulärer Nekrose des os naviculare. Regelmäßige Verlaufskontrollen der Entnahmestelle zeigen nach 6 Monaten im Röntgen eine erfolgreiche Integration des autologen Knochentransplantates in den Metatarsus.(3)

### Großzehe

Der Einsatz eines vaskularisierten Knochenlappens aus dem Bereich des medialen Femurkondyls wurde auch für die Rekonstruktion der proximalen

Großzehenphalanx erfolgreich beschrieben. In diesem Fall konnte sogar das Großzehengrundgelenk mit einem Bewegungsumfang von 90° erhalten werden.(17)

## Clavicula

Strahleninduzierte Nekrosen oder Infektionen nach Traumata können in einer persistierenden Pseudarthrose der Clavicula resultieren. Fuchs et al beschreibt drei Fälle, in denen ein vaskularisierter kortikoperiostaler Lappen aus dem medialen Femurkondyl auf das frakturierte Schlüsselbein transferiert wurde. Eine Heilung, bestätigt durch Computertomografie, konnte in allen Fällen erreicht werden. Die Funktion der oberen Extremität verbesserte sich auf bemerkenswerte Weise. Dieser Lappen ist auch für die Behandlung einer Schlüsselbeinfraktur optimal geeignet.

Claviculafrakturen treten im Zusammenhang mit chronischen Bestrahlungen häufig auf. Die Heilungschancen unter diesen Umständen sind gering, und das klinische Outcome unzufriedenstellend. Chirurgische Rekonstruktionen dieser anatomischen Region stellen den Operateur, ob der Schwierigkeit einer adäquaten Fixation, vor große Herausforderungen. Der geringe Weichteilmantel über dem Schlüsselbein erlaubt nur wenige Möglichkeiten zum Gewebstransfer. Fälle bei denen bereits mehrere Fixierungsverfahren versagt haben und möglicherweise Infektionen beteiligt sind, kann eine entgültige Frakturheilung oft nur schwer erreicht werden. Fuchs et al(71) beschreibt die Möglichkeit eines vaskularisiertem kortikoperiostalem Femurkondyllappen als therapeutischen Zugang für dieses schwierige Problem.

Zur Auswahl der Entnahmeseite kann gesagt werden, dass der Gebrauch eines Stocks in der kontralateralen Hand für die Entlastung der Entnahmestelle bis zum Abklingen des Schmerzes empfohlen wird. Aus diesem Grund wird das Transplantat aus dem ipsilateralen Femurkondyl entnommen. Die Entlastungsphase des Knies dauert im Schnitt 2-3 Wochen.

Funktionelle Einschränkungen einschließlich avaskulärer Nekrosen der Clavicula können nach Strahlenbehandlung von Tumoren des Schultergürtels bestehen bleiben. Strahleninduzierte Nekrose des Schlüsselbeins hat eine besonders ungünstige Prognose. Teilexzisionen des Knochens sind in diesem Fall häufig befürwortete Therapieoptionen, können aber in persistierendem Schmerz,

Schwäche, Instabilitätsgefühl und Neuropathien des Plexus brachialis resultieren.(104)

Aufgrund der dünnen Weichteilschicht über dem Schlüsselbein und der Sichtbarkeit werden wuchtige Knochentransplantate aus ästhetischen Gründen möglichst vermieden.

In Fällen mit bereits gescheiterten primären Verplattungen oder Infektionen kann eine konventionelle Behandlung mit nicht-vaskularisiertem Knochen aus dem Darmbeinkamm unter Umständen keine restitutio ad integrum erreichen, besonders dann, wenn ein signifikanter Restdefekt in der Clavicula verbleibt.

Der Transfer von vaskularisierten kortikoperiostalen Lappen scheint sich ideal für die Behandlung von strahleninduzierten Frakturen und chronischen Pseudarthrosen der Clavicula ohne substanziellen Knochenverlust, aber mit geringer Selbstheilungschance zu eignen. Der Lappen ist dünn und kann entsprechend der Ansprüche der Empfängerstelle geformt und zugeschnitten werden, ohne dabei die Blutversorgung zu kompromittieren. Dieses Transplantat kann um das Schlüsselbein gewickelt werden und führt dabei nicht zu entstellenden, sichtbaren Verdickungen des Knochens.

Es ermöglicht die Heilung des Schlüsselbeins und umgeht gleichzeitig die Schwierigkeiten der Fixierung, Interpositionierung und des Einwachsens eines vaskularisierten spongiösen Knochentransplantates.

Der Truncus thoracoacromialis und die Arteria descendens genus sind in ihrem Verlauf äußerst konstant und von suffizienter Größe, betreffend zuverlässiger mikrovaskulärer Anastomosen.(71)

Huang(105) berichtet vom Einsatz eines DGA composite Lappens aus Haut und der Sehne des Musculus adductor magnus für die Rekonstruktion einer Achillessehne.

Auch in der trachealen Rekonstruktion konnte die Technik des medialen Femurkondyllappens erfolgreich angewendet werden.(86)

## Der MFL im Vergleich zu anderen Methoden

Die Entscheidung darüber, welcher vaskularisierte Knochenlappen zum Einsatz kommt, hängt von einer Reihe mehrerer Faktoren beider Seiten, sowohl der Entnahmestelle als auch des Empfängerbettes, ab. Diesbezügliche Überlegungen schließen die Größe und Form des Knochensubstanzdefekts, die anatomischen Eigenschaften des Transplantats, das Erfordernis einer mikrovaskulären Anastomose, die Verfügbarkeit und den Durchmesser der Empfängergefäße, die Größe und Länge der Entnahmegefäße, die Distanz zwischen Entnahme- und Empfängerbett, die biomechanischen Ansprüche auf das Transplantat, die Zeitdauer der Operation, die Notwendigkeit einer Weichgewebsdeckung und die Entnahmemorbiditäten mit ein.(72)

Traditionelle Entnahmestellen für Knochenlappen sind die Crista iliaca, Fibula, Rippen, den Radius oder die Skapula. In jüngerer Zeit wurde auch der mediale Femurkondylallappen für die Behandlung von Pseudarthrosen und Knochensubstanzverlusten im Bereich der oberen(13,101) und unteren Extremität(3,17,36,39) beschrieben.

Durch die Präparation des Gefäßstiels und dem Aufsuchen wichtiger anatomischer Landmarken verlängert sich die Operationsdauer bei freien vaskularisierten Lappen gegenüber ihren nicht-durchbluteten Verwandten deutlich. Die vorhersagbare gute Erfolgsrate und die Möglichkeit, auch andere Gewebe wie Muskel und Haut zum Wundverschluss im Empfängerbett heranzuziehen, können diese verlängerte Operationsdauer kompensieren. Ein weiterer Nachteil sind die hohen mikrochirurgischen Ansprüche, die an den Operateur im Vergleich zu konventionellen Techniken mit interner Fixation gestellt werden. Aber auch hier spricht die Erfolgsrate für sich und kann die erhöhte Schwierigkeit des mikrovaskulären Eingriffs kompensieren.(36)

## Rippe

Techniken, die auf die Crista iliaca oder eine Rippe(106) zurückgreifen, wurden ebenso beschrieben. Da es in der Literatur jedoch nur einen dokumentierten Fall gibt, der den Einsatz eines Rippenknochens samt Knorpel behandelt, sind trotz des vorläufig guten Resultats weitere Fallbeschreibungen notwendig, um diesen osteochondralen Lappen auf sein Potential oder eventuelle Hebmorbiditäten zu überprüfen.(2)

Andere biologische Optionen beinhalten den vaskularisierten Transfer eines Rippenknochens als einen Compound Flap - zusammengesetzten Lappen - bestehend aus einer Rippe und Anteilen des Musculus serratus anterior und oder dem Latissimus dorsi.(71,107)

## Tibia

Auch gestielte vaskuläre Transplantate wurden eingesetzt, um die Heilungsrate an Knochen zu erhöhen.(92)

Eine anatomische Studie betreffend eines gestielten kortikoperiostalen Lappens der Tibia, gespeist aus der Arteria tibialis anterior, beschreibt eine weitere Möglichkeit osteogenetisches Material zu gewinnen. Dieser Lappen benötigt aufgrund seiner topografischen Nähe zur distalen Tibia keine mikrovaskulären Anastomosen für die Behandlung von Pseudarthrosen im Bereich des Innenknöchels und stellt somit eine Alternative zum freien medialen Femurkondyllappen dar. Dieser Eingriff schränkt jedoch gleichzeitig die Durchblutung einer häufig schlecht perfundierten Region ein:(108) dem menschlichen Fuß. Auch die Entnahmemorbiditäten werden von Cavadas höher eingeschätzt als die des medialen Femurkondyllappens.(36)

## Radius

Es gibt zwei Arten vaskularisierter gestielter Knochenlappen, die aus dem distalen Radius entnommen werden können. Sie unterscheiden sich durch ihren operativen Zugang: volar und dorsal. Diese Techniken sind durch ihren kurzen Gefäßstiel, die Unzuverlässigkeit der Knochendurchblutung und die Schwierigkeit den entnommenen Knochen gefällig in die Kahnbeinhöhle einzubringen limitiert.

Gestielte Knochenlappen des Radius basierend auf der Arteria radialis oder Arteria interossea posterior bieten den Vorteil ohne mikrochirurgische Anastomose auszukommen, wenn sie am Handgelenk eingesetzt werden. Sie sind jedoch mit potenziellen Entnahmemorbiditäten einschließlich pathologischer Frakturen und der Arteria radialis als Opfertgabe behaftet.(72) Die Entnahmemorbiditäten werden im Hinblick auf Wundheilungsstörungen in einer Studie mit 22,5% beschrieben.(109)

## LFL

Auch der laterale Femurkondyl stellt genügend Periost und Knochenmaterial zur Verfügung, um für Rekonstruktionen herangezogen werden. Zusätzlich besteht an der Außenseite des distalen Oberschenkels die Möglichkeit Teile des Tractus iliotibialis in einen vaskularisierten compound Lappen zu inkludieren. Der laterale Femurkondyllappen (LFL) basiert auf der Arteria superior lateralis genu, die sich in einen Ramus superficialis patellaris, einen Ramus profundus articularis und einen zum Tractus iliotibialis ziehenden Ramus fasciocutaneus aufteilt. In einer 2016 veröffentlichten Studie mit 28 Kadavern wurde das komplexe Gefäßsystem über dem lateralen Femurkondyl erstmals untersucht und beschrieben und die erfolgreiche Rekonstruktion einer rupturierten Achillessehne mithilfe dieses Lappens an einem klinischen Beispiel durchgeführt. Parvizi et al(110) konnten zeigen, dass die Gefäßstrukturen dieser Region im Vergleich zur medialen Seite wesentlich geringere Variationen aufweisen. Mit einer durchschnittlichen Pedikellänge von 38mm ergibt sich jedoch ein etwas kürzerer Gefäßstiel als bei dem medialen Femurkondyllappen.

Sabalbal(44) beschreibt in seiner anatomischen Arbeit über das Kollateralnetz im Kniebereich eine Arterie im lateralen Anteil des Kniegelenks, die für die Ausbildung eines Umgehungskreislaufes zum Unterschenkel fähig wäre. Diese Arteria descendens genu lateralis entspringt aus der Arteria circumflexa femoris lateralis, Arteria femoralis superficialis oder profunda.

An der medialen Seite des distalen Oberschenkels wird auch hier die ADG als ein Ast aus der Arteria femoralis superficialis im Hunter'schen Kanal beschrieben, der jedoch in der medialen Gelenkkapsel des Knies und dem Periost endet und nicht gelenksüberschreitend in den Unterschenkel zieht. Für eine potenzielle Erhaltung

der Blutversorgung in die distale untere Extremität im Falle einer chronischen oder akuten Verlegung der Arteria poplitea ist nach dieser Studie also nur das laterale Gefäßnetz des Kniegelenks in der Lage. Die Entnahme eines medialen Femurkondyls eignet sich aus dieser Sicht dadurch besser als ein lateraler Zugang.

#### Crista iliaca & Fibula

Vaskularisierte Knochentransfers stellen eine gute Möglichkeit zu erfolgreichen Korrektur von wiederkehrenden Pseudarthrosen und gescheiterten Arthrodesen bereit. Die Arteria circumflexa ilium profunda (DCIA) bietet die Möglichkeit an, einen durchbluteten Knochenlappen aus dem Darmbeinkamm zu entnehmen. Diese Technik und die Hebung eines freien Fibulalappens sind beides bewährte Ansätze zur Rekonstruktion von verhältnismäßig großen Knochendefekten.(111)

Bei der Technik des DCIA Lappens ist eine Inzision im Unterbauch notwendig und bei der Entnahme eines kleinen Knochenfragmentes erfordert es eine langwierige und akribische Präparation, um die nutritiven Gefäße des Beckenkamms zu identifizieren.

In einer Serie von 60 Patientinnen und Patienten klagten 40% über Schmerzen im Bereich der Entnahmestelle bei DCIA. 31,7% hatten Schmerzen aufgrund der Knochendeformität und Behinderung des Nervus cutaneus femoris lateralis.(112)

Auch andere Methoden haben sich erfolgreich bewährt und können in Betracht gezogen werden. Konventionelle Keiltransplantate kombiniert mit arteriovenösen Gefäßbündeltransplantationen oder der freie vaskularisierte Darmbeinkammlappen stellen erfolgreich eingesetzte Pendants dar.(15)

Konventionelle kortikale Knochentransplantate aus der Crista iliaca sind im Einsatz, um segmentale Knochendefekte zu kurieren, speziell im Bereich der Handchirurgie.(17)

Das Zusammenspiel aus modernen Fixierungsmethoden und Knochentransplantationen aus der Crista iliaca kann annähernd 90% der Pseudarthrosen zufriedenstellend heilen. In einer Studie wurden Wundheilungsstörungen der Entnahmestelle in 27,3% der Fälle beobachtet.(113)

Der freie Fibulatransfer ist eine etablierte Prozedur in der Behandlung von großen skelettalen Defekten und Pseudarthrosen sowie auch nach Tumorresektionen in der oberen und unteren Extremität.(111)

Seit seiner Vorstellung durch Taylor(22) im Jahre 1975 wurde der freie Fibulalappen (FFF) eine der meist gebrauchten Techniken zur Rekonstruktion von Hart-und Weichteildefekten. Der Fibulalappen basiert auf der dem Knochen anliegenden Arteria peronea. In den meisten anatomischen Variationen der Unterschenkelgefäße wird der Fuß durch die Schienbeingefäße, der Arteria tibialis anterior und posterior versorgt. Somit ist eine Entnahme der Arteria fibularis mit wenig Ischämierisiko in den distalen Bereichen der unteren Extremität behaftet.(114)

Die Rekonstruktion von segmentübergreifenden Defekten langer Röhrenknochen der Extremitäten wurde in der Literatur exzessiv beschrieben. Hier gilt der freie vaskularisierte Fibulalappen als der beliebteste und zuverlässigste Zugang.(23)

2016 konnten bei Untersuchungen der Entnahmemorbiditäten dieses Lappens im 6-Minuten-Gehtest signifikant schlechtere Ergebnisse beobachtet werden als bei einer nicht operierten Kontrollgruppe. Eine Erklärung für diese funktionelle Einschränkung wird durch die Durchtrennung des an der Fibula entspringenden Musculus flexor hallucis longus vermutet.(115) In einer weiteren Studie wurden Wundheilungsstörungen im Entnahmegebiet nach erfolgter Fibulalappenplastik in 44,7% und nach durchgeführter Entnahme eines Knochenlappens aus der Skapula in 11,1% beobachtet.(116)

## MFL

Der durchblutete periostale Knochenlappen aus dem medialen Femurkondyl hat zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen vaskularisierten Knochentransplantaten. Er wird versorgt durch den periostalen Blutfluss aus der Arteria descendens genus und der dazugehörigen Vene. Solange die darüberliegenden periostalen Gefäße durchgängig sind, werden die darunterliegende Kortikalis und Spongiosa suffizient versorgt, auch wenn das Knochenfragment umgeformt wird, um von der Knochendefekthöhle optimal aufgenommen zu werden. Bei einem konventionellen Fibula- oder Darmbeinkamm-

Lappen kommt es häufig zur Devaskularisation, wenn der Knochenkeil zu einem derart kleinen Stück geformt werden muss.(117)

Der Vorteil gegenüber einem gestielten Lappen liegt in der Tatsache, dass ein freies Transplantat leichter in die gewünschte Form, Größe und Lokalisation gebracht werden kann, da er nicht von der vaskulären Verbundenheit seiner gestielten Pendants abhängig ist.

Dieser Lappen erlaubt bei der Rekonstruktion des Kahnbeins zusätzlich den volaren/palmaren Zugang, um eine Humpack Deformität besser korrigieren zu können.

Dieser freie vaskularisierte kleine Knochenlappen des medialen Femurkondyls, stellt eine attraktive Alternative zu den konventionell eingesetzten, durchbluteten Knochentransplantaten dar.(14) Dieser Lappen hat den Vorteil dünn, geschmeidig, biegsam, flexibel und formbar zu sein. Außerdem ist er in seiner optischen Erscheinung unter der Haut unauffällig und trägt an der Empfängerstelle nicht zu viel Masse auf.(83)

Die Durchblutung eines Knochens, entnommen aus dem medialen Femurkondyl ist nicht abhängig von der Identifikation einzelner nutritiver Knochengefäße, sondern vielmehr von der Verbindung und Vereinigung der periostalen Gefäße aus der Arteria descendens genus. Der Lappen bietet eine der Möglichkeiten zur Bewältigung der Herausforderung von kleinen Knochendefekten, die über die Fähigkeiten eines gestielten Lappens hinausgehen.(5)

## Zukunft

Perkutane Injektion von autogenem Knochenmark und osteoidunktiven Molekülen wie transforming-growth-factor-B und platlet-derived-growth-factor sind in der Therapie gegen Pseudarthrosen im Einsatz, können bis jetzt jedoch noch nicht auf eindeutige Ergebnisse verweisen.(118)

Die Abwesenheit von adäquater vaskulärer Umgebung im Frakturbereich ist der Hauptgrund für das Entstehen von atrophischen avaskulären Pseudarthrosen, die zu einer weitaus geringeren Heilungsrate beim Einsatz von klassischen Techniken fähig sind. Elektrische Stimulation, Ultraschallstimulation und Stoßwellentherapie

zeigen gute Resultate in Fällen mit hypertrophen Pseudarthrosen und haben auf atrophische Knochenheilungsstörungen oder bei großen Frakturspalten mit den bisherigen Methoden noch wenig positive Auswirkungen.(119)

## Operationsleitfaden

Präoperativ wird mit Hilfe eines Doppler Flowmeters der Ramus saphenus der Arteria descendens genu aufgesucht. Dieser Hautast ist meist dorsal der midlateralen Linie im distalen Drittel des medialen Oberschenkels aufzufinden.(14) Routinemäßig kann ein Dopplersignal über dem Apex des medialen Femurkondyls lokalisiert werden.(43) Die Patientinnen und Patienten werden in Rückenlage gebracht und steril mit nach außen rotiertem Bein und gebeugter Hüfte unter Tourniquet Ischämie für die Lappenhebung auf dem Operationstisch gelagert.(32)



Abbildung 16: Anzeichnung der Entnahmestelle

Die Präparation beginnt mit einem vertikalen, 15-20cm langen Schnitt am distalen Drittel des medialen Oberschenkels, proximal zum Kniegelenk.(48) Wenn kein Hautlappen geplant ist, vollzieht sich der Schnitt ausgehend von dem Punkt zwischen Patella und medialem Femurkondyl nach proximal Richtung Canalis vastoadductorius Hunter.(37) Der Einschnitt erfolgt in longitudinaler Ausführung ventral der markierten Hautperforatoren entlang des dorsalen Rands des Vastus medialis.(14) Die schwungvolle nach ventral konkave Inzision, beginnend über dem Hunter Kanal und anterior der Lokalisation des Dopplersignal endend, wird von proximal nach distal gezogen. Der Schnitt wird dann bis zur Faszie des Musculus vastus medialis vertieft.(43) Ausgehend vom Labium mediale der Linea aspera des Femurs zieht das Septum intermusculare femoris mediale zur Oberfläche. Es trennt

die Extensorenloge mit dem Musculus vastus medialis von der Adduktorenloge, die unter anderem den Musculus gracilis und adductor magnus enthält. Entlang des Muskelseptums ziehen Perforatoren aus den tiefen Gefäßen zur Haut.(48) Wird eine Hautinsel mitentnommen, kann das Subkutangewebe unter der Fascia lata mit der Haut nach dorsal retrahiert und unterminiert werden. Die Hautinsel erleichtert den Primärverschluss des Empfängerbettes und ermöglicht die postoperative Überwachung der Zirkulation und Vitalität des Lappens mittels Oberflächen-Doppler und Inspektion.(43)

Je nach Defektausdehnung und Form an der Empfängerseite kann die Größe dieses Hautlappens individuell erstellt werden.(14) Das Heben des Hautlappens ist der anspruchsvollste Teil der Präparation. Es existieren erhebliche Unterschiede in den anatomischen Variationen der Hautäste aus der Arteria descendens genus.(43)

Die den gesamten Oberschenkel umfassende Fascia lata wird nun durchtrennt.(48) Die subfasziale Präparation gewährleistet eine Schonung der Hautgefäße, die aus den distalen Anteilen der Arteria descendens genus nach epifaszial ziehen können. Durch die Bindegewebsplatte des Vastus medialis können die abzweigenden Gefäße aus der Arteria descendens genus identifiziert werden und die An- oder Abwesenheit eines Ramus saphenus wird rasch erkannt.(43) Als erste Struktur wird der Nervus saphenus zusammen mit dem Ramus saphenus aus der Arteria descendens genus einsehbar. Präpariert man entlang dieses Astes nach distal, durchbricht er zusammen mit seinem Begleitnerven die Membrana vastoadductoria und offenbart sich am Unterrand des Musculus sartorius, an dem er aus der Tiefe erscheint und Richtung Haut zieht. In 80% der Fälle tritt der Ramus saphenus proximal des Hiatus adductorius in Erscheinung, in 20% distal davon und durchtritt somit nicht die Membran. Bevor er am Unterrand des Schneidermuskels erscheint, gibt er noch 2-3 feine Muskeläste an ihn ab. Seine Aufzweigung in feine Hautäste gestattet die Hebung eines fasziokutanen Lappens vom medialen Betreffnis des distalen Oberschenkels. Durchschnittlich gibt der Saphenusast 1,8 Hautperforatoren ab. Dieses Areal wird von Anteilen des Nervus saphenus innerviert, die ebenfalls mit entnommen werden können.(48)

Muskeläste für den Vastus medialis ziehen nach ventral durch die Bindegewebsplatte und müssen ligiert werden. In Bezug auf eine mögliche Hautinsel muss zu diesem Zeitpunkt eine Entscheidung getroffen werden. In der

Mehrheit der von Iorio beschriebenen Fälle konnten Hautäste aus der Arteria descendens genus auch unabhängig von der Existenz eines Ramus saphenus gefunden werden. Diese Gefäße sind für den Einsatz kleiner Hautinseln aufgrund der kürzeren Präparationsdauer zu bevorzugen. Zusätzlich versichern diese Perforatoren eine Hebung des Hautlappens ventral des Sartorius und der Sehne des Adductor magnus. Somit können die Haut und Knochensegmente aus dem selben Präparationsraum zwischen dem Vastus medialis und dem Sartorius entnommen werden.(43) Ein bis zwei Perforatoren sollten für einen Hautlappen zu dessen Versorgung eingeplant werden.

Die Auswahl der einzelnen Perforatoren ist abhängig von deren Anwesenheit, Schwierigkeit der Hebung und der benötigten Fläche an Haut und Weichteilgewebe. Besteht für die Rekonstruktion Bedarf nach einem großen Hautareal, bietet sich die Kombination aus mehreren Saphenusperforatoren für die Lappendurchblutung an. Die übrigen irrelevanten Äste können ligiert werden. Wird ein osteokutaner Lappen gehoben, eignet sich der direkte Hautperforator aus der Arteria descendens genus, wenn es die Umstände im Empfängerbett zulassen.(32)

Nach der Feststellung, ob ein Ramus saphenus oder die Perforatoren der Arteria descendens genus vorhanden sind, sollten nach Iorio die Perforatoren aufgrund der kürzeren Operationsdauer und ihrer guten Visualisierbarkeit bevorzugt werden.

Das kleinere Hautareal, welches die Perforatoren aus der Arteria descendens genus zur Verfügung stellt, ist für die meisten Defekte zur Deckung ausreichend. Der Ramus saphenus hat dazu im Gegensatz ein weitaus größeres Angiosom und bietet daher auch mehr Spielraum für die Entnahme eines Hautlappens.

Wenn das benötigte Hautpräparat sehr groß ist oder die Dissektion ergibt, dass der Ramus saphenus ventral des Sartorius zieht und dort die Haut versorgt, können beide Pedikel en bloc entnommen werden. Ansonsten wird der Ramus saphenus abgeklemmt. Erneut wird das Dopplersignal über dem Apex des medialen Kondyls überprüft. Ein persistierendes Signal trotz Klemmung des Ramus saphenus bekräftigt die Entscheidung, die Arteria descendens genus für die Hautversorgung heranzuziehen.(43)

Für den direkten Hautperforator, der aus dem distalen Drittel der Arteria descendens genus entspringt, wird eine einfache Präparation ventral der Sehne des Musculus

adductor magnus vollzogen. Der muskulokutane Perforator durch den Vastus medialis, kann ebenso zur Versorgung eines zu transplantierenden Hautareals herangezogen werden. Hierzu ist eine intramuskuläre Präparation des Gefäßes von Nöten. Veröffentlicht wurde diese Methode jedoch erst ein Mal.(32)

Wird der muskulokutane oder der direkte Hautperforator ausgewählt, so kann der Hauptstamm des Nervus saphenus bestehen bleiben.

Für den muskulokutanen Vastus medialis Perforator muss die Faszie des Muskels eröffnet werden und das Gewebe nach durch den Muskel ziehenden Perforatoren abgesucht werden. Bei der Suche wird intramuskulär von distal nach proximal vorgegangen, bis der Ursprung des Perforators aus der Arteria descendens genu gefunden ist.(32)

Wird nun der Ramus saphenus als hautversorgendes Gefäß ausgewählt, erfordert dies eine sorgfältige distale Dissektion um zu ermitteln ob der versorgte Hautanteil ebenfalls ventral des Sartorius (45%) und somit im selben Entnahmbereich wie der Knochen liegt, oder der Hauptversorgungsbereich des Ramus saphenus dorsal des Sartorius (55%) zu liegen kommt.(24)

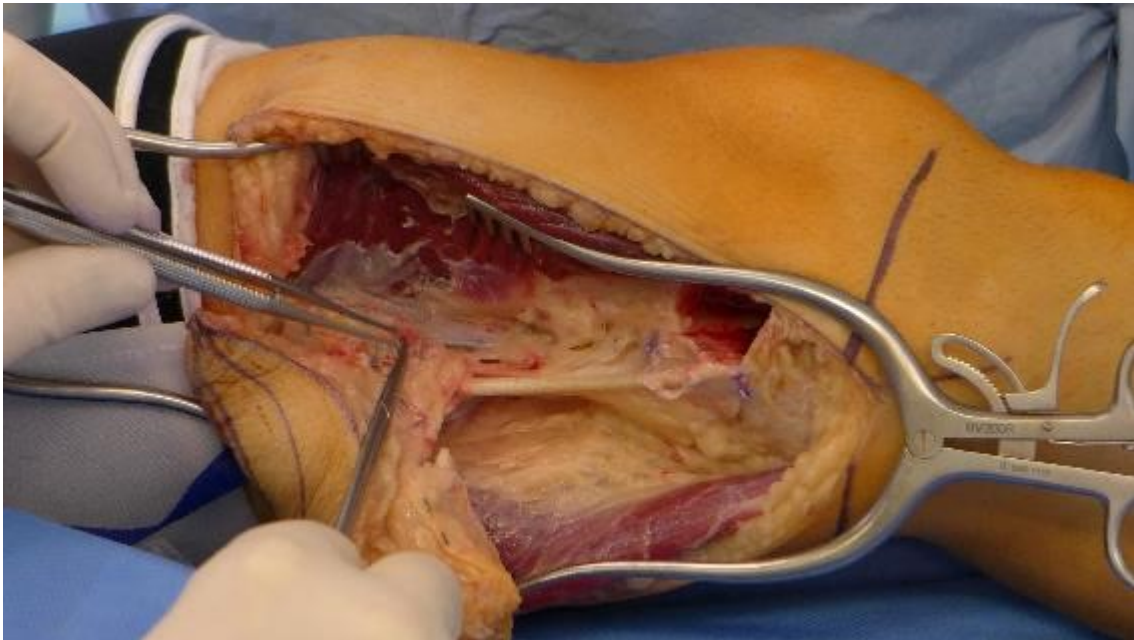
Zieht der Ramus saphenus dorsal des Sartorius vorbei, verlangt es nach einer distalen Elevation des Hautlappens und einem sorgfältigen Durchziehen unter dem Sartorius, um ihn mit dem Knochensegment zusammenzuführen.(43)

Die Anatomie der Ramus saphenus, sein Ursprung und Angiosom sind in der Literatur gut beschrieben.(24,47,120,121) Dieses Gefäß existiert als ein Ast der Arteria descendens genu in 83% und versorgt ein großes Hautareal, das sich über dem medialen Femurkondyl bis auf den medialen Unterschenkel ausbreitet.(24) Die Tatsache, dass in 45% die Hautperforatoren aus dem Ramus saphenus ventral des Musculus sartorius zur Oberfläche ziehen und in den restlichen 55% dorsal dieser Struktur laufen, gestaltet die Dissektion eines osteokutanen medialen Femurkondyllappens schwierig. Umso wichtiger ist eine exakte Kenntnis der vorkommenden Strukturen und ihrer Variabilität, auch um postoperative Entnahmemorbiditäten wie Hämatome oder Serome zu vermeiden.

lorio(43) verneint bei der Entnahme einer zusätzlichen Hautinsel zur Überwachung des Lappens das Auftreten von Seromen oder Komplikationen an der Entnahmestelle.

Für den Perforator aus dem Ramus saphenus, der aus dem proximalen Drittel der Absteigenden Kniearterie oder direkt aus der Arteria femoralis superficialis kommt und anliegend an den Nervus saphenus verläuft, muss die sorgfältige Präparation im proximalen Bereich begonnen werden um seinen Ursprung zu finden. Auch die anschließende distale Präparation des Saphenusperforators erfolgt weiter proximal als bei den beiden anderen Perforatoren und entlang des Musculus sartorius, der die Leitstruktur des Ramus saphenus darstellt, bis zur Haut.(49)

Um Sensibilität im Empfängergebiet zu ermöglichen, kann ein Ast des im Hautlappen verlaufenden Nervus cutaneus femoris medialis oder Nervus saphenus mit einem sensiblen Empfängernerv anastomosiert werden.(32)



*Abbildung 17: Identifizierung der Hautperforatoren*

Der initiale, kurvige Hautschnitt erlaubt einige Variationen von schrägen oder longitudinal orientierten Ellipsen bei der Auswahl der Formen für die Monitorinseln. Hierbei wird der erste Schnitt als ventraler Rand der geometrischen Muster genützt. Es ist auch darauf zu achten, den Defekt so zu gestalten, dass ein Primärverschluss möglich ist. Das Hautsegment wird üblicherweise zuerst gehoben, erst dann richtet sich die Aufmerksamkeit auf den Femurkondyl als Entnahmestelle. Durch die Einhaltung dieser Reihenfolge können die Arteria descendens genus und ihre periostalen Äste unbeschädigt an der Oberfläche des Knochens erhalten werden.

Sobald der Hautlappen gehoben ist, kann der Schnitt erweitert werden. Der dorsale Rand des Vastus medialis wird im Bereich des Austrittspunkts des Ramus saphenus von der Aponeurose des Adductor magnus abgelöst. Die Faszie des Musculus vastus medialis wird inzidiert und der Muskelbauch nach ventral geschoben.(43) Der Musculus vastus medialis wird mit einem Haken nach anterior gezogen, und die absteigenden Kniegelenksgefäße werden sichtbar.

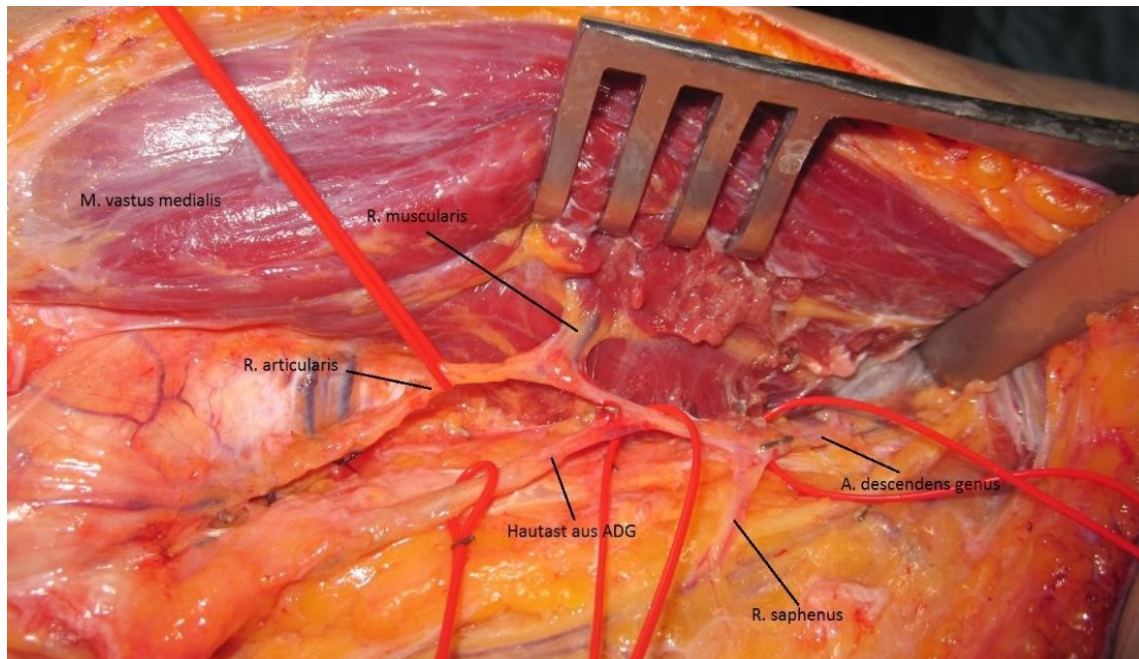


Abbildung 18: Aufteilung der Arteria descendens genus nach Dubois Ilc

Die medialen Kniegelenksgefäße können ventral des Adductor magnus identifiziert werden.(5) Die Arteria descendens genus ist der letzte Ast der Arteria femoralis. Üblicherweise entspringt sie proximal des Hiatus adductorius. Sie wird von zwei concomitanten Venen begleitet

Der Ramus articularis der Arteria descendens genus verläuft üblicherweise in einem Bindegewebstunnel in dem zweiflächigen Winkel zwischen dem Hinterrand des Vastus medialis und der Sehne des Adductor magnus. Gebildet wird dieser Tunnel durch die Faszie des Vastus medialis, an den die Arterie feine Muskeläste abgibt. Wird der Gelenksast nach distal verfolgt, erreicht man den medialen Kondyl, an den er seine periostalen Äste abgibt. In 81% der Fälle anastomosiert dieser Ast mit der Arteria superior medialis genus.

Der Ramus muscularis verläuft annähernd senkrecht zur Arteria descendens genus, bevor er in den Vastus medialis zieht.(48) Die Arteria descendens genus wird in ihrem Verlauf ausgehend vom Musculus adductor magnus bis zum Eintritt ihres Endastes in das suprakondyläre Periost mobilisiert. Der Ramus articularis der Arteria descendens genus kann bis zu seinem Eintritt in das Periost über dem medialen Femurkondyl verfolgt werden.(14)

Die Kaliber der Gefäße sind mit 2,21mm adäquat für mikrochirurgische Anastomosen. Sind diese Gefäße dünner als 1mm, können zuverlässige Mikroanastomosen nicht garantiert werden und die meist kürzere Arteria superior medialis genus kann als alternativer Pedikel herangezogen werden.(50) Üblicherweise wird die zuletzt genannte Arterie kurz vor ihrem Eintritt ins Periost ligiert.

Um sich die Möglichkeit zu bewahren auf ein arterielles Interponat zurückgreifen zu können, sollte der Gefäßstiel proximal seiner Aufzweigung in den Ramus articularis und den Muskelast in den Adductor magnus abgesetzt werden. Die Ausbreitung und Aufzweigung der Arteria descendens genus wird über dem Periost des medialen Kondyls und der suprakondylären Regionen sichtbar.(14) Die Gefäße werden proximal am Boden des Muskelkompartments und distal an der Oberfläche des medialen Femurkondyls entblößt. Ein großes, leicht zu erkennendes Netzwerk bestehend aus anastomosierenden Gefäßen, abgeleitet von der Blutversorgung des Kniegelenks, hüllt die mediale Oberfläche der distalen femoralen Metaphyse ein. Sobald diese Gefäßverteilung in Gänze sichtbar gemacht wird, können die Umrisse des Lappens am Periost so markiert werden, dass die Blutversorgung erhalten bleibt.(71)

Die Arteria descendens genus gibt zwei Hauptäste im Bereich des Condylus medialis femoris ab. Der longitudinale Ast wird vorwiegend für die kortikoperiostalen oder kortikospongiösen Knochenlappen verwendet. Der transversale Ast zieht ventral davon zur medialen Trochlea und stößt hier auf den proximalen Rand des Gelenksknorpels. Die Beziehung dieser beiden Strukturen muss erhalten bleiben und markiert die Zielsetzung für die Stelle der Entnahme einer Lunatumrekonstruktion. Um die Kongruenz der Gelenksflächen zwischen Radius und der Handwurzel zu gewährleisten, wird die senkrecht stehende Krümmung des knorpeltragenden Knochenanteils der Trochlea ausgenutzt. Die nach distal

gerichtete Oberfläche des eingebrachten Lappens besteht aus Spongiosa und muss so geformt werden, um mit der nach distal gerichteten Knorpelfläche des ehemaligen Mondbeins in unmittelbaren Kontakt zu treten. Die Ausmaße des hier benötigten osteochondralen Segments wird aus dem Ramus transversus und der Arteria descendens genus gespeist.(29) Die Entnahme von großflächigeren Transplantaten erfordert die vaskuläre Versorgung beider Endäste des Ramus articularis. Die Gestaltung des Lappens wird auf dem Periost skizziert, ohne dabei die Gelenkkapsel oder das Ligamentum collaterale laterale zu verletzen. Das Knochensegment kann nun den Anforderungen entsprechend entnommen werden.

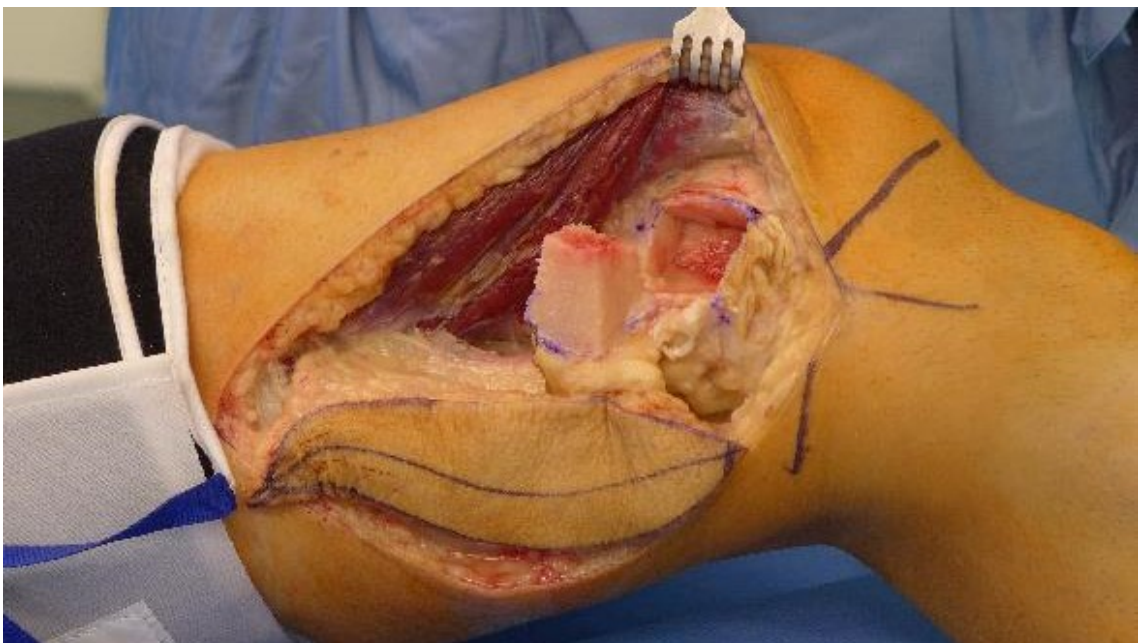


Abbildung 19: Entnahme eines osteokutanen Transplantates

Die Hebung eines kortikoperiostalen Lappens erfolgt ohne Verletzung der Gelenkkapsel wie folgt.

Zunächst wird die Knochenhaut mit dem Elektromesser inzidiert und dann samt der Kortikalis mit einem scharfen Meißel abgehoben. Hier wird darauf geachtet, dass Periost nicht vom Knochen abzulösen.(14)

An den gekennzeichneten Lappenrändern wird das Periost vorsichtig mit einem gekrümmten Osteotom fortschreitend abgehoben. Die Hebung des Lappens erfolgt von den Rändern ausgehend Richtung Zentrum. Auf diese Art und Weise bleibt das Kambium erhalten und es entsteht ein dünner Lappen, der das Periost und zugehörige Fragmente der Kortikalis enthält.(71) Ein flacher Potatochip ähnlicher

Lappen, der sich um die Empfängerstelle wickeln lässt, kann generiert werden. Die Dicke des Lappens endet nur knapp unter der Kortikalis und beinhaltet eine dünne Schicht spongiösen Knochens. Wird der kortikoperiostale Lappen zu dick geformt, ist eine Umhüllung des Defekts nicht möglich.(50)

Der periostale Anteil des Lappens sollte mit größter Sorgfalt gehoben werden, um das Kambium nicht zu beschädigen. Diese Schicht beinhaltet die osteogenetische Kapazität des Periosts. Die zusätzliche Entnahme eines Kortikalissegmentes kann zum Schutz dieser Struktur beitragen. Für die Rekonstruktion an sich ist die Kortikalis allerdings nicht notwendig. Das Hinzufügen von kortikalen und spongiösen Segmenten des medialen Femurkondyls kann empirisch als sicher angesehen werden, jedoch gibt es bisher keine exakten Angaben darüber, wie viel Knochensubstanz aus der Oberschenkeltrochlea entfernt werden kann, ohne ihre biomechanische Integrität zu gefährden. Teile des diaphysären Kortex und der Spongiosa aus diesem Bereich in den Lappen zu integrieren wird in der Literatur als riskant angesehen und sollte aufgrund einer vermuteten gesteigerten Frakturneigung vermieden werden. Das Periost wiederum kann auch zu großen Teilen von der Diaphyse des Femurs entnommen werden.(76)

In proximal-distaler Ausdehnung beträgt die maximal zur Verfügung stehende Länge an Periost 8cm, begrenzt von der metaphysären-diaphysären Junctionszone proximal bis zum Ursprung des Ligamentum collaterale mediale distal. Die Breite kann mit durchschnittlich 6cm bemessen werden und wird vom dorsalen Ende des Kondyls und der Facies articularis patellaris ventral limitiert.(71)

In der Literatur herrscht jedoch noch Uneinigkeit bezüglich der maximal zur Verfügung stehenden Entnahmemenge an Periost und so können dünne vaskularisierte mediale Femurkondylappen nach Kakar mit bis zu einer Größe von 8x13cm gehoben werden. Lappen dieser Größe wurden bisher jedoch nur experimentell beschrieben und haben noch keinen Einzug in die klinische Praxis gefunden. Limitiert sind sie durch die Facies articularis patellaris der Trochlea und den dorsalen Muskelursprüngen an der Linea aspera, sowie dem Ursprung des Ligamentum collaterale mediale.(50)

Wird ein strukturelles, mechanisch stabiles kortikospongiöses Transplantat benötigt, erfolgt die Entnahme mit der Knochensäge. Die Kortikalis bleibt in diesen Fällen mit dem spongiösen Knochen in Verbindung.

Um einer möglichen Fraktur des Lappens bei der Entnahme ihre Fatalität zu nehmen, wird ein größerer Knochenkeil entnommen als benötigt. Blutungen aus den Rändern des Periosts und dem anliegenden Knochen sollten sichtbar sein, bevor der Gefäßstiel abgesetzt wird. Die oberflächlichen Blutungen im Bereich des Periosts und der Kortikalis sind meist hell-glänzend, während das Blut aus der Spongiosa eher langsam heraussickert.(14)

Nun wird der Gefäßstiel des Transplantats proximal der Abgänge der superfiziellen Kniegelenksarterien im Canalis (vasto)adductorius Hunter herauspräpariert und durchtrennt.(71) Die Abtrennung des versorgenden Gefäßes kann weiter proximal bis zu seinem Abgang aus der Arteria femoralis (superficialis) erfolgen. Je nach Notwendigkeit kann ein bis zu 8cm langer und 1,5cm starkes Gefäßstil gehoben werden.(4,29,47) Der Lappen wird mit einem krummen Osteotom gehoben, das von den Rändern Richtung Zentrum bewegt wird. Auf diese Weise bleibt die Kambiumschicht erhalten(50)



Abbildung 20: Die Entnahmestelle kann primärverschlossen werden

Die Entnahmestelle kann in den meisten Fällen (89% in unserer Studie) durch schichtweisen Verschluss und unter dem Gebrauch von Redon-Saugdrainagen 12 Charrière primärverschlossen werden.

### Empfängerstelle

Der iatrogen erzeugte strukturelle Defekt des medialen Femurkondyls kann durch ein allogenes Femurkopftransplantat verschlossen und mit synthetischem, absorbierbaren Osteosynthesematerial fixiert werden. Der Weichteildefekt muss unter dem Einsatz von Drainagen verschlossen werden, um Serombildungen und somit die Entnahmemorbiditäten zu minimieren.

Verlaufskontrollen der Entnahmestelle zeigten im Röntgen eine erfolgreiche Integration des allogenen Knochentransplantates.(3)

An der Entnahmestelle erlaubt Jones die sofortige postoperative Belastung mit vollem Gewicht und zusätzlichem Kompressionsverband. Einige TeilnehmerInnen dieser Studie sahen einen Vorteil im Gebrauch eines Krückstocks und einer Kniegelenksimmobilisation, da Bewegungen des Quadriceps über der Entnahmestelle initial Schmerzen erzeugen kann. Diese Gehhilfen wurden ausnahmslos nach spätestens 3 Wochen abgesetzt. Keiner der Patientinnen und Patienten hatte länger anhaltende Beschwerden an der Entnahmestelle und keine Einschränkungen bezüglich der Kniegelenksbelastung und Bewegung wurden vorgeschlagen.(15)

Das transferierte Periost ist ideal dafür geeignet osteogenetische Stimulation im Empfängerbett zu aktivieren. Seine Kapazität in Bezug auf vaskularisierte Knochentransplantation ist jedoch limitiert. Das Zuschneiden der dünnen Periostschicht ist herausfordernd und kann bei Unachtsamkeit schnell die Durchblutung beschädigen. Aus diesem Grund sollten auch Alternativmethoden nicht außer Acht gelassen werden.

Ausgiebige Manipulationen am Knochen in einer vernarbten Umgebung kann zu Ödemen und Schwierigkeiten beim Wundverschluss führen.(76)

Wurde ein kortikoperiostales Präparat entnommen, kann es aufgrund der Dünne und Biegsamkeit, Geschmeidigkeit, Flexibilität, Schmiegsamkeit des Lappens um

Defekte wie etwa an der Clavicula(71) oder langen Röhrenknochen(36) gewickelt werden und mit nicht-absorbierbarem Nahtmaterial fixiert werden.(71)

Ein entnommener Knochenkeil muss nun akribisch mit Raspeln geformt werden, bis er in das Empfängerbett passt. Hierbei ist besondere Sorgfalt darauf zu legen, den Pedikel nicht zu komprimieren. Mit Kirschner-Drähten kann das Resektat nun in der Wundhöhle mit der Umgebung fixiert werden.(38)

Die Länge des Pedikels ist in der Regel mehr als suffizient, um im Falle einer Handwurzelrekonstruktion die Arteria radialis der Empfängerseite für eine Anastomose zu erreichen. Bürger hat hier zwei Methoden entwickelt, um mit der Länge des Pedikels optimal umzugehen. Bei einer Möglichkeit wird die volle Länge des entnommenen Gefäßes erhalten und mit Hilfe einer End-zu-Seit-Anastomose an die Arteria radialis im Bereich des distalen Unterarmes angeschlossen. Dazu ist ein Hauttunnel mit einer zweiten Inzision im Bereich der Anastomose notwendig. Die von Bürger häufiger angewendete zweite Technik macht eine Kürzung des Pedikels notwendig, der dann ebenfalls End-zu-Seit in der Tabatiere anatomique zwischen dem Musculus extensor pollicis longus, dorsal und extensor pollicis brevis sowie abductor pollicis longus, palmar mit der Arteria radialis anastomosiert wird. Wird der Schnitt von volar durchgeführt, kann der verkürzte Stiel auch mit dem Ramus palmaris der Arteria radialis End-zu-End vernäht werden.

Venöse Anastomosen werden individuell zu oberflächlichen oder tiefen Venen der Region hergestellt.(29)

Die Fixierung des Knochenlappens kann mittels Schraube, Miniplatte oder Kirschnerdrähten erfolgen. Bürger beschreibt auch die Möglichkeit den Lappen ohne Osteosynthesematerial einheilen zu lassen, wenn die Lage des Knochensegments bereits perioperativ ideal ist.(29)

Im Falle einer Rekonstruktion einer Schienbeinpseudarthrose wird der Pedikel mit der Arteria dorsalis pedis anastomosiert.

Die benötigte Zeit bis zur kompletten Einheilung der Knochenlappen in die untere Extremität ist mit durchschnittlich 3,1 Monaten bei Cavadas(36) länger als in Eingriffen an der oberen Extremität beschrieben. Die Erklärung dafür ist bisher unklar. Es wird vermutet, dass die Knochenheilung nicht alleine von der

osteogenetischen Fähigkeit des Lappens abhängt, sondern auch die Vaskularisierung der beiden Bruchenden eine entscheidende Rolle spielen.

Für den arteriellen Schenkel der Mikroanastomosen sind End-zu-Seit Verbindungen in T-Konfiguration zu bevorzugen. So erhält der Lappen nicht mehr Blut als benötigt und das Stauungsrisiko sinkt. Auf der venösen Seite sind End-zu-End Anastomosen die Regel um einen optimalen Abtransport des verstoffwechsellten Blutes zu gewährleisten.(76) Für die Gefäßnähte wird monophiles, nicht-resorbierbares Nahtmaterial im Kaliber 10-0 verwendet.

Intraoperative Dopplermessungen können den Fluss durch den arteriellen Schenkel verifizieren.(3) Wurde der Knochen zusammen mit einem Hautlappen entnommen, kann dieser dazu verwendet werden, einen Weichteildefekt im Empfängerbett spannungsfrei zu verschließen und gleichzeitig die Perfusion des Transplantats zu beurteilen.(14)



Abbildung 21: MFL mit Hautinsel an der Empfängerstelle

## Ziel

Unser Ziel ist die Erfassung und Beurteilung von Entnahmemorbiditäten des Kniegelenks und angrenzender Strukturen nach der Durchführung eines medialen Femurkondylallappens durch die unten genannten Ziel- und Einflussgrößen sowie der Vergleich mit den Entnahmemorbiditäten ähnlicher Methoden.

Es ist zu erwarten, dass dieser Eingriff nur wenige Morbiditäten erwirkt und keine Einflüsse auf die Funktionalität des operierten Kniegelenks hat. Durch die geringe Anzahl an untersuchten Patientinnen und Patienten kann jedoch nur in beschränktem Rahmen auf die Grundgesamtheit geschlossen werden.

## Zielgrößen

Traumatologische Beurteilung des Kniegelenks mittels Larson Score

Beurteilung der Narbe mittels Vancouver Scar Scale

Beurteilung der Sensibilität über dem Operationsareal mittels Semmes-Weinstein Monofilamenten (WEST)

Subjektive Einschätzung der Teilnehmenden durch Visual Analogue Scales

## Einflussfaktoren

Alter der Patientinnen und Patienten

Aufenthaltsdauer im stationären Umfeld

Geschlecht

Raucherstatus

Länge der Inzision

Zeitfenster zwischen Operation und Untersuchung

Operationsdauer

Ursache des Eingriffs und Lokalisation der Empfängerstelle

Heilungsverzögerung im Entnahmegebiet

Kategorie des medialen Femurkondylallappens

Akut oder Elektiveingriff

## Nutzen Risiko Evaluierung

Da es sich um eine retrospektive Datenerhebung und Analyse der Krankengeschichten und Untersuchungsergebnisse handelt, bestand und besteht für die Patientinnen und Patienten keinerlei Risiko.

## Material und Methoden

Eine Suche in PubMed wurde durchgeführt. Die Suchbegriffe lauteten medial femoral condyle flap, donor site morbidity und descending genicular artery. Nach der Literaturrecherche sämtlicher Studien zu diesem Thema wurde eine retrospektive Analyse vollzogen in der alle Patientinnen und Patienten, die zwischen 2013 und 2015 eine mediale Femurkondylappenplastik durchlaufen haben einbezogen wurden. Die klinische Follow-up Untersuchung 10 dieser Personen wurde ebenfalls retrospektiv in diese Datenauswertung inkludiert.

### Patientinnen und Patienten

Zwischen Dezember 2012 und Februar 2015 unterzogen sich 19 PatientInnen – darunter 4 Frauen und 15 Männer – einer Defektdeckung mittels medialer Femurkondylappenplastik. Alle Operationen wurden an der klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie der Universitätsklinik für Chirurgie des Landeskrankenhauses-Universitätsklinikum Graz durchgeführt. Die lappenchirurgischen Eingriffe wurden von 7 erfahrenen Plastischen Chirurgen bewerkstelligt. Die existierenden Daten aller 19 Lappen wurden retrospektiv auf der Basis der Aufzeichnungen in der Krankengeschichte analysiert und das Outcome bewertet. Die Operationsdauer, Modalität des Lappens, Methode des Entnahmebettverschlusses, Lokalisation der Empfängerseite, postoperative Komplikationen und eventuelle Revisionen flossen ebenfalls in die Beurteilung ein.

10 dieser 19 Patientinnen und Patienten standen einer postoperativen Kontrolle zur Verfügung. Um die Stadien der Wundheilung abzuwarten, wurde die post-OP Untersuchung erst nach frühestens 6 Monaten vorgenommen. Die Zeitdauer zwischen Operation und Untersuchung betrug im Durchschnitt 26,1 Monate (9-35 Monate). Die Teilnehmenden wurden mit objektiven und subjektiven Methoden auf Entnahmemorbidity an der Innenseite des operierten Kniegelenks untersucht. Objektive Messmethoden beinhalteten die Länge der Operationsnarbe, eine Beurteilung mittels Larson Knee Score, Vancouver Scar Scale und das Semmes-Weinstein Monofilament. Eine subjektive Beurteilung der Entnahmestelle erfolgte durch den Visual Analogue Scale for satisfaction. Das durchschnittliche Alter der Patientinnen und Patienten betrug zum Zeitpunkt der Untersuchung 47,8 Jahre (27-78 Jahre). Das Kollektiv der 10 Teilnehmenden bestand aus 2 Frauen und 8

Männern. Die Einschlusskriterien, um für die statistische Auswertung herangezogen zu werden erfordern eine durchgeführte mediale Femurkondylappenplastik, die mindestens 6 Monate zurück liegt und ein Alter von mindestens 18 Jahren. Folgende Patientinnen und Patienten wurden aus der statistischen Auswertung ausgeschlossen: Patientinnen und Patienten, bei denen das Operationsdatum nicht mindestens 6 Monate vor dem Tag der Follow-up Untersuchung liegt. Patientinnen und Patienten mit hochgradiger Gonarthrose, Rheumatoider Arthritis, erlebtem Knie Trauma an der zu beurteilenden Extremität, zusätzlichen Operationen am zu beurteilenden Kniegelenk und chronischer Analgetikaeinnahme.

Das Protokoll für die beschriebene Forschung wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz überprüft und zugelassen.

## Larson-Score

Kniegelenkserkrankungen können die Lebensqualität und individuelle Funktionalität auf verschiedene Art beeinträchtigen. Instabilitätgefühle, Schmerzen, Bewegungs- oder Belastungsseinschränkungen führen zu Gangunsicherheit und Bewegungsmangel.

Die Komplexität des Kniegelenks und die große Anzahl an Kriterien für die Beurteilung seiner Funktion und Symptome erschweren die Quantifizierung von Messergebnissen und deren Vergleich.

1955 wurde erstmals von O'Donoghue(122) ein System zur Bewertung des outcomes nach Bandrekonstruktionen im Kniegelenk entwickelt. Nach einer objektiven Untersuchung und Befragung konnten maximal 100 Punkte erreicht werden.

Larson(123) sah die Notwendigkeit eines breiter einsetzbaren Kniescores und entwickelte ein Beurteilungsschema mit einer Bandbreite von ebenfalls 100 Punkten, basierend auf subjektiven, objektiven, funktionellen und anatomischen Kriterien. Der funktionelle Aspekt wurde mit der individuellen Fähigkeit zu gehen, laufen, springen und der Durchführung von Kniebeugen beurteilt.

Marshall et al(124) betonte die Wichtigkeit der Bandstabilität bei der Beurteilung des Kniegelenks und fokussierte sich in seinem 1977 entwickelten „Hospital for Special Surgery Knee Score“ (HSSKS) auf diesen Blickpunkt.(125)

Lysholm und Gillquist(126) erarbeiteten einen Scale zur Symptomenbeurteilung. Der Lysholm Knee Scoring Scale beinhaltet die grundlegenden Aspekte des Larson Scores, verzichtet jedoch auf die anatomischen Aspekte auf Kosten des Instabilitätssyndroms.

Da bei der Beurteilung von Entnahmemorbiditäten nicht nur funktionelle, sondern auch anatomische Kriterien zu erheben sind, haben wir uns für den Gebrauch des Larson Score entschieden. Zusätzlich wurden bei der klinischen Untersuchung unter Berücksichtigung der Studie von Marshall(124) auch noch die Zustände Kniegelenksbänder und Menisken erhoben. Dazu wurde das Kniegelenk auf die gängigen Untersuchungszeichen Böhler, Lachmann und Steinmann geprüft.

Zur Überprüfung des Erfolgs der Operation wurden Daten mit Hilfe des Larson-Scores erhoben. Dieser Score ermöglicht die subjektive und objektive Einschätzung der Kniegelenksfunktion und beinhaltet folgende objektive Parameter: Kniegelenksbeweglichkeit, Beinachse mit Hilfe eines Langbeinröntgens, Schwellung, Erguss, Muskelumfang des Oberschenkels in Zentimeter und Zohlenzeichen.

Zur Quantifizierung der Kniegelenksbeweglichkeit und der Beinachse wurde ein Goniometer benützt.

Neben den objektiven Faktoren wurden zur Vervollständigung des Larson-Scores noch folgende subjektive Kriterien examiniert: Schwellung, Hinken, Schmerzen, Treppensteigen, Kniebeugen, Einsatz von Gehhilfen und Einschränkungen im täglichen Leben.(127) Die Untersuchung wurde bei allen Teilnehmenden vom selben Untersucher vorgenommen.

In Kombination mit den objektiven Daten können insgesamt maximal 100 Punkte erzielt werden. Um die Untersuchungsergebnisse miteinander vergleichen zu können, wird der Larson-Score in 4 Gruppen unterteilt (<40 Punkte, 40-60 Punkte, 60-80 Punkte und >80 Punkte).

Die klinische Untersuchung des Knies ist ein fundamentales Werkzeug zur korrekten Diganosefindung und Therapieentscheidung. Die Einführung von

effektiven Bildgebungsverfahren wie der Computertomografie und Magnetresonanztomografie hat die zentrale Rolle der manuellen klinischen Evaluation zu einem gewissen Anteil verdrängt, sodass heutzutage sowohl die UntersucherInnen als auch die Patientinnen und Patienten der Meinung sind, dass ein gerissenes Außenband oder einen rupturierter Meniskus nur durch Bildgebung ausgeschlossen werden kann. Auf die Effizienz und Erschwinglichkeit einer korrekt durchgeführten klinischen Examination, sollte aber nicht vergessen werden.

Die klinische Examination des Kniegelenks erhebt drei Aspekte:

- Funktion der Articulatio patellofemoralis und des Extensionsmechanismus;
- Läsionen im Tibiofemoralgelenk unter Einbezug der Menisken und Gelenksknorpel
- Stabilität des Knies und seiner Bänder

In allen Fällen sollte die Untersuchung mit einer sorgfältigen Befragung und Anamnese der Patientin oder des Patienten begonnen werden, um die Lokalisation von Schmerz und Dysfunktion zu erheben und den drei Punkten zuzuordnen. Der Larson-Score erhebt mit seinem funktionellen Untersuchungsteil alle Aspekte. Um die Untersuchung jedoch noch zu präzisieren, wurde das Knie zusätzlich auf das Auftreten von Böhler-Lachmann- oder Steinmannzeichen überprüft.

Eine sorgfältige Observation der Patellabewegungen während der Flexion und Extension ist obligatorisch, um Banddefekte und Muskelschwächen auszuschließen. Der Musculus quadriceps femoris setzt sich aus den Musculi rectus femoris und vastus intermedius, die einen axialen Zug auf die Patella ausüben und den Musculi vastus lateralis und medialis, die die Kniescheibe in die eine oder andere Richtung ziehen können, zusammen. Die Spur der Kniescheibenbewegung ausgehend aus totaler Extension zu Flexion des Knies wird visuell beurteilt. Der Verlauf sollte geschmeidig und ohne abrupte Bewegungen ausgeführt werden. Eine Lateralisation der Patella während der Flexion kann durch anatomische Besonderheiten des Sulcus intercondylaris, Straffheit der lateralen Strukturen oder Schwäche der medialen muskulären Strukturen auftreten. Da beim Eingriff am medialen Femurkondyl diese Muskeln im Operationsgebiet liegen, wird speziell auf eine Lateralisation der Patella geachtet.

Alle Tests auf Meniskus oder Knorpelschäden sind eine Kombination aus Flexion, Rotation der Tibia und Stresseinwirkung auf die Gelenksfläche. Bei Steinmann's erstem Test wird die Patientin oder der Patient in Rückenlage gebracht und das Bein sowohl in der Hüfte als auch im Knie um 90° gebeugt. Nun werden eine forcierte Außen- und darauffolgend Innenrotation durchgeführt. Der Test ist bei einem lateralen Meniskusschaden positiv, wenn ein Schmerz bei Innenrotation auftritt. Da bei der Entnahme des medialen Femurkondyls ein Gefäß entfernt wird, das zur Ernährung des Innenmeniskus beiträgt, wird hier vor allem auf Schmerzen bei Außenrotation geachtet, die eine Schädigung des Meniscus medialis anzeigen. Bei Böhler's Test wird ein Varus und Valgus Stress auf das gestreckte Knie ausgeübt, wobei Schmerzen bei Kompression des jeweiligen Meniskus ausgelöst werden.

Die Durchblutung der Menisken, insbesondere des Meniscus medialis erfolgt über ein perimeniskales Randnetz aus Verzweigungen der Arteria superior medialis genu und der Arteria descendens genu. Der zentrale Teil des Faserknorpels ist gefäßfrei und wird über die Synovia ernährt.(128)

Um der exakten Beurteilung eines Kniegelenks und dem dritten Punkt gerecht zu werden, führen wir der Vollständigkeit halber auch noch eine Testung auf Instabilität durch. Instabilität im Kniegelenk wird üblicherweise mit einer Richtung definiert (anterior, posterior, medial, lateral, bei Rotation). Diese Position bezieht sich auf die proximale Tibia in ihrem Verhältnis zum distalen Femur. Die Richtung der Instabilität hängt von der einen oder mehreren Strukturen ab, die an der Pathologie beteiligt sind. Vorwiegend sind die beiden Kreuzbänder und Außenbänder für Stabilität im Kniegelenk verantwortlich. Für die Identifizierung der einzelnen betroffenen Strukturen stehen einige Manöver zur Verfügung.

Der Standard Stress Test beinhaltet die Valgus und Varus Überprüfung. Diese Examination gehört zu den bekanntesten und aufgrund ihrer Einfachheit beliebtesten Testverfahren. Die Untersuchung sollte bei 30° gebeugtem Kniegelenk absolviert werden. Im Wesentlichen unterscheidet sich dieser Test sonst nicht von der Untersuchung auf Böhler's Zeichen. Durch die leichte Flexion werden alle tendinösen Strukturen sowie die posteriore Kapsel entspannt und erlauben somit eine isolierte Testung der beiden Kollateralbänder, die sich entweder bei Valgus- oder Varusstress spannen. Die Gelenkslinie mit dem Finger zu palpieren kann bei

der Detektion eines Aufklappens nützlich sein. Auch hier wird das Augenmerk auf die medialen Knieanteile gelegt.

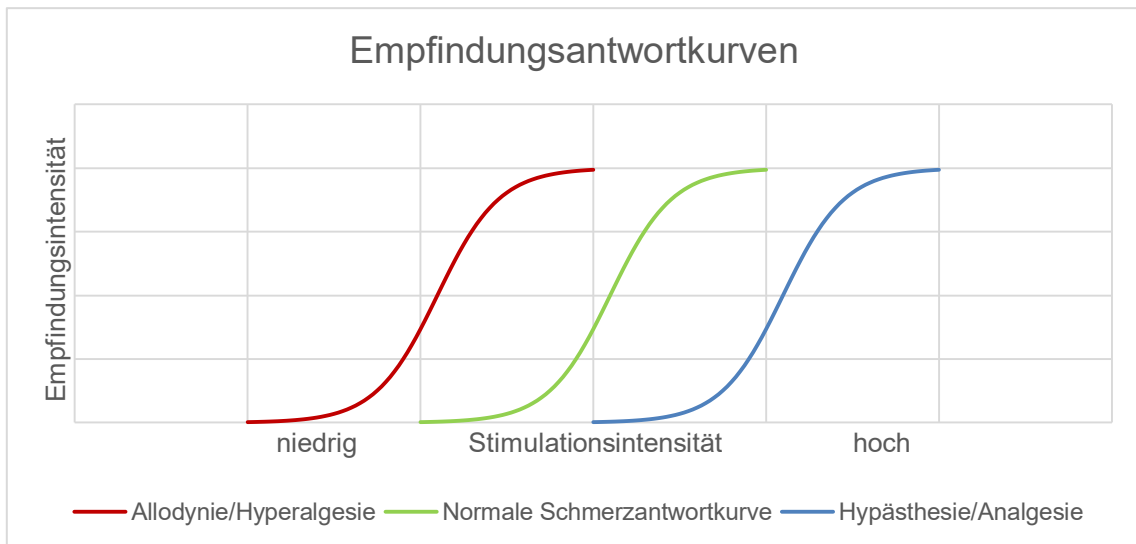
Der Lachmann Test gehört zur Kategorie der Slide Tests, bei denen der Untersucher die Tibia gleitend über das distale Femur bewegt und versucht sie so zu subluxieren. Dieses Verfahren wird immer auf beiden Seiten durchgeführt, um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Auch hier wird das Kniegelenk in einem Winkel von 30° flektiert und zusätzlich leicht nach außen rotiert. Die Ferse des Beines hat Kontakt mit der Liege. Der proximale Unterschenkel wird mit beiden Händen umfasst und nach vorne und hinten gezogen. Das Ausmaß der Verschiebbarkeit - auch Schublade genannt - bestätigt oder schließt eine Verletzung der Kreuzbänder aus, wobei eine Verletzung des Ligamentum cruciatum posterius einer hinteren Schublade und die des vorderen Kreuzbandes einer vorderen Schublade entspricht. (Einteilung in Normal 1, 2, 3-fach positiv)(129)

## Das Monofilament nach Semmes-Weinstein

In der klinischen Praxis werden mehrere Zugänge angewendet, um sensible und nozizeptive Reaktivität auf mechanische Stimulation zu erreichen.

Die Empfindungsantwortkurve auf taktile Reize bildet sich in Form einer Schwanenhalsfunktion ab, wobei auf der Abszisse die Intensität der Stimulation und auf der Ordinate die Empfindungsintensität aufgetragen werden.

Zwei Formen von Schmerz als Reaktion auf taktile Stimulation können nach Verletzungen der Haut auftreten: Allodynie, definiert als Schmerz auf in der Regel nicht schmerzhaft Reize und Hyperalgesie, die auftritt, wenn die sensible Antwort auf schmerzhaft Einwirkungen verlängert und exalziert ist. Die historische Beziehung zwischen Allodynie, Hyperalgesie und Hypästhesie bzw. Anästhesie spiegelt sich in Form von zueinander links- und rechtsverschobenen Sigmoidfunktionen wider.



Graphik 1: Schmerz und Empfindungsantwortkurven bei normaler, verminderter und erhöhter Sensibilität

Die Grafik stellt den Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Schmerz und der Stimulationsintensität von einer funktionellen Perspektive dar. Normalerweise wird Schmerz nur empfunden, wenn der mechanische Reiz die Schmerzschwelle überschreitet. Nach Verletzungen und Operationen kann sich eine Linksverschiebung dieser Funktion ergeben, sodass die gesamte Bandbreite der noxischen Perzeption schon bei niedrigeren Stimuli wahrgenommen wird. Der Unterschied zwischen Allodynie und Hyperalgesie wird ebenfalls in dieser Graphik deutlich. Der untere Anteil der linken Schmerzantwortkurve liegt zur linken der Schmerzschwelle und repräsentiert Allodynie. Die obere Hälfte dieser Funktion stellt die Schmerzreaktion bei Hyperalgesie dar.

Durch Polyneuropathien oder der iatrogenen-operativen Durchtrennung sowie Entfernung von Nerven ergibt sich einer Rechtsverschiebung der S-Funktion und die Schmerzempfindung sinkt oder verschwindet komplett.(130)

Um eine genaue Verlaufskontrolle und Dokumentation von Veränderungen nach Nervenverletzungen zu erreichen, wurden Instrumente entwickelt, die in der Lage sind, die Intensität eines ausgeübten Drucks zu kontrollieren und zu graduieren. 1960 wurde von Semmes und Weinstein ein Messinstrument vorgestellt, das als Ästhesiometer bekannt wurde. Es ermöglicht eine exakte Einschätzung der Qualität von Berührungen durch präzise Regulierung des ausgeübten Drucks.(131)

Das Monofilament nach Semmes-Weinstein ist ein neurologisches Untersuchungsinstrument und dient zur Untersuchung der Sensibilität. Es besteht

aus einem einzelnen, relativ steifen Kunststofffaden, der bei einem festgelegten Druck abknickt. Durch Aufdrücken des Filaments bis zu dem Punkt, an dem es sich biegt, wird ein definierter Druck aufgebaut, der von gesunden Patientinnen und Patienten gespürt wird. Fehlt die Wahrnehmung des Druckes, besteht der Verdacht auf eine Neuropathie oder Hypästhesie. Aufgrund der sehr einfachen Untersuchung und des preiswerten Instrumentes ist es auch ein gutes Screeningverfahren für die Diabetische Polyneuropathie.(132)

Die Untersuchung durch Semmes-Weinstein Monofilamente stellt einen reproduzierbaren instrumentellen Stimulus mit schmaler Standardabweichung im Vergleich zu anderen händischen Examinationsmethoden dar. Diese Eigenschaft macht sie zur optimalen Wahl zur objektiven sensorischen Beurteilung für eine Vielzahl von Pathologien. Die normalen sensorischen Detektionsschwellen des gesamten Körpers und der Stimulus für jedes Filament wurden von Weinstein festgelegt. Die Berührung durch ein Nylon Filament 0,005 und einer Länge von 3,8cm ist nach Weinstein ein geeigneter Indikator für eine normale sensorische Schwelle der Handflächen und eines Großteils des Körpers.(133)

In einer Studie, die mechanische dynamische (brush) und statische (pressure) Untersuchungsmethoden für die Detektion von sensiblen Störungen gegenüberstellt, kann gezeigt werden, dass die durch Druck ausgeübte Semmes-Weinstein Methode im Vergleich eine höhere Sensivität aufweist.(134)

Der Weinstein Enhanced Sensory Test (WEST) enthält statt der ursprünglich 20 nur die 5 wichtigsten Monofilamente an einer einzelnen Halterung und stellt eine Modifikation der Semmes-Weinstein-Monofilamente dar. So können die Schwellen der Berührungswahrnehmung von normalem Berührungsempfinden bis zum Verlust der Schutzsensibilität in kurzer Zeit erfasst werden.

Jeder Nylonfaden unterschiedlicher Dicke ist mit einer Nummer von 2,83 bis 6,65 versehen. Diese Markierung entspricht dem Logarithmus der 10-fachen Kraft in Milligramm, die das Monofilament biegt. Sobald eine bestimmte Kraft erreicht ist, krümmt sich das Monofilament. Das dünnste Filament des WEST (2,83) biegt sich, sobald es mit einer Kraft von 70mg auf die Haut gedrückt wird. Somit kann die Stärke des Drucks entsprechend dem Durchmesser des Filaments konstant gehalten werden. Einschränkend muss erwähnt bleiben, dass kleinere

Verbesserungen oder Verschlechterungen der Berührungsrezeption mit 5 Filamenten nicht nachweisbar sind.

Das Bein der Patientinnen oder Patienten wird zu Beginn der Untersuchung weich gelagert, um einen Gegendruck während der Applikation zu verhindern. Nun wird sichergestellt, dass eine Sichtkontrolle durch die Teilnehmenden nicht möglich ist. Begonnen wird zur Probe proximal der zu untersuchenden Region am medialen Oberschenkel. Nimmt der Patient oder die Patientin die Stimulation wahr, wird zur Untersuchung im Bereich des Operationsgebietes übergegangen. Die Prüfung wird mit dem dünnsten Filament (2,83) begonnen. Dieses Filament zeigt normale und leichte Berührungssensibilität an. Nun wird das Monofilament senkrecht auf die Haut aufgebracht, bis es sich c-förmig beugt. Hierbei darf sich die Spitze des Fadens auf der Haut nicht bewegen. Die Teilnehmenden reagieren mit dem Wort „Ja“, sobald sie eine Berührung wahrgenommen haben. Die Applikationsdauer beträgt jeweils 1,5 Sekunden. Die Pause zwischen den Berührungen sollte ebenfalls 1,5 Sekunden betragen.(131) Nach dieser Unterbrechung geht man zügig zum nächsten Messpunkt über.(132)

Das gesamte Hautareal um das Operationsgebiet - mit einem Abstand von 1cm zur Narbe - wird nach diesem Schema berührt. Erfolgt auf das Monofilament 2,83 keine Reaktion, wird der Test mit dem nächstgrößeren Faden weitergeführt. Die Monofilamente 2,83 und 3,61 werden jeweils 3-mal auf der selben Stelle aufgesetzt, die restlichen Fäden lediglich 1-mal. Bevor die Nummer des Monofilaments notiert werden kann, müssen zwei von drei Applikationen von der Person wahrgenommen werden. Zur Bewertung wird die Interpretationsskala von Semmes und Weinstein aus dem Jahre 1980 herangezogen. Diese standardisierte Überprüfung der Berührungsempfindlichkeit liefert aussagekräftige und reproduzierbare Informationen über das gesamte Spektrum der Oberflächensensibilität von starkem Druck bis hin zu leichter Berührung.

<b>Größe</b>	<b>Kraft in [g]</b>	<b>Farbe</b>	<b>Sensibilität</b>
<b>2,83</b>	0,07	grün	Normal
<b>3,61</b>	0,4	blau	Verminderte Berührungssensibilität
<b>4,31</b>	2	violett	Verminderte Schutzsensibilität
<b>4,56</b>	4	rot	Verlust der Schutzsensibilität
<b>6,65</b>	300	rot gestrichelt	Keine Reaktion

*Tabelle 4: Weinstein enhanced sensory test (WEST)*

(131)

## Vancouver Scar Scale

Narbenbildung betrifft Patientinnen und Patienten nach Traumata, Verbrennungen und chirurgischen Operationen. Mehrere Verfahren wurden entworfen, um die Reaktion der Narbenbildung auf verschiedene Behandlungsverfahren und deren outcome zu quantifizieren. Die Bewertung von Narben kann objektiv oder subjektiv verlaufen. Objektive Beurteilungsmethoden liefern ein quantitatives Ergebnis, wohingegen subjektive Einschätzungen beobachterabhängig sind. Quantitative Bewertungen von Narben erfordern Utensilien, die ihre physikalischen Merkmale und Eigenschaften erfassen können. Subjektive Methoden zur Narbenbeurteilung liefern ein qualitatives Ergebnis durch Teilnehmende oder Untersuchende. Semiquantitative Methoden zur Erfassung von Narben wurden durch den Gebrauch von Skalen entwickelt, um subjektive Beurteilungen zu objektivieren.

Die Bewertung von Narben sollte noninvasiv, exakt, reproduzierbar und einfach anzuwenden sein, um die Datenerfassung zu erleichtern und klinischen Nutzen daraus ziehen zu können.

Scar Scales werden vielfach für Forschungszwecke eingesetzt und sind vor allem bei kleinen, linearen Operationsnarben ideal einsetzbar. Diese Skalen sind für die Beurteilung von ausgedehnten Narben und deren funktionelle Einflüsse auf das Individuum nur bedingt nützlich.

Der Vancouver Scar Scale wurde erstmals 1990 von Sullivan beschrieben und ist vermutlich die meist anerkannte Narbenbeurteilungsmethode. Er kann auch für Verbrennungsnarben herangezogen werden. Sie bewertet vier Variablen: Durchblutung, Höhe/Dicke, Geschmeidigkeit/Flexibilität und Pigmentation. Die subjektive Wahrnehmung der entsprechenden Narben stellt keinen Faktor dieses Beurteilungsschemas dar. Lye et al(135) vergleicht die Variable der Geschmeidigkeit aus dem VSS mit einer objektiven quantitativen tonometrischen Messung und stellt fest, dass das Tonometer und die semiquantitative Messung mithilfe des VSS im Wesentlichen handelseinig sind. Der Vancouver Scar Scale bleibt auch nach diesem Vergleich allgemein anwendbar, um die Therapie und das outcome von Vernarbungen zu evaluieren.(136)

## Visual Analogue Scale

In unserem modernen Gesundheitssystem wird es immer wichtiger, die Patientenzufriedenheit und die Meinung des Teilnehmenden in die Beurteilung des outcomes zu inkludieren. Die Beurteilung von Zufriedenheit erweist sich als schwierig, da sie einen multifaktoriellen Parameter darstellt, für den kein Goldstandard existiert. Eine der potenziellen Methoden für die Messung der Zufriedenheit ist der VAS for satisfaction.

Die WHO hat den Begriff der Gesundheit direkt mit der Patientenzufriedenheit verknüpft. „Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.“ Höhere Zufriedenheit reflektiert eine bessere Versorgungsqualität, die zu einer höheren Lebensqualität führt.

Der Visual Analogue Scale ist eine einfache und häufig gebrauchte Methode zur Beurteilung der Schmerzintensität. Die Abschätzung von Schmerz stellt aufgrund seiner multifaktoriellen Expression, basierend auf kognitiven, physischen, sensorischen und soziokulturellen individuellen Unterschieden, den Untersucher vor eine große Herausforderung. Ungeachtet dessen wird der VAS weitestgehend in der Literatur und klinischen Praxis angewandt. Die selben multifaktoriellen Schwierigkeiten liegen auch in der Beurteilung von Patientenzufriedenheiten nach durchgeführten Operationen wie in dieser Studie. Brokelman et al(137) konnten zeigen, dass der VAS for satisfaction im Bezug auf Validität und Reliabilität ein zuverlässiges Maß darstellt und vor allem ein übermäßiges Auftreten des ceiling effects im Gegensatz zu anderen Testverfahren wie dem Likert Test verhindert. Auch bei diesem Messverfahren stellt der Schmerz den wichtigsten Parameter zur Patientenzufriedenheit dar.



Abbildung 22: Entnahmestelle eines MFL

Der VAS for satisfaction ist eine 10cm lange horizontale Linie. Am Anfang und Ende dieser Linie befindet sich jeweils ein deskriptiver Text, der die Extreme der Zufriedenheit repräsentiert. (links: keine Zufriedenheit, rechts: extreme Zufriedenheit) Die Patientinnen und Patienten beurteilten ihre Zufriedenheit bezüglich der Ästhetik der Narbe und des funktionellen Operationsergebnisses durch zwei vertikale Striche auf zwei 10cm Linien. Der Messwert in Zentimeter wurde in die selbe Anzahl an Punkten - von 1 bis 10 - konvertiert. Beispiel: Befand sich der Strich innerhalb des ersten Zentimeters, wurde ein Punkt vergeben. Die exakten Fragen zu den 2 Visual Analogue Scales unserer Studie waren:

„Sind Sie zufrieden mit dem optischen und ästhetischen Operationsergebnis an der Entnahmestelle am Knie?“

„Sind Sie zufrieden mit dem physischen, motorischen und funktionellen Operationsergebnis am Knie der Entnahmestelle?“.

Eine Kurzbeschreibung darüber wie die VAS for satisfaction auszufüllen sind, befand sich unterhalb der Linien.(137)

---

*Sehr zufrieden*

*Sehr unzufrieden*

## Gegenüberstellung mit vergleichbaren Methoden

Um die erhobenen Daten der Untersuchungen mit bereits veröffentlichten Ergebnissen zu vergleichen, wurde eine ausführliche Literaturrecherche betreffend der Entnahmemorbiditäten anderer Knochenlappenplastiken eingeleitet. Der Freie Fibulalappen, der Radialislappen, der Arteria circumflexa ilium profunda Lappen und der Scapulalappen wurden in der Fachliteratur bereits auf ihre Entnahmemorbiditäten geprüft. Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurde als gemeinsamer Parameter das Auftreten von Heilungsverzögerungen in Entnahmegebiet festgelegt.

## Metaanalyse anatomischer Parameter

Eine Metaanalyse anatomischer Messwerte und Aufteilungsmuster betreffend der Gefäßversorgung des medialen Femurkondyls wurde durchgeführt. Mit der Quantifizierung der anatomischen Parameter in der Gefäßversorgung des medialen Femurkondyls befassen sich mehrere anatomische Studien seit geraumer Zeit. Folglich ist bei solch genauen Observationen nicht von allen Autoren das exakt gleiche Ergebnis zu erwarten. Um in dieser Arbeit die wichtigsten Parameter der anatomischen Forschung zusammenfassend zu formulieren, führten wir eine Metaanalyse aus den bereits bestehenden Ergebnissen der Fachliteratur durch.

## Statistik

In die statistische Auswertung wurden die Einflussgrößen aller 19 Patientinnen und Patienten inkludiert und auf Zusammenhänge geprüft.

Zum Zeitpunkt der Datenauswertung hatten bereits 10 Patientinnen und Patienten die klinische Untersuchung auf Entnahmemorbidityen absolviert. Die erhobenen Zielgrößen wurden statistisch ausgewertet. Die deskriptive Statistik dieser Studie und die Erstellung der Grafiken wurden in Microsoft Excel 2013 durchgeführt. Erhobene Daten wurden in Exceltabellen eingetragen, mit Excel analysiert und präsentiert.

Folgende statistische Testverfahren wurden angewendet:

Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung, Pearson-Korrelation, Spearman-Korrelation, t-Test, Mann-Whitney-U-Test, Multivariatanalyse.

Ein Vergleich von Daten mit den Testverfahren geschah mittels SPSS. Für normalverteilte Daten wurde die statistische Analyse mittels der Pearson-Korrelation und des t-Tests durchgeführt. Nicht-normalverteilte Daten wurden mit der Spearman-Korrelation und dem Mann-Whitney-U-Test beurteilt. Die Korrelation wurde auf dem Niveau  $p < 0,05$  als statistisch signifikant gewertet.

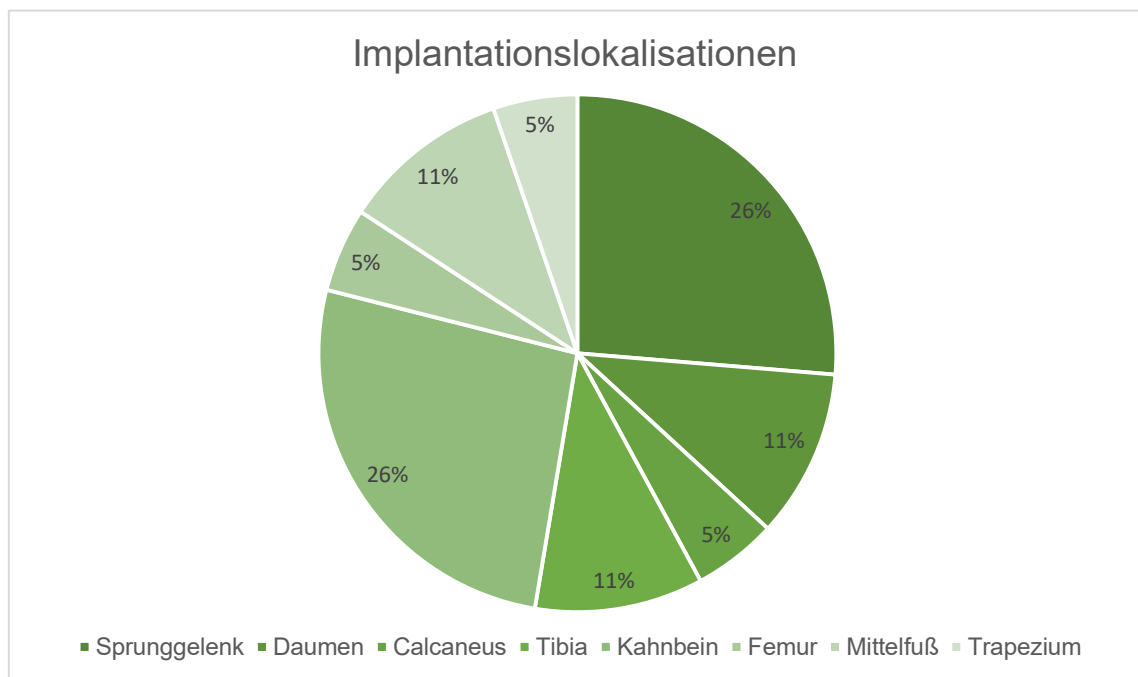
Ein Vergleich der Entnahmemorbidityen mit anderen Operationsergebnissen wurde in Excel grafisch dargestellt.

Die Metaanalyse der anatomischen Parameter aus den morphologischen Studien der Gefäßanatomie wurde in Excel realisiert.

## Ergebnisse

Keine der 19 Patientinnen und Patienten wurde aufgrund der Ausschlusskriterien aus der Beurteilung der Daten exkludiert.

Wir haben eine Kohorte von 19 Patientinnen und Patienten nach der Durchführung einer medialen Femurkondylappenplastik untersucht. Die Operationen wurden zwischen Dezember 2012 und Februar 2015 an der Universitätsklinik für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie LKH Graz durchgeführt. Im Mittel waren die Patientinnen und Patienten 42,1 Jahre alt (21-78 Jahre). Es gab 4 Frauen und 15 Männer, die in der Auswertung berücksichtigt wurden. Die Entnahmestellen befanden sich bei 6 Personen (32%) auf der linken und bei 13 Personen (68%) an der rechten unteren Extremität. In 17 Fällen (89%) wurde die Arteria descendens genus für die Versorgung des Periostlappens oder dem Knochenspan verwendet. In 2 Fällen (11%) übernahm diese Aufgabe die Arteria superior medialis genus. Ein Direktverschluss der Entnahmestelle konnte in 17 Fällen (89%) erfolgen.



*Graphik 2: Implantationslokalisationen des MFL im Vergleich*

Der mediale Femurkondylappen wurde bei diesen 19 Patientinnen und Patienten für verschiedene Empfängerstellen herangezogen: 5 knöchernen Defekte des Scaphoids (26%), einer des Trapeziums (5%) und 2 des Daumens (11%) wurden an der oberen Extremität rekonstruiert. An der unteren Extremität wurden 5 Eingriffe

am Sprunggelenk (26%), einer am Femur (5%), 2 an der Tibia (11%) und einer am Calcaneus (5%) durchgeführt. Zudem wurden gangränös entstandene Defekte am dritten und vierten Zehenstrahl (5,5%) und eine komplexe Mittelfußverletzung (5,5%) mit diesem Lappen gedeckt. 3 der 19 durchgeführten Operationen geschahen in einem akuten Notfallsetting (16%) für die Rekonstruktion von 2 Daumen und einer Tibia. Die Einheilung der Lappen im Empfängergebiet war in 14 von 19 Fällen ereignislos (74%). In 5 Fällen (26%) trat eine Einheilungsverzögerung der Lappen im Empfängerbett auf, 2 dieser 5 Personen erlitten einen Lappenverlust (11%). Die Ursachen waren eine Venenthrombose der Anschlussgefäße und eine Fasziiitis mit MRSA Befall. Heilungsverzögerungen im Entnahmegebiet traten in 2 der 19 Fälle auf (11%). Die Ursachen waren eine Wundheilungsstörung und eine Besiedelung mit MRSA der Entnahmestelle und konsekutiver Infektion des Kniegelenks. Es gab keine statistisch signifikante Korrelation aus dem Alter der Patientinnen und Patienten und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen. ( $p=0,853$ t-Test), ( $p=0,74$ MWU). Die durchschnittliche Operationsdauer belief sich auf 8:03 Stunden (3:00 – 13:26 Stunden). Zusätzliche Folgeeingriffe an der Entnahmestelle waren in 2 Fällen aufgrund der Heilungsverzögerungen notwendig (11%). In 4 Fällen wurde ein kortikoperiostaler Lappen (21%), in 9 Fällen ein kortikospongiöser Knochenlappen (47%) und in 5 ein osteokutaner Compoundlappen (26%) gehoben. Ein Lappen wurde als neuroosteokutaner Compoundlappen entfernt (6%). Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer der 19 Personen betrug 25 Tage (5-111 Tage). Für die Operationszeiten ergab sich im Mann-Whitney-U-Test ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,003$ ) zwischen Empfängerstellen an der oberen Extremität mit durchschnittlich 5:29 Stunden und an der unteren Extremität mit durchschnittlich 9:56 Stunden.

10 dieser 19 PatientInnen konnten für eine Follow-up Untersuchung nach den Kriterien unserer Studie gewonnen werden (53%). Die folgenden Daten beziehen sich nur auf die 10 der 19 Patientinnen und Patienten, die wir auf Entnahmemorbiditäten getestet haben. Der minimale Zeitabstand zwischen Eingriff und Beurteilung der Entnahmestelle betrug 9 Monate, wobei sich die durchschnittliche Zeitdauer auf 26,1 Monate und die maximale auf 35 Monate belief. Unter den 10 Personen, die für ein Follow-up zur Verfügung standen, gab es 3

Raucher. Im Mittel waren die 10 Teilnehmenden 47,8 Jahre alt (27-78 Jahre). Es gab 2 Frauen und 8 Männer, die klinisch auf Entnahmemorbiditäten untersucht wurden. Die Länge der Inzision betrug im Mittel 18,8cm (15,5-21,5cm). Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde von keinem der 10 Teilnehmenden die Langzeiteinnahme von Analgetika angegeben. Keine Patientin und kein Patient musste aus der statistischen Auswertung aufgrund der Ausschlusskriterien exkludiert werden. 3 mediale Femurkondylappen wurden an der linken unteren Extremität, 7 an der rechten entnommen. Darunter waren 2 kortikoperiostale, 4 kortikospongiöse 3 osteokutane und ein neuroosteokutaner Lappen, die für 4 Rekonstruktionen an der oberen Extremität (2 am Kahnbein und 2 am Daumen) und 6 Rekonstruktionen an der unteren Extremität (4 am Sprunggelenk, eine an der Tibia und eine am Calcaneus) herangezogen wurden. Heilungsverzögerungen an der Entnahmestelle traten unter den 10 Patientinnen und Patienten einmal aufgrund eines Hämatoms und dem Verlust von Spalthaut auf. Dieser Defekt wurde bei der Revision ohne Spalthaut direktverschlossen. Wundheilungsstörungen im Empfängerbett traten bei 3 der 10 Teilnehmenden auf. In keinem dieser Fälle kam es zu einem Lappenverlust. 2 dieser 10 Lappenplastiken ging ein Akutgeschehen voraus und wurden notfallmäßig für 2 Defekte am Daumen gehoben. Die durchschnittliche Untersuchungsdauer betrug 22,7 Minuten (17-32 Minuten).

## Larson-Score

Im Larson Score wurden im Durchschnitt 81,25 Punkte (50,5-97 Punkte) erreicht. Im Rahmen der postoperativen klinischen Untersuchung ließ sich bei keinem der 10 Patientinnen und Patienten ein Zohlen-Zeichen (Patellaanpressschmerz) auslösen.

	<b>Altersgruppe</b>	<b>Durchschnitt Larson Score</b>	<b>PatientInnen</b>
<b>1</b>	<40	89,0/100	60%
<b>2</b>	40-60	75,6/100	20%
<b>3</b>	>60	77,0/100	20%

*Tabelle 5: Altersverteilung bei den Ergebnissen des Larson Scores*

Bei der Auswertung des Larson Score fanden sich 6 Personen in Gruppe 1 (>80 Punkte), 2 in Gruppe 2 (60-80 Punkte) und 2 in Gruppe 3 (40-60 Punkte). Keine der Teilnehmenden erreichte Gruppe 4 und Ergebnisse <40 Punkte. Im Durchschnitt erreichten die 10 Patientinnen und Patienten 81,25 von 100 Punkten.

Larson	Alter	Summe			
		>80	60-80	40-60	<40
	<40	3	1		4
	40-60	2	1	1	4
	>60	1		1	2
<b>Summe</b>		<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

*Tabelle 6: Abschneiden der einzelnen Altersgruppen im Larson Score*

Des Weiteren zeigten die Altersgruppen 1 (<40 Jahre) und 3 (>60 Jahre) mit durchschnittlich 89 und 77 Punkten bessere Ergebnisse als die Altersgruppe 2 (40-60 Jahre) mit durchschnittlich 75,6 Punkten, wobei die PatientInnen der jüngeren Altersgruppe deutlich besser abgeschnitten haben. Es bestand kein statistischer Zusammenhang in der Pearson-Korrelation zwischen dem Alter der Personen und deren Ergebnisse des Larson Scores ( $p=0,708$ ). Keine der 10 Untersuchten gab Hinweise auf Meniskus oder Bandschäden im Lachmann, Steinmann und Böhler-Test. Wird die subjektive Beurteilung des funktionellen und biomechanischen Operationsergebnisses durch den VAS für Funktionalität mit den Punktwerten des Larson Score verglichen, stimmen diese durchwegs überein. Es zeigt sich auch ein statistisch hoch-signifikanter Zusammenhang dieser Daten: Sowohl in der Spearman-Korrelationsanalyse ( $p=0,001$ ) als auch in der Multivariatanalyse mit einem Bestimmtheitsmaß von ( $R^2=0,884$ ) und ( $p<0,001$ ).

Larson	VAS	Summe			
		>80	60-80	40-60	<40
1	6				6
2		2			2
3				1	1
4				1	1
5					0
6					0
7					0
8					0
9					0
10					0
<b>Summe</b>		<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

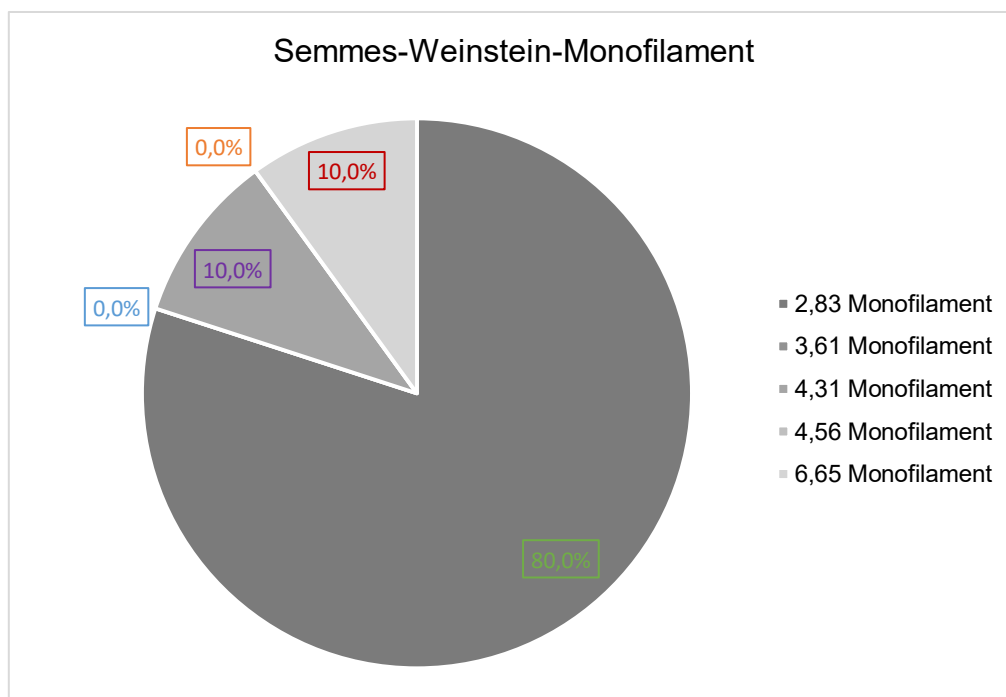
*Tabelle 7: Korrelation zwischen VAS-Funktionalität und Larson*

Für die Rechtfertigung des Larson-Scores in diesem Setting wurden die 10 klinisch untersuchten Patientinnen und Patienten in 2 Gruppen unterteilt. Gruppe 1 beinhaltete alle 4 Personen, bei denen die Entnahmestelle des medialen

Femurkondyllappens an der selben unteren Extremität wie dessen Empfängerbett lag. Beispiel: Entnahme am linken Knie und Implantation am linken Sprunggelenk. Bei den übrigen 6 Patientinnen und Patienten der Gruppe 2 befand sich die Empfängerstelle entweder an der oberen Extremität oder am kontralateralen Bein. Beispiel: Entnahme am linken Knie und Implantation am linken Handgelenk. In der statistischen Auswertung konnte die Nullhypothese beibehalten werden und es ergab sich im Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied dieser beiden Gruppen im Bezug auf die Ergebnisse des Larson-Scores ( $p=0,109$  MWU).

### Das Monofilament nach Semmes-Weinstein

Für die Beurteilung der Sensibilität mit dem Semmes-Weinstein-Monofilament wurden die Teilnehmenden in 5 Gruppen aufgeteilt.



Graphik 3: Ergebnisse der Sensibilitätsprüfung graphisch dargestellt

8 Patientinnen und Patienten hatten normale Sensibilität an der Haut über dem Operationsareal. Ein Patient wies verminderte Berührungssensibilität und ein Patient Verlust der Schutzsensibilität auf. Bei dem zuletzt genannten Untersuchten wurde ein neuroosteokutaner Femurkondyllappen gehoben. Dieser Zusammenhang wurde der Form halber ebenfalls noch statistisch beleuchtet und

die 10 Personen in 2 Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 beinhaltet 9 Teilnehmende, denen bei der Hebung des Lappens kein sensibler Nerv entnommen wurde. Gruppe 2 setzt sich aus jenem Patienten zusammen, dem ein sensibler Hautnerv entnommen wurde. Im Bezug auf die Sensibilitätsmessung ergab sich im Mann-Whitney-U-Test eine statistisch signifikante Korrelation mit diesen beiden Gruppen ( $p=0,025$ ).

SW-Gruppe	6,65	4,56	4,31	3,61	2,38	Summe
Nerv ex	1					1
Nerv in vivo			1		8	9
Summe	1		1		8	10

*Tabelle 8: Sensibilitätsverlust bei Nervenentnahme*

In der Schmerz- und Sensibilitätsprüfung mit SW ließ sich bei keiner Patientin und bei keinem Patienten Allodynie oder Hyperästhesie erheben. Keiner der 10 Personen klagte über Schmerzsymptomatik bei der Testung der Sensibilität.

### Vancouver Scar Scale

Bei der Analyse der Ergebnisse aus dem Vancouver Scar Scale erreichten die Patientinnen und Patienten durchschnittlich 1,9 von 13 möglichen Punkten (0-6 Punkte). 2 Personen erreichten den am besten eingestuftem Wert von 0 Punkten. Ein Patient erreichte 6 Punkte. Dieser Patient erlitt während des stationären Aufenthaltes an der Entnahmestelle eine Heilungsverzögerung. Vergleicht man auch hier die subjektiv erhobenen Daten durch den VAS für Ästhetik mit den semiquantitativen Werten des VSS, lässt sich eine weitgehende Übereinstimmung feststellen.

VSS	VAS 1-10								Summe
	0	1	2	3	4	5	6		
1	2	2	2	2					8
2		1							1
3							1		1
4									0
5									0
6									0
7									0
8									0
9									0
10									0
<b>Summe</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>		<b>10</b>

Tabelle 9: Korrelation zwischen VAS-Ästhetik und VSS

Auch statistisch lässt sich hier mit der Pearson-Korrelation ein Zusammenhang herstellen ( $p=0,034$ ).

Ein Vergleich der Personen mit Heilungsverzögerungen an der Entnahmestelle und dem Ergebnis des Vancouver Scar Scales zeigt im t-Test ebenfalls signifikante Zusammenhänge ( $p=0,005$ ).

VSS	Heilungsverzögerung							Summe
	6	5	4	3	2	1	0	
Ja	1							1
Nein				2	2	3	2	9
<b>Summe</b>	<b>1</b>			<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

Tabelle 10: Korrelation zwischen VSS und Heilungsverzögerung

So erzielt die Gruppe ohne Heilungsverzögerung mit durchschnittlich 1,4 Punkten deutlich bessere Ergebnisse als der Patient mit Wundheilungsstörungen und 6 Punkten. Auch diese Bewertung wurde der Vollständigkeit halber durchgeführt und kann als Anstoß für größere Studien gesehen werden.

## Visual Analogue Scale

Bei der Erhebung des Visual Analogue Scale for satisfaction wurden 2 Teilergebnisse beurteilt.

Die Befragung nach der ästhetischen Zufriedenheit ergab einen durchschnittlichen Wert von 1,3 Punkten (1-3 Punkte). 8 Personen beurteilten das Ergebnis mit

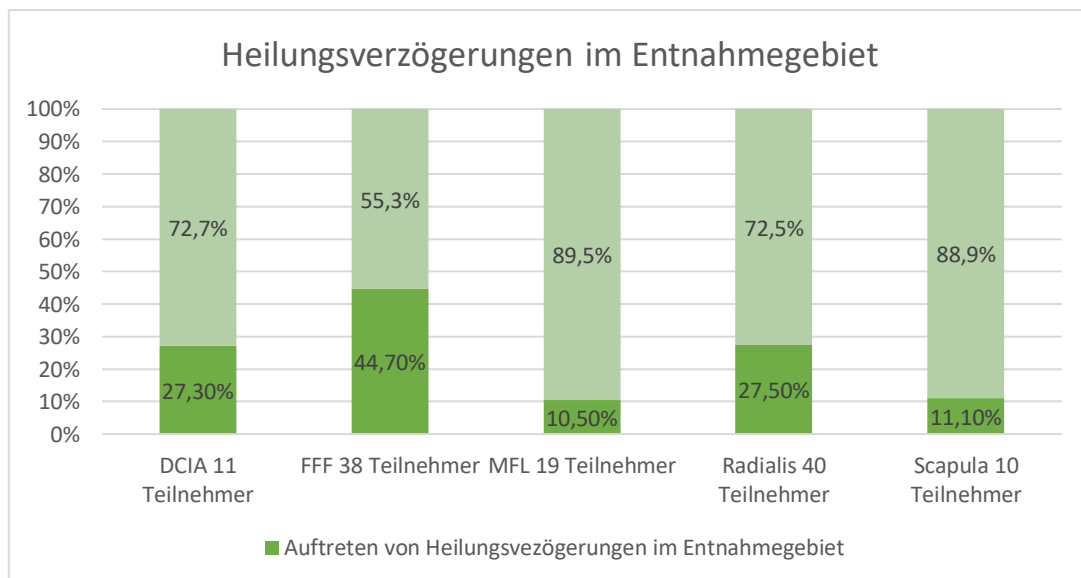
maximaler Zufriedenheit und vergaben 1 Punkt. Eine Patientin vergab 2 und ein Patient 3 Punkte.

Bei der subjektiven Beurteilung der funktionellen und physikalischen Zufriedenheit bewerteten die Patientinnen und Patienten mit durchschnittlich 1,7 Punkten (1-4 Punkte). 6 Personen vergaben 1 Punkt, 2 Personen beurteilten das funktionelle Ergebnis mit 2, eine Patientin mit 3 und ein Patient mit 4 Punkten. Eines unserer Resultate ist ein ceiling effect von 60%.

Zwischen den Ergebnissen der beiden Visual Analogue Scales ergibt sich mit der Spearman-Korrelation ein p-Wert von 0,039 und somit ein signifikanter Zusammenhang. Eine vollkommene Unabhängigkeit zwischen den Bewertungen der beiden subjektiven Parameter durch die einzelnen Patientinnen und Patienten ist somit nicht gegeben.

### Gegenüberstellung mit vergleichbaren Methoden

Im Vergleich der Entnahmemorbiditäten mit dem Freien Fibulalappen 44,7%, dem Arteria circumflexa ilium profunda Lappen 27,3%, dem Scapula Lappen 11,1% und dem Radialis Lappen 27,4% schneidet der mediale Femurkondyllappen mit einem Auftreten von Heilungsverzögerungen im Entnahmegebiet von 10,5% ab.



Graphik 4: Heilungsverzögerungen im Entnahmegebiet verschiedener Lappenplastiken im Vergleich

## Metaanalyse anatomischer Parameter

Mit der Metaanalyse der Parameter aus den insgesamt 15 anatomischen Studien, die bereits im Kapitel „Anatomische Grundlagen“ aufgelistet sind, konnten wir folgende Ergebnisse erheben:

Parameter	Prozent / Mittelwerte	Kadaver	Studien
Dubois I	63%	148	5
Dubois Ia	19%	148	5
Dubois Ib	14%	148	5
Dubois Ic	30%	148	5
Dubois II	35%	148	5
Dubois IIa	5%	148	5
Dubois IIb	15%	148	5
Dubois IIc	15%	148	5
Dubois III	2%	148	5
ADG Vorhanden	89%	277	8
ADG Abgangshöhe	14,11cm	339	9
ADG bis Periost	9,21cm	259	7
ADG Länge	1,57cm	272	7
ADG Durchmesser	2,21mm	301	8
RA Länge	7,88cm	212	5
RA Durchmesser	1,17mm	135	2
RS Vorhanden	95%	282	10
RS Länge	11,92cm	117	4
RS Durchmesser	1,39mm	234	6
RM Länge	3,21cm	76	3
RM Durchmesser	1,39mm	171	3

*Tabelle 11: Ergebnisse der Metaanalyse über 15 anatomische Studien*

Die Abgangsmuster nach Dubois konnten aus 5 (27,48,52,54,138) der 15 Arbeiten gemittelt werden. Das Fehlen der Arteria descendens genus wurde in 8 Studien (31,43,48,49,54,58,138,139) untersucht. Die Abgangshöhe der ADG aus der Arteria femoralis superficialis proximal der Kniegelenkslinie wurde in 9 Arbeiten (24,31,43,47-49,68,138,139) erhoben. Das Ausmaß der ADG von ihrem Ursprung bis zu den periostalen Aufzweigungen des Ramus articularis konnte aus 7 Studien (27,31,48,49,58,138,139) entnommen werden. Mit der Länge dieser Arterie setzten sich 7 Studien (27,31,48,68,138-140) und mit dem Durchmesser 8 Studien (27,31,47,48,68,138-140) auseinander. Die Länge des Ramus articularis ließ sich aus 5 Studien (27,31,48,138,139) und der Durchmesser aus 2 Arbeiten (31,138) erheben. Die Parameter des Ramus saphenus wurden bezüglich seiner Länge aus

5 Veröffentlichungen (48,49,51,138,139), seines Durchmessers aus 6 Studien (31,47,49,51,138,140) und seiner Existenz aus 10 Studien (24,43,47-49,51,68,138,139) zusammengetragen. Der Ramus muscularis wurde in 3 Studien (48,138,139) auf seine Länge und in 3 Studien (27,31,138) auf seinen Durchmesser untersucht.

## Fallbericht

Abschließend beschreibe ich einen Fall aus der klinischen Praxis:

### Zusammenfassung

Ein 48-jähriger Patient mit Pseudarthrose am linken Unterschenkel wird an der Abteilung für plastische und rekonstruktive Chirurgie vorgestellt. Aufgrund der Größe des Defekts, entschließt man sich, mit einem freien Knochentransplantat an das Problem heran zu gehen. Die Wahl fällt auf den medialen Femurkondyllappen, über dessen Möglichkeiten ich in diesem Case report sprechen möchte. Eine der Besonderheiten dieses Falls ist der Einsatz eines so genannten Fenstermonitorings. Diese Technik ermöglicht die schnelle Vitalitätskontrolle des unter die Haut platzierten Knochenlappens, da dieser aus dem selben Gefäß wie das darüber liegende Hautfenster gespeist wird.

### Einleitung und Anatomie

Vaskularisierte Knochentransplantate wurden erstmals 1974 von Östrup und Fredrickson(20) experimentell beschrieben und schon kurz darauf in klinischen Settings erprobt. Die Rolle dieser Transplantate ist besonders in Gegenwart von schwerwiegenden Knochendefekten sehr wichtig. Die Rekonstruktion der langen Röhrenknochen brachte unter anderem den freien Fibulalappen hervor, der wohl der am weitesten verbreitete seiner Art ist.

Handelt es sich um einen großen Knochendefekt, können die Fibula, der Darmbeinkamm oder die Scapula als Entnahmestellen dienen. Bei kleineren und kompliziert geformten Schädigungen der Knochensubstanz eignet sich ein Transplantat aus der (supra-) kondylären Region des Femurs.(38)

Die Rekonstruktion von kleinen Knochendefekten ist seit Langem eine schwierige Aufgabe. Ist der Defekt länger als 6cm, wird von Seiten der Literatur ein vaskularisierter Knochentransfer empfohlen. In diesen Fällen empfiehlt sich nun der Einsatz des freien Fibulalappens als sicherste und populärste Option. Jedoch können abhängig von der Kondition des zu deckenden Defekts auch andere Spenderregionen in Erwägung gezogen werden. Abgesehen von den vielfältigen Möglichkeiten, die ein medialer Femurkondyllappen zu bieten hat, ist einer der Nachteile dieser Technik die immense Variabilität in der Gefäßanatomie der

kniegelenksversorgenden Arterien. Nur fundiertes Wissen und Verständnis über diese Region machen es möglich, die sichere Entnahme eines Lappens durchzuführen. (48)

Die suprakondylaren und epikondylaren Regionen des medialen Femurs werden aus der Arteria descendens genus (ADG) sowie die Arteria superior medialis genus versorgt.(58)

Die ADG wiederum entspringt aus der Arteria femoralis am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel des Oberschenkels. Die Haut über diesem Areal wird durch den Ramus saphenus der ADG versorgt. Die Rami articulares aus der ADG und deren Begleitvene verzweigen sich im Periost des Kondyls und in einer dünnen 0,5-1mm dicken Schicht in der Kortikalis zu einem dichten Gefäßnetz, was die Entnahme eines kortikoperiostalen Lappens ermöglicht. Dieses Transplantat kann auch zu einem vaskularisierten periostal-Knochenlappen erweitert werden, welcher die komplette Schicht der Substantia compacta sowie der darunter liegenden Substantia spongiosa enthält.

## Der Patient

Erstmalig wird der 48-jährige männliche Patient aufgrund des aktuellen Beschwerdebildes am 04.12.2015 in der Erstversorgung der Abteilung für Unfallchirurgie Wels vorstellig. Es zeigt sich eine Prellmarke am distalen linken Unterschenkel medialseitig mit den Ausmaßen von 2x2cm. Das Röntgen weist auf eine Pilonfraktur in der entsprechenden Region hin. Bei dieser Art von Frakturen handelt es sich um intraartikuläre Brüche der distalen Tibia mit Substanzverlust.(141) Anamnestisch lässt sich eine Dekompression und Stabilisierung der Lendenwirbel L2 bis L5 im Jahr 2011 erheben. Seither leidet der Patient unter Missempfindungen im linken Bein. Des Weiteren berichtet er von diversen Verletzungen im Bereich der linken unteren Extremität. Es handelt sich hierbei um eine Fraktur des Fersenbeins im Jahr 2013 sowie einem knöchernen Ausriss des Seitenbandes medialseitig am zweiten Metatarsophalangealgelenk im Juli 2015. Aufgrund der Schwere der aktuellen Fraktur ist an eine konservative Therapie nicht zu denken und es erfolgt eine offene Reposition und Stabilisierung des Gelenkblocks in Allgemeinnarkose. Der Frakturspalt kann mit Zugschrauben geschlossen werden und das Schienbein wird mit einer winkelstabilen Platte fixiert. Postoperativ entwickelt sich jedoch in den darauf folgenden Tagen eine

Pseudarthrose der Tibia aufgrund einer avaskulären Knochennekrose. Das Bein wird mit einem Fixateur extern ruhig gestellt und die Abteilung für plastische und rekonstruktive Chirurgie mit der Fragestellung einer autologen Knochentransplantation kontaktiert. Der Patient reagiert auf die Empfehlung einer erneuten Operation vorwiegend negativ, lässt sich aber von dem zu erwartenden Resultat überzeugen und stimmt dem Eingriff zu.



Abbildung 23: Pseudarthrose der Tibia

### Die Therapie: Operation

Die gesamte Operation erfolgt in Allgemeinnarkose mit endotrachealer Intubation. Der Patient wird nach der Einleitung in Rückenlage belassen und der Tisch leicht nach links geneigt. Das linke Bein wird von der Leiste abwärts steril gewaschen und eine Blutsperrle in der Mitte des Oberschenkels angelegt.

Der zu deckende Defekt am linken Innenknöchel wird mit Skalpell und scharfem Löffel sorgfältig debridiert und die Wundränder neu ausgeschnitten. Am Knochen wird mit Luer und Säge für frische Kontaktflächen zum später eingebrachten Knochentransplantat gesorgt. Die Wunde wird gründlich mit Kochsalzlösung gespült und das Ausmaß des Knochendefekts genau vermessen. Es handelt sich um eine

3x3cm an der Oberfläche messende und 3cm in die Tiefe reichende Wundhöhle der distalen Tibia. Die Grundfläche des Defektes in der Tiefe misst 1,5x2cm. Der zu verschließende Hautdefekt hat die Ausmaße von 13x5cm und läuft nach proximal spitz zu. Die Empfängerstelle wird vorerst mit feuchten Tüchern abgedeckt.

Die Entnahmestelle an der Innenseite des distalen linken Oberschenkels bzw. Knies wird als eine 17cm lange und 7cm breite spindelförmige Figur an der Haut angezeichnet. Diese Hautinsel wird später als Monitorfenster dienen, um die Vitalität des Lappens in der Verlaufskontrolle besser beurteilen zu können und ebenfalls zur Deckung des Weichteildefekts herangezogen werden. Nun schließt man die zuvor am Oberschenkel angebrachte Blutsperrung mit einem Druck von über 200mmHg. Der Schnitt erfolgt mit 10er Skalpell zunächst entlang der ventralen Konvexität der Anzeichnung. Die auftretenden Hautblutungen werden mit der bipolaren Pinzette gestillt und anschließend mit dem monopolaren Kauter weiter in die Tiefe präpariert. Wenig später trifft man auf die Innenseite des Musculus vastus medialis und es wird mit dem Hautschnitt und der Präparation an der dorsalen Anzeichnung begonnen. Unter Rücksichtnahme der hier verlaufenden Vena saphena magna und ihrem Begleitnerven wird in selber Art und Weise vorgegangen.



*Abbildung 24: Entnahme und Empfängerstelle*

Kurz darauf blickt man auf die Faszien der Musculi gracilis und semitendinosus. Es wird nun mit dem Kauter weiter von dorsal nach ventral präpariert und die Ansatzsehne des Musculus adductor magnus dargestellt. Sie setzt am Epicondylus medialis femoris an und bildet eine frontal stehende Grenze zwischen ventralen und

dorsalen Femuranteilen. Etwa im mittleren Anteil der Wunde wird ein Gefäß sichtbar. Es handelt sich hierbei um die direkt aus der Arteria femoralis entspringende Arteria descendens genus, die einen Perforatorast zur Haut, einige Muskeläste und einen Ramus Richtung medialen Femurkondyl abgibt. Parallel zu diesem Gefäß laufen 2 Begleitvenen, die in die Vena femoralis drainieren. Mit Hilfe eines Wundspreizers wird die Sicht auf die angefertigte Wundhöhle verbessert und der inzwischen beinahe vollends abgehobene Hautlappen mit Klammern fixiert. Unter Schonung des Gefäßbündels wird in Richtung dessen Ursprungs in die Tiefe präpariert und die Arterie auf einer Länge von etwa 6cm dargestellt. Nun verfolgt man das Gefäß weiter zum Femurkondyl, wo es mit der Arteria superior medialis genus anastomosiert und sich in mehrere feine, parallel zueinander nach dorso-distal am Periost verlaufende Endäste aufzweigt. Unter Berücksichtigung einer optimalen Gefäßversorgung des Knochentransplantats wird nun ventral der Ansatzsehne des Adductor magnus eine - analog zum Defekt - 3x3cm große Anzeichnung am Kondyl angefertigt und das Periost in einem Abstand von etwa 1cm um das Quadrat herum mit dem Kauter durchtrennt.

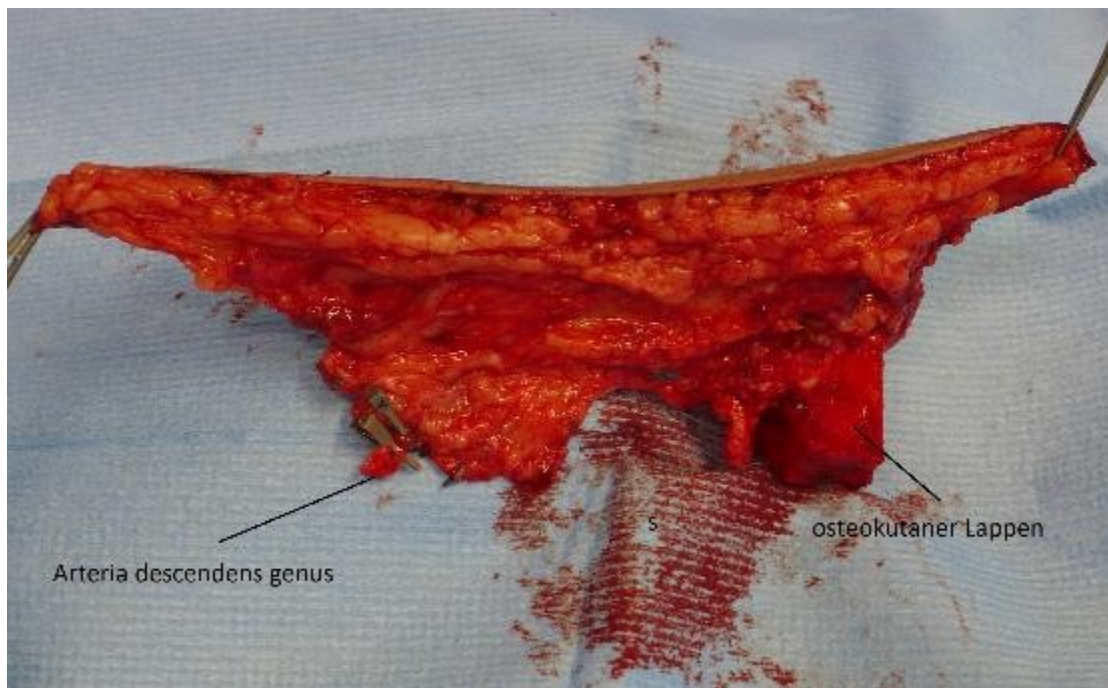


Abbildung 25: Osteokutaner Lappen mit Gefäßstiel

Mit dem Raspatorium hebt man das Periost nun leicht vom Knochen ab und unterminiert es in Richtung Entnahmestelle. Somit kann eine etwas größere Fläche an Periost, das für die Durchblutung des Knochens entscheidend ist, zur Verfügung

gestellt werden. Mit der Säge wird nun der Knochenkeil mit den vorhin erhobenen Dimensionen vorsichtig ausgeschnitten und entnommen. Minimale Blutungen aus der Kortikalis des Präparats weisen auf eine suffiziente Perfusion und somit Vitalität des Lappens hin. Auch der Hautanteil wird auf ausreichende Blutversorgung geprüft. Es zeigt sich eine physiologische Rekapillarierungszeit von 2 Sekunden. Der entstandene Knochendefekt im Femur wird mit Spenderknochen aus der Knochenbank aufgefüllt. Zur Rekonstruktion solch iatrogenen Resektionen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Boviner Knochen vom Rind, Zement oder aus Hüftköpfen entnommene Knochensubstanz bieten sich an.

Um bei einer orthopädischen Implantation von Hüftprothesen die Einbringung des Gelenkersatzes zu ermöglichen, muss bei diesen Operationen das Caput femoris entnommen werden. Sofern der Spender kein Träger von Infektionskrankheiten, und der Knochen noch vital ist, kann sein Hüftkopf der Knochenbank überlassen werden.(142)

Vor der vollständigen Entnahme des Lappens, werden nun die Gefäße am Empfängerdefekt auf die Anastomosierung vorbereitet. Unter Zuhilfenahme des Mikroskops und Mikroinstrumenten werden die Arteria- sowie die Vena tibialis posterior auf einer Länge von 4cm in der Regio retromalleolaris medialis dargestellt und skelettiert. Es zeigen sich zu der Arterie wieder 2 gleichermaßen verlaufende Begleitvenen, die mit kleinen Gefäßklemmen markiert werden.

Weiter proximal zurück an der Entnahmestelle wird das Gewebe nun als Composite Lappen unter dem Mikroskop abgesetzt und der Gefäßstiel mit entsprechenden Klemmen (A und V) markiert. Der Lappen kann nun entnommen und begutachtet werden. Die verbleibenden Gefäßstümpfe werden zuvor mit Klips ligiert und die Wunde mit isotoner Kochsalzlösung ausgespült. Der Entnahmedefekt kann unter geringer Spannung direkt verschlossen werden, wobei die Wundränder schichtweise zunächst mit Vicryl 1-Fasziennähten, Vicryl 2-0-Subkutannähten angenähert und schließlich mit Hautklammern verschlossen werden. Der entnommene Knochenkeil wird nun in den Defekt der Tibia eingelegt und durch wenige, zarte Schläge mit Hammer und Schlägel fixiert. Die finale Osteosynthese erfolgt mit 3 Kirschnerdrähten, die von kranial und medial eingebracht werden. Der Hautlappen wird aus Gründen der Zugentlastung vorerst wieder mit Klammern am Unterschenkel fixiert.

Unter dem Mikroskop kann nun mit der Mikroanastomosierung begonnen werden. Die Lumina der Lappengefäße werden mit einer stumpfen Nadel und Magnesiumlösung, die der Erweiterung dient ausgespült und die Schnittfläche neu angefrischt. Zunächst wird eine Lappenvene mit einem Seitenast der Vena tibialis posterior End-zu-End anastomosiert. Hierbei wird mit der Hinterwand des Gefäßes begonnen. Der Einstich mit der Nadel muss so erfolgen, dass die Naht und der Knoten nicht im Gefäßlumen zu liegen kommen. Für die Anastomosierung kommt Ethilon 9-0 zur Anwendung. Nun erfolgt die End-zu-Seit Verbindung zur Arterie, wobei das Ende der Lappenarterie an die Seitenwand der Arteria tibialis posterior genäht wird. Es empfiehlt sich, die zuführenden, arteriellen Gefäße auf diese Art und Weise zu anastomosieren, da der Lappen so nur mit der für ihn notwendigen Blutmenge versorgt wird. Dadurch vermindert sich das Risiko einer zu starken Perfusion und daraus eventuell resultierenden venösen Stauung durch unzureichenden Abtransport. Anschließend wird die zweite Vene wieder End-zu-End an der Begleitvene der Arteria tibialis posterior angeschlossen. Trotz der Risikoverminderung zeigt sich nun ein Ungleichgewicht zwischen venösem Abfluss und arterieller Zufuhr. Stromaufwärts der ersten venösen Anastomose präsentiert sich eine dezente Ausweitung der Lappenvene. Um eine bessere Drainage zu erreichen, wird das Lumen eines bereits mit Clip ligierten Seitenastes dieser gestauten Vene wieder eröffnet und mit der zweiten Vene End-zu-Seit vernäht. Die Erweiterung wird sichtbar geringer. Da der Lappen nun suffizient perfundiert ist, kann mit der Einpassung des Weichteilgewebes begonnen werden. Der fasziokutane Anteil des Lappens wird der zu deckenden Wundfigur angepasst, wobei der dorsoproximale Ausläufer des Defektes durch einen random-pattern-flap am Lappen gedeckt wird. Ein weiterer Anteil muss primär mit Epigard verschlossen werden. Die Wundränder werden schichtweise mit Vicryl-3-0 vernäht und die Haut auch hier mit Metallklammern verschlossen. Dies hat den Hintergrund, bei einer möglichen operativen Revision möglichst schnell wieder an die Mikroanastomosen zu gelangen, um diese überprüfen zu können. Die Wunden werden trocken mit sterilen Tupfern und Watte verbunden, wobei auf den Einbau eines sogenannten Lappenfensters zu achten ist.

## Nachbehandlung

Postoperativ wird der Patient 24 Stunden intensivmedizinisch betreut, wobei zu Beginn ein 30-minütiges und später 60-minütiges Intervall zwischen den Lappenkontrollen einzuhalten ist. Der Lappen zeigt sich vital und gut durchblutet. Vier Tage nach der Operation kann die mit Epigard bedeckte Region durch eine Spalthauttransplantation vom Oberschenkel final verschlossen werden. Eine intravenöse Gabe von 1,5g Cefuroxim zwei Mal täglich ist die erste Woche nach der Operation obligat und dient als Antibiotikaphylaxe. Nach 15 Tagen kann nun mit dem Lappentraining begonnen werden, wobei der Patient die operierte Extremität am ersten Trainingstag 15 Minuten am Stück pro Stunde tief lagern soll. Dieses Zeitfenster wird täglich um 3 Minuten verlängert. Der Patient darf sich während der Trainingszeit auch mit Krücken im Dreipunktgang fortbewegen. Die restliche Zeit darf das Bein im Bett oder Rollstuhl nur horizontal gelagert werden.



Abbildung 26: Entnahmestelle 3 Tage post OP



Abbildung 27: Empfängerstelle 3 Tage post OP

Aufgrund der kurzen Länge des Defekts wurde eine freie Fibula als nicht angemessener erachtet. Ein durchblutetes Rippentransplantat wäre aufgrund seiner biomechanischen Schwächen und seiner gekrümmten Form nicht gewählt. Der vaskularisierte mediale Femurkondyl wurde aufgrund seiner passenden Größe und Form und in der Literatur beschriebenen niedrigen Entnahmemorbidität gewählt.

Zumeist wird der MFC-Lappen als dünnes kortikoperiostales Transplantat gehoben. Seine Größe ist hierbei mit 5x9cm limitiert.(65)

## Diskussion

Vaskularisierte Knochenlappen können aus einer Vielfalt von Entnahmestellen gewonnen werden wie beispielsweise der Fibula, der Crista iliaca, dem distalen Radius dem Metatarsus und Metacarpus sowie den Femurkondylen.

Durch die Präparation des Gefäßstiels und dem Aufsuchen wichtiger anatomischer Landmarken verlängert sich die Operationsdauer bei gestielten oder freien vaskularisierten Lappen gegenüber ihren nicht-durchbluteten Verwandten deutlich. Die vorhersagbare gute Erfolgsrate und die Möglichkeit, auch andere Gewebe wie Muskel und Haut zum Wundverschluss im Empfängerbett heranzuziehen, können diese verlängerte Operationsdauer kompensieren. Ein weiterer Nachteil sind die hohen mikrochirurgischen Ansprüche, die an den Operateur im Vergleich zu konventionellen Techniken mit interner Fixation gestellt werden. Aber auch hier spricht die Erfolgsrate für sich und kann die erhöhte Schwierigkeit des mikrovasculären Eingriffs ausgleichen.(36)

Die radiologisch beurteilte Knochenheilung in der von Cavadas(36) veröffentlichten Studie ist deutlich kürzer als bei konventionellen Herangehensweisen mit nicht-vaskularisierten Knochentransplantaten. Das unterschiedliche biologische Verhalten der durchbluteten und nicht-durchbluteten Knochenlappen kann dieses Phänomen erklären.

Es gibt zwei Gründe vaskularisierten Knochen für die Behandlung von Pseudarthrosen zu verwenden. Erstens sind durchblutete Transplantate zuverlässiger und heilen schneller ein als ihre nicht-vaskularisierten Pendanten(143) und zweitens kann ein durchbluteter Knochenkeil Hilfestellung bei der Revaskularisierung von avaskulären Fragmenten leisten.(144) Vaskularisierte Knochenlappen versprechen eine kürzere Immobilisationsdauer und eine höhere Knochenheilungsrate als nicht-vaskularisierter Knochen unter der Bedingung, dass andere Faktoren wie die Transplantatgröße, Form und Stärke ident sind. Zusätzlich ist für eine zuverlässige Knochenheilung zwischen dem Transplantat und den avaskulären Fragmenten eine adäquate Immobilisation für über 3 Wochen notwendig.(1)

Die Auswahl der am besten geeigneten Entnahmestelle ist multifaktoriell. Überlegungen müssen die Größen- und Formübereinstimmung zwischen

Empfänger- und Spenderstelle, die strukturellen Charakteristika des Transplantats, die mechanischen Ansprüche des Defekts, die Nähe zur potentiellen Entnahmestelle, die Notwendigkeit einer Anastomose, den Durchmesser der Entnahme- und Empfängergefäße, die Frage der Ästhetik und das Erfordernis einer Weichteildeckung, die Dauer der Prozedur und die Entnahmemorbiditäten berücksichtigen.(13)

Der freie kortikoperiostale Femurkondylappen hat in den letzten 20 Jahren aufgrund seiner Vorteile wie dem Erhalt aller großen Arterien, die distale Anteile des Beines versorgen, der gut anpassbaren Form, der Möglichkeit in zwei Teams zu operieren und seines osteogenetischen Potenzials viel Aufmerksamkeit erlangt. Er wird üblicherweise als ein gut verformbarer vaskularisierter kortikoperiostaler Lappen gehoben der sich ideal an kleine Pseudarthrosen mit wenig oder keinem Knochendefekt anschmiegen lässt. Bei diesen Fragestellungen bietet er eine Lösung für die größere und äußerst etablierte vaskularisierte Knochenlappen, wie die freie Fibula oder die Crista iliaca, eine höhere Morbidität und niedrigere Erfolgsraten riskieren würden, da sie nur schwierig an kleine irreguläre Knochendefekte anzupassen sind. Das ist einer der Gründe, warum dieser Lappen große Aufmerksamkeit in der Behandlung von persistierenden Pseudarthrosen des Skaphoids erlangt hat, bei der andere freie vaskularisierte Knochenlappen nicht eingesetzt werden können. Allgemein wird diese Technik häufiger für Rekonstruktionen an der oberen Extremität angewendet.(43)

Die Entnahme eines kleinen periostalen Knochenlappens aus dem medialen Femurkondyl produziert keinen prominenten Knochendefekt. Die Narbe befindet sich auf der medialen, ästhetisch weniger auffälligen Innenseite des Beines. Durch die korrekte Hebung dieses Lappens werden keine vaskulären Einschränkungen im Entnahmegebiet verursacht. Der Durchmesser der Arteria descendens genus ist mit etwa 2mm ideal geeignet für mikrovaskuläre Anastomosen.(5)

Verschiedene Studien versuchen den Chirurgen auch dahingehend zu unterstützen indem die Regionen mit der höchsten Dichte an kortikoperiostalen Perforatoren beschrieben werden(24,25,27,28,47,121)

Neben den unbestreitbaren Vorteilen, die diese Entnahmestelle bietet und der vielseitigen Einsetzbarkeit des medialen Femurkondylappens machen

rekonstruktive Chirurgen nur bedingt von dieser Möglichkeit Gebrauch. Dafür sind vor allem die breit gefächerten anatomischen Variationen der Arteria descendens genus und ihrer Abgänge verantwortlich. Die Gefäßanatomie der periostalen Versorgung an sich ist jedoch vergleichsweise wenigen Variationen unterworfen. In bis zu 85% der Fälle, bei denen an den Einsatz eines Femurkondylappens gedacht wird, werden auch andere Gewebearten zur kompletten Defektdeckung benötigt. Tiefes Verständnis und Wissen über diese anatomische Region machen es aber möglich verschiedene Arten von Lappenplastiken aus dem medialen Femurkondyl zu heben.

Auch die proximale Ausdehnung des Versorgungsgebietes aus dem deszendierenden medialen Kniegelenksgefäßsystem wird in Studien behandelt.(4)

Wenn auch noch kein experimenteller Zusammenhang zwischen dem Überleben von hyalinem Gelenksknorpel und der Blutversorgung der darunterliegenden periostalen und knöchernen Strukturen hergestellt werden konnte, belegt eine Studie den Zusammenhang zwischen dem Überleben des Knorpels und dem Vorhandensein einer vitalen Knochen-Knorpel Schnittstelle. Das Überleben des Knochens wiederum konnte experimentell in Zusammenhang mit suffizienter Vaskularisation gestellt werden. Es kann die Hypothese aufgestellt werden, dass ein gesunder blutversorgter Knochen auch über diese Schnittstelle zum Überleben des Knorpels oder zumindest der tief gelegenen Knorpelschichten beiträgt.

Jede neue vaskularisierte Lappenplastik benötigt neben der anatomischen Grundlagenforschung und der Entwicklung einer Operationstechnik ebenso eine gründliche Analyse der Entnahmestellenmorbidityäten um eine ganzheitliche Aussage über den tatsächlichen Nutzen der Prozedur geben zu können.

Die Entnahme des medialen Femurkondylappens beinhaltet üblicherweise Periost und eine dünne darunterliegende kortikale Schicht, um ein flaches Transplantat zu erhalten, das als biologische Manschette um eine Pseudarthrose mit wenig oder keinem Substanzdefizit gewickelt werden kann.(25)

Außerdem ermöglicht der mediale Femurkondyl zudem noch die rasche Entnahme eines vaskularisierten dreidimensionalen Knochenlappens mit einem günstigen kortiko-spongiösen Verhältnis(84), zuverlässigen und gehaltvollen Gefäßstil(4,47)

und der optionalen Möglichkeit einer Hautkomponente. Zudem lässt sich die Entnahmestelle üblicherweise leicht primär verschließen.

Diese Eigenschaften ermöglichen den Einsatz dieses Verfahrens nicht nur in kleinen atrophen Pseudarthrosen, sondern auch in größeren kortikospongiösen segmentalen Knochensubstanzverlusten.(75)

Die Wiederherstellung der mechanischen Stabilität und biologischen Funktionalität ist essenziell für einen erfolgreichen Wiederaufbau. Bei Patientinnen und Patienten mit kleinen Defekten unter 3cm kann auf den Gebrauch von großen Knochentransplantaten wie der freien Fibula verzichtet werden. Das kann deutliche Vorteile in Bezug auf Entnahmemorbiditäten bedeuten. Instabilitätsgefühle im Bein, Sprunggelenkssteifigkeit, Zehenkontrakturen und Verletzungen der Nervi peronei als typische Folgeerscheinungen des Fibulalappens können somit umgangen werden.(50,145)

Aber auch bei größeren Defekten wurde der mediale Femurkondylappen bereits erfolgreich eingesetzt.

Kürzlich veröffentlichte klinische Serien haben gezeigt, dass dieser Lappen auch als kortikospongöses Transplantat von bis zu 10cm Länge anwendbar ist. (4,43,73,74)

Dieser Knochenlappen kann universell eingesetzt werden und findet ebenfalls in der Behandlung von Pseudarthrosen der Mandibula, Clavicula, des Humerus, der Tibia und im Bereich der Mittelhand- und Fußknochen Anwendung.(2)

Die im Folgenden zitierte Studie hat sich mit den Limitationen der Perfusion des Periosts aus der Arteria descendens genus ausgiebig beschäftigt und stellt die Vermutung an, noch größere knöcherne Defekte von bis zu 13,7cm könnten mit dieser Methode gedeckt werden.(4)

Die Technik der Lappenhebung von Knochenfragmenten dieser Größe basierend auf der Arteria descendens genus wirft unserer Einschätzung nach die Frage nach den Auswirkungen des Substanzverlustes am Femur auf das Kniegelenk und den Morbiditäten des medialen Femurkondylappens auf, insbesondere knöcherne Veränderungen und ein dadurch erhöhtes Risiko von iatrogenen Frakturen sowie Einschränkungen des betroffenen Kniegelenks durch eventuell assoziierte Abnützungen und Arthritis.

Große flexible kortikoperiostale Lappen oder kleinere strukturelle kortikospongiöse Transplantate können aus dieser Region entnommen werden. In der Literatur wird die Entnahmemorbidity als minimal beschrieben.(72)

2013 konnte eine ebenfalls zu diesem Thema veröffentlichten Studie zeigen, dass die Knochenregeneration ein Jahr nach durchgeführter Entnahme nur minimal war. Der Verzicht von bovinem Knochen zur Auffüllung der Entnahmestelle machte die Beurteilung nach der Knochenregenerationskapazität möglich.(75)

Die Patientinnen und Patienten Bürgers gaben nur minimale oder keine Schmerzen im Kniebereich der Entnahme an, genaue Aussagen konnten aufgrund des kurzen Follow-up von mindestens 6 Monaten jedoch nicht gemacht werden. Bürger empfiehlt eine subjektive und radiologische Kontrolle der Entnahmestelle.(37)

Die Entnahmestelle an der unteren Extremität verlangte in keinem seiner 16 Fälle eine Immobilisation oder Therapie. In den ersten 4 Wochen bis 3 Monaten nach dem Eingriff berichteten alle 16 Teilnehmenden über Beschwerden im Entnahmegebiet. Danach kam es jedoch zu einer vollständigen Auflösung der Schmerzen und präoperative Aktivitäten inklusive Sport konnten wieder ausgeübt werden.(29)

Cavadas(36) formuliert die Entnahmemorbidity mit 19% und vier Fällen als gering. Es handelte sich um vorübergehende sensible Einschränkungen und Taubheit in der medialen Kniegelenksregion, die nach wenigen Monaten spontan verschwanden. Kondyläre Frakturen oder gelenksspezifische Beschwerden, traten nicht auf. Doi, Wong und Fuchs(14,71,101) geben nur kurze Angaben zur Entnahmemorbidity. So gab es laut den Autoren keine Patientinnen oder Patienten mit Langzeitbeschwerden an der Entnahmestelle.

Eine postoperative Überprüfung des medialen Kniegelenksbereichs von Grant(5) ergab keine Auffälligkeiten. Welche Untersuchungen durchgeführt wurden, wird jedoch nicht besprochen.

Jones(15) beschreibt die Entnahmemorbidity und Komplikationen aus dem Spendergebiet als rar. Hautabszesse im Bereich der Nähte und Wunddehiszenzen sowie Dysästhesien im Bereich des Nervus saphenus gehören zu den seltenen Morbidity an der Kniegelenksinnenseite nach der Operation.

Eine Patientin aus der Fallserie von Kakar(50) erlitt Entnahmemorbiditäten in Form eines Seroms an der Innenseite des Knies, das mit Spülung und Debridement behandelt wurde und folgenlos abheilte. Die Teilnehmerin aus dem Fallbericht Nakamuras(17) berichtete über keine Schmerzen in der Spender- und Empfängerstelle. Nach Rodriguez et. al.(76) sind keine Femurfrakturen, Knieinstabilitäten oder dauerhafter Schmerz im Entnahmegebiet aufgetreten. Einzig vorübergehende Parästhesien im Versorgungsgebiet des Nervus saphenus traten bei 15 der 25 ProbandInnen dieser Studie auf. Nach 4 Monaten konnte eine vollständige Rekonvaleszenz der Sensibilitätsstörungen beobachtet werden. Zwei Personen entwickelten ein Serom im Narbenbereich. Schmerzen bei Kniebeugen in den ersten 2-4 Monaten konnte bei allen Patientinnen und Patienten beobachtet werden. Die TeilnehmerInnen Sananpanichs(32) klagten über Taubheitsgefühl in der Patellaregion an der Entnahmestelle, im Speziellen, wenn ein Hautperforatorlappen aus dem Ramus saphenus entnommen wurde. Bezüglich einer Bewegungseinschränkung (ROM) oder Belastungsproblemen wird in der Literatur nichts Negatives berichtet.

Da in allen Studien die transienten Morbiditäten wie Schmerzen und passagere Parästhesien nach spätestens 4 Monaten verschwunden waren, haben wir uns entschlossen, die follow up Untersuchung frühestens 6 Monate nach durchgeführter Operation vorzunehmen.

Die durchwegs positiven Beobachtungen der meisten Autoren legen den Schluss nahe, es gäbe so gut wie keine Entnahmemorbiditäten und Bedenken diesen Eingriff durchzuführen.

Iorio(4) stellt 2011 erstmals die Frage nach der postoperativen Stabilität des Femurs hinsichtlich axialer und torsionaler Kräfte. Sananpanich(32) stellt 2015 als Erster und Einziger die Entnahmemorbiditäten des medialen Femurkondylallappens als möglichen Nachteil dieser Technik in den Raum, jedoch nur für jene Fälle, in denen ein großes Hautareal zur Defektdeckung entnommen werden muss. Im Speziellen wird auf die Möglichkeit der Entstehung eines schmerzhaften Neuroms aus dem gekappten Nervus saphenus hingewiesen, wenn der Ramus saphenus als Gefäßstiel dient. Der Hauptstamm des Nervus saphenus kann jedoch erhalten werden, wenn stattdessen die direkten oder muskulokutanen Perforatoren aus der Arteria descendens genus zur Hautversorgung herangezogen werden.

Die objektiven und subjektiven Beurteilungen in der Fachliteratur machen minimale Morbiditäten der Entnahmestelle kenntlich. Diese Ergebnisse spiegeln unsere klinische Erfahrung und die Ergebnisse dieser Arbeit wider.

Unsere Studie beschreibt eine 89%ige Erfolgsrate bei der Anwendung des vaskularisierten freien Femurkondylallappens in 19 Fällen.

Das durchschnittliche Alter der Patientinnen und Patienten betrug zum Zeitpunkt der Untersuchung 47,8 Jahre (27-78). Somit repräsentiert diese Stichprobe einen Querschnitt über mehrere Altersgruppen und lässt auch Vergleiche zu.

Entnahmemorbiditäten sind mit Heilungsverzögerungen von 10,5% einem Durchschnitt im Larson Score von 81,25 Punkten, einer normalen Sensibilität über dem Operationsareal in 80%, einem mittleren Wert von 1,9 Punkten im Vancouver Scar Scale und Ergebnissen im VAS von durchschnittlich 1,3 für ästhetisches und 1,7 für funktionelles Wohlbefinden, die die vorherigen Ergebnisse untermauern, selten. Sie können aber schwerwiegend sein, da sich die Operationsstelle in unmittelbarer Nähe der Kniegelenkscapsel befindet. Infektionen können die Capsel durchwandern und das Gelenk und seinen hyalinen Knorpel beschädigen. Besonders bei Operationen, die die Gelenkscapsel eröffnen (kartilagokortikospongiöser Lappen), ist auf eine postoperative Keimbesiedelung zu achten und dieser vorzubeugen. Andere Lappen wie Transplantate aus der Rippe und dem Darmbeinkamm haben lebensnotwendige Organe in Umgebung. Infektionen der Entnahmestelle können deshalb unter Umständen noch riskanter sein.

Wägt man die Operationszeiten für Empfängerstellen an der oberen gegen die der unteren Extremität im Mann-Whitney-U-Test ab ergibt sich ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,003$ ) Eingriffe für die Rekonstruktion an der oberen Extremität mit durchschnittlich 5:29 Stunden und unteren Extremität mit durchschnittlich 9:56 Stunden weisen deutliche Diskrepanzen auf. Dieser Umstand ist zwar in Bezug auf die Entnahmemorbiditäten zu vernachlässigen, für die Planung von Operationen im elektiven Setting aber interessant.

Unterteilt man die 10 klinisch untersuchten TeilnehmerInnen in 2 Gruppen nach den Kriterien der Lokalisation der Empfängerstelle, lässt sich der Einsatz des Larson Scores rechtfertigen. Gruppe 1 beinhaltet alle Patientinnen und Patienten, bei

denen die Entnahmestelle des medialen Femurkondyllappens an der selben unteren Extremität wie dessen Empfängerbett liegt. Beispiel: Entnahme am linken Knie und Implantation am linken Sprunggelenk. Bei den Teilnehmenden der Gruppe 2 befindet sich die Empfängerstelle entweder an der oberen Extremität oder am kontralateralen Bein. Beispiel: Entnahme am linken Knie und Implantation am linken Handgelenk. In der statistischen Auswertung kann die Nullhypothese beibehalten und kein signifikanter Unterschied dieser beiden Gruppen im Bezug auf die Ergebnisse des Larson Scores im Mann-Whitney-U-Test ( $p=0,109$ ) gezeigt werden. Der Larson Score ist demnach sowohl für Patientinnen und Patienten mit Pathologien am operierten Bein als auch Pathologien an anderen Körperregionen gleichermaßen einsetzbar. Hohe Punktezahlen aus den Untersuchungen des Larson-Scores weisen auf wenig bis keine postoperativen Langzeiteinschränkungen in der Entnahmestelle hin.

Die Überprüfung der Kausalität von Nervenentnahme und Sensibilitätsstörungen wurde aus Gründen der Vollständigkeit durchgeführt und kann als Inspiration für größere Studien dienen. Im Bezug auf die Sensibilitätsmessung ergab sich eine statistisch signifikante Korrelation im Mann-Whitney-U-Test ( $p=0,025$ ).

Die Gruppe ohne Heilungsverzögerung erzielt im Vancouver Scar Scale mit durchschnittlich 1,4 Punkten deutlich bessere Ergebnisse als der Patient mit Wundheilungsstörungen und 6 Punkten. Auch diese Überprüfung wurde der Vollständigkeit halber durchgeführt und kann als Anstoß für größere Studien gesehen werden, da in dieser Arbeit aufgrund der geringen Fallzahl nur bedingt Rückschlüsse gezogen werden können. Ein Vergleich der Operationsgebiete mit semiquantitativen Scales wie dem Vancouver Scar scale untereinander bringt auch Limitationen mit sich. Trotzdem lassen die Ergebnisse auf eine gute Wundheilungstendenz nach Entnahme des medialen Femurkondyllappens schließen.

Durch die Spearman-Korrelation ergibt sich zwischen den Ergebnissen der beiden Visual Analogue Scales ein p-Wert von 0,039 und somit ein signifikanter Zusammenhang. Eine vollkommene Unabhängigkeit zwischen den Bewertungen der beiden subjektiven Parameter durch die einzelnen TeilnehmerInnen ist somit nicht gegeben. Patientinnen und Patienten tendieren individuell dazu, bessere oder schlechtere Bewertungen zu vergeben.

Ein Nachteil unserer Studie ist zweifelsohne die geringe Anzahl an untersuchten Patientinnen und Patienten. Weitere Studien mit umfangreicherem Patientengut können diesen Bias ausmerzen.

Da die Untersuchungen durchschnittlich über ein Jahr nach der Operation durchgeführt wurden, lässt sich keine Aussage über das direkt postoperative Vorhandensein und die dynamische Entwicklung der sensiblen Veränderungen im Operationsgebiet treffen. Weitere Studien die den zeitlichen Verlauf der postoperativen Sensibilitätsveränderungen in diesem Operationsgebiet behandeln, müssten geplant werden, um diese Frage zu beantworten.

Als Ausblick in die Zukunft wäre ein Vergleich der Entnahmemorbiditäten zwischen medialem und lateralem Femurkondylappen mit den gleichen Untersuchungsmethoden interessant, um die Vor und Nachteile der jeweiligen Prozeduren direkt gegeneinander abzuwägen. Für die Beantwortung dieser Forschungsfrage stelle ich gerne meine erhobenen Daten zur Verfügung.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit kann in der klinischen Praxis von einer engmaschigen Kontrolle der Entnahmestelle und regelmäßigen radiologischen wie orthopädischen Untersuchungen bei Beschwerdefreiheit abgesehen werden.

Im Großen und Ganzen soll diese Diplomarbeit einen Anstoß geben, sich weiter und intensiver mit diesem Thema zu befassen und allgemein die Aufmerksamkeit von Lappenplastiken auch auf die Region der Entnahmestelle zu richten.

## Literaturverzeichnis

(1) Sunagawa T, Bishop AT, Muramatsu K. Role of conventional and vascularized bone grafts in scaphoid nonunion with avascular necrosis: A canine experimental study. *J Hand Surg Am* 2000 Sep;25(5):849-859.

(2) Al-Jabri T, Mannan A, Giannoudis P. The use of the free vascularised bone graft for nonunion of the scaphoid: a systematic review. *J Orthop Surg Res* 2014 Apr 1;9:21-799X-9-21.

(3) Holm J, Vangelisti G, Remmers J. Use of the medial femoral condyle vascularized bone flap in traumatic avascular necrosis of the navicular: a case report. *J Foot Ankle Surg* 2012 Jul-Aug;51(4):494-500.

(4) Iorio ML, Masden DL, Higgins JP. The limits of medial femoral condyle corticoperiosteal flaps. *J Hand Surg Am* 2011 Oct;36(10):1592-1596.

(5) Grant I, Berger AC, Ireland DC. A vascularised bone graft from the medial femoral condyle for recurrent failed arthrodesis of the distal interphalangeal joint. *Br J Plast Surg* 2005 Oct;58(7):1011-1013.

(6) Girdlestone GR. Response of Bone to Stress: President's Address. *Proc R Soc Med* 1932 Nov;26(1):55-70.

(7) Cole WH, Williamson GA. Fractures of the carpal navicular bone. *Minn Med* 1935;18:81-83.

(8) Russe O. Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. *J Bone Joint Surg Am* 1960 Jul;42-A:759-768.

(9) Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF,3rd. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am* 2002 Jul;27(4):685-691.

(10) Arata MA, Wood MB, Cooney WP,3rd. Revascularized segmental diaphyseal bone transfers in the canine. An analysis of viability. *J Reconstr Microsurg* 1984 Jul;1(1):11-19.

(11) Tu YK, Bishop AT, Kato T, Adams ML, Wood MB. Experimental carpal reverse-flow pedicle vascularized bone grafts. Part I: the anatomical basis of vascularized pedicle bone grafts based on the canine distal radius and ulna. *J Hand Surg Am* 2000 Jan;25(1):34-45.

(12) Claes L, Augat P, Suger G, Wilke HJ. Influence of size and stability of the osteotomy gap on the success of fracture healing. *J Orthop Res* 1997 Jul;15(4):577-584.

- (13) Malizos KN, Dailiana ZH, Innocenti M, Mathoulin CL, Mattar R, Jr, Sauerbier M. Vascularized bone grafts for upper limb reconstruction: defects at the distal radius, wrist, and hand. *J Hand Surg Am* 2010 Oct;35(10):1710-1718.
- (14) Doi K, Oda T, Soo-Heong T, Nanda V. Free vascularized bone graft for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Am* 2000 May;25(3):507-519.
- (15) Jones DB, Jr, Moran SL, Bishop AT, Shin AY. Free-vascularized medial femoral condyle bone transfer in the treatment of scaphoid nonunions. *Plast Reconstr Surg* 2010 Apr;125(4):1176-1184.
- (16) Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 1987 Jan;(214)(214):160-164.
- (17) Nakamura K, Yokoyama K, Wakita R, Itoman M. Segmental bony defect of the proximal phalanx in the great toe reconstructed by free vascularized bone graft from the supracondylar region of the femur: a case report. *J Orthop Trauma* 2007 Aug;21(7):499-502.
- (18) Goldberg VM, Shaffer JW, Field G, Davy DT. Biology of vascularized bone grafts. *Orthop Clin North Am* 1987 Apr;18(2):197-205.
- (19) Skoog T. The use of periosteal flaps in the repair of clefts of the primary palate. *Cleft Palate J* 1965 Oct;2:332-339.
- (20) Ostrup LT, Fredrickson JM. Distant transfer of a free, living bone graft by microvascular anastomoses. An experimental study. *Plast Reconstr Surg* 1974 Sep;54(3):274-285.
- (21) Chacha PB. Vascularised pedicular bone grafts. *Int Orthop* 1984;8(2):117-138.
- (22) Taylor GI, Miller GD, Ham FJ. The free vascularized bone graft. A clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr Surg* 1975 May;55(5):533-544.
- (23) Minami A, Kasashima T, Iwasaki N, Kato H, Kaneda K. Vascularised fibular grafts. An experience of 102 patients. *J Bone Joint Surg Br* 2000 Sep;82(7):1022-1025.
- (24) Acland RD, Schusterman M, Godina M, Eder E, Taylor GI, Carlisle I. The saphenous neurovascular free flap. *Plast Reconstr Surg* 1981 Jun;67(6):763-774.
- (25) Sakai K, Doi K, Kawai S. Free vascularized thin corticoperiosteal graft. *Plast Reconstr Surg* 1991 Feb;87(2):290-298.
- (26) Romana MC, Masquelet AC. Vascularized periosteum associated with cancellous bone graft: an experimental study. *Plast Reconstr Surg* 1990 Apr;85(4):587-592.

- (27) Martin D, Bitonti-Grillo C, De Biscop J, Schott H, Mondie JM, Baudet J, et al. Mandibular reconstruction using a free vascularised osteocutaneous flap from the internal condyle of the femur. *Br J Plast Surg* 1991 Aug-Sep;44(6):397-402.
- (28) Lapiere F, Masquelet A, Aesch B, Romana C, Goga D. Cranioplasties using free femoral osteo-periosteal flaps. *Chirurgie* 1991;117(4):293-6; discussion 297.
- (29) Burger HK, Windhofer C, Gaggl AJ, Higgins JP. Vascularized medial femoral trochlea osteochondral flap reconstruction of advanced Kienbock disease. *J Hand Surg Am* 2014 Jul;39(7):1313-1322.
- (30) Penteado CV, Masquelet AC, Romana MC, Chevrel JP. Periosteal flaps: anatomical bases of sites of elevation. *Surg Radiol Anat* 1990;12(1):3-7.
- (31) Hertel R, Masquelet AC. The reverse flow medial knee osteoperiosteal flap for skeletal reconstruction of the leg. Description and anatomical basis. *Surg Radiol Anat* 1989;11(4):257-262.
- (32) Sananpanich K, Kraissarin J. Descending genicular artery free flaps: Multi-purpose tissue transfers in limb reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2015 Jun;68(6):846-852.
- (33) Masquelet AC, Romana MC, Wolf G. Skin island flaps supplied by the vascular axis of the sensitive superficial nerves: anatomic study and clinical experience in the leg. *Plast Reconstr Surg* 1992 Jun;89(6):1115-1121.
- (34) Doi K, Sakai K. Vascularized periosteal bone graft from the supracondylar region of the femur. *Microsurgery* 1994;15(5):305-315.
- (35) Camilli JA, Penteado CV. Bone formation by vascularized periosteal and osteoperiosteal grafts. An experimental study in rats. *Arch Orthop Trauma Surg* 1994;114(1):18-24.
- (36) Cavadas PC, Landin L. Treatment of recalcitrant distal tibial nonunion using the descending genicular corticoperiosteal free flap. *J Trauma* 2008 Jan;64(1):144-150.
- (37) Burger HK, Windhofer C, Gaggl AJ, Higgins JP. Vascularized medial femoral trochlea osteocartilaginous flap reconstruction of proximal pole scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am* 2013 Apr;38(4):690-700.
- (38) Doi K, Hattori Y. Vascularized bone graft from the supracondylar region of the femur. *Microsurgery* 2009;29(5):379-384.
- (39) Pelzer M, Reichenberger M, Germann G. Osteo-periosteal-cutaneous flaps of the medial femoral condyle: a valuable modification for selected clinical situations. *J Reconstr Microsurg* 2010 Jul;26(5):291-294.
- (40) Blondeel PN, Van Landuyt KH, Monstrey SJ, Hamdi M, Matton GE, Allen RJ, et al. The "Gent" consensus on perforator flap terminology: preliminary definitions.

Plast Reconstr Surg 2003 Oct;112(5):1378-83; quiz 1383, 1516; discussion 1384-7.

(41) Kim JT. New nomenclature concept of perforator flap. Br J Plast Surg 2005 Jun;58(4):431-440.

(42) Sinna R, Bolorchi A, Mahajan AL, Qassemyar Q, Robbe M. What should define a "perforator flap"? Plast Reconstr Surg 2010 Dec;126(6):2258-2263.

(43) Iorio ML, Masden DL, Higgins JP. Cutaneous angiosome territory of the medial femoral condyle osteocutaneous flap. J Hand Surg Am 2012 May;37(5):1033-1041.

(44) Sabalbal M, Johnson M, McAlister V. Absence of the genicular arterial anastomosis as generally depicted in textbooks. Ann R Coll Surg Engl 2013 Sep;95(6):405-409.

(45) Gray H. Descriptive and Applied. In: Gray H, editor. Anatomy. 2nd ed. Philadelphia: Lea&Febiger; 1990. p. 697-697.

(46) Schmidt H, Prescher A. Bein, untere Extremität, Membrum inferius. In: Anderhuber F, Fanghänel J, Nitsch R, editors. Waldeyer Anatomie des Menschen. 18th ed. Berlin: De Gruyter; 2009. p. 1165-1198.

(47) Yamamoto H, Jones DB, Jr, Moran SL, Bishop AT, Shin AY. The arterial anatomy of the medial femoral condyle and its clinical implications. J Hand Surg Eur Vol 2010 Sep;35(7):569-574.

(48) Garcia-Pumarino R, Franco JM. Anatomical variability of descending genicular artery. Ann Plast Surg 2014 Nov;73(5):607-611.

(49) Sananpanich K, Atthakomol P, Luevitoonvechkij S, Kraissarin J. Anatomical variations of the saphenous and descending genicular artery perforators: cadaveric study and clinical implications for vascular flaps. Plast Reconstr Surg 2013 Mar;131(3):363e-72e.

(50) Kakar S, Duymaz A, Steinmann S, Shin AY, Moran SL. Vascularized medial femoral condyle corticoperiosteal flaps for the treatment of recalcitrant humeral nonunions. Microsurgery 2011 Feb;31(2):85-92.

(51) Lee SH, Choi TH, Kim SW, Xu L, Sohn CH, Han KH, et al. An anatomical study of the saphenous nerve, artery, and artery perforators within the thigh using cadaveric dissection. Ann Plast Surg 2011 Oct;67(4):413-415.

(52) Dubois G, Lopez R, Puwanarajah P, Noyelles L, Lauwers F. The corticoperiosteal medial femoral supracondylar flap: anatomical study for clinical evaluation in mandibular osteoradionecrosis. Surg Radiol Anat 2010 Dec;32(10):971-977.

- (53) Ballmer FT, Masquelet AC. The reversed-flow medio-distal fasciocutaneous island thigh flap: anatomic basis and clinical applications. *Surg Radiol Anat* 1998;20(5):311-316.
- (54) Scheibel MT, Schmidt W, Thomas M, von Salis-Soglio G. A detailed anatomical description of the subvastus region and its clinical relevance for the subvastus approach in total knee arthroplasty. *Surg Radiol Anat* 2002 Feb;24(1):6-12.
- (55) Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, Mojallal A, Rohrich RJ. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications. *Plast Reconstr Surg* 2009 Nov;124(5):1529-1544.
- (56) Lazaro LE, Wellman DS, Klinger CE, Dyke JP, Pardee NC, Sculco PK, et al. Quantitative and qualitative assessment of bone perfusion and arterial contributions in a patellar fracture model using gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging: a cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am* 2013 Oct 2;95(19):e1401-7.
- (57) Lazaro LE, Cross MB, Lorich DG. Vascular anatomy of the patella: implications for total knee arthroplasty surgical approaches. *Knee* 2014 Jun;21(3):655-660.
- (58) Yoshida A, Yajima H, Murata K, Maegawa N, Kobata Y, Kawamura K, et al. Pedicled vascularized bone graft from the medial supracondylar region of the femur for treatment of femur nonunion. *J Reconstr Microsurg* 2009 Mar;25(3):165-170.
- (59) Hugon S, Koninckx A, Barbier O. Vascularized osteochondral graft from the medial femoral trochlea: anatomical study and clinical perspectives. *Surg Radiol Anat* 2010 Nov;32(9):817-825.
- (60) Poole AR. What type of cartilage repair are we attempting to attain? *J Bone Joint Surg Am* 2003;85-A Suppl 2:40-44.
- (61) Imhof H, Sulzbacher I, Grampp S, Czerny C, Youssefzadeh S, Kainberger F. Subchondral bone and cartilage disease: a rediscovered functional unit. *Invest Radiol* 2000 Oct;35(10):581-588.
- (62) Berggren A, Weiland AJ, Ostrup LT, Dorfman H. Microvascular free bone transfer with revascularization of the medullary and periosteal circulation or the periosteal circulation alone. A comparative experimental study. *J Bone Joint Surg Am* 1982 Jan;64(1):73-87.
- (63) Uchida Y, Sugioka Y. Effects of vascularized bone graft on surrounding necrotic bone: an experimental study. *J Reconstr Microsurg* 1990 Apr;6(2):101-7; discussion 109, 111.

- (64) Del Pinal F, Garcia-Bernal FJ, Regalado J, Ayala H, Cagigal L, Studer A. Vascularised corticoperiosteal grafts from the medial femoral condyle for difficult non-unions of the upper limb. *J Hand Surg Eur Vol* 2007 Apr;32(2):135-142.
- (65) Bishop AT. Vascularized bone grafting. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, Wolfe SW, editors. *Green's operative Hand Surgery*. 5th ed. New York: Churchill Livingstone; 2005. p. 1777-1811.
- (66) Choudry UH, Bakri K, Moran SL, Karacor Z, Shin AY. The vascularized medial femoral condyle periosteal bone flap for the treatment of recalcitrant bony nonunions. *Ann Plast Surg* 2008 Feb;60(2):174-180.
- (67) Doi K, Hattori Y. The use of free vascularized corticoperiosteal grafts from the femur in the treatment of scaphoid non-union. *Orthop Clin North Am* 2007 Jan;38(1):87-94, vi-vii.
- (68) Larson AN, Bishop AT, Shin AY. Free medial femoral condyle bone grafting for scaphoid nonunions with humpback deformity and proximal pole avascular necrosis. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2007 Dec;11(4):246-258.
- (69) King KF. Periosteal pedicle grafting in dogs. *J Bone Joint Surg Br* 1976 Feb;58(1):117-121.
- (70) Rodriguez-Merchan EC, Forriol F. Nonunion: general principles and experimental data. *Clin Orthop Relat Res* 2004 Feb;(419)(419):4-12.
- (71) Fuchs B, Steinmann SP, Bishop AT. Free vascularized corticoperiosteal bone graft for the treatment of persistent nonunion of the clavicle. *J Shoulder Elbow Surg* 2005 May-Jun;14(3):264-268.
- (72) Sammer DM, Bishop AT, Shin AY. Vascularized medial femoral condyle graft for thumb metacarpal reconstruction: case report. *J Hand Surg Am* 2009 Apr;34(4):715-718.
- (73) Gaggi A, Burger H, Chiari FM. The microvascular osteocutaneous femur transplant for covering combined alveolar ridge and floor of the mouth defects: preliminary report. *J Reconstr Microsurg* 2008 Apr;24(3):169-175.
- (74) Gaggi AJ, Burger HK, Chiari FM. Free microvascular transfer of segmental corticocancellous femur for reconstruction of the alveolar ridge. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008 Apr;46(3):211-217.
- (75) Rao SS, Sexton CC, Higgins JP. Medial femoral condyle flap donor-site morbidity: a radiographic assessment. *Plast Reconstr Surg* 2013 Mar;131(3):357e-62e.
- (76) Rodriguez-Vegas JM, Delgado-Serrano PJ. Corticoperiosteal flap in the treatment of nonunions and small bone gaps: technical details and expanding possibilities. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2011 Apr;64(4):515-527.

(77) Karamursel S, Celebioglu S. Use of the medial side of the knee skin as a free flap: saphenous flap. *Plast Reconstr Surg* 2006 Apr;117(4):1308-1314.

(78) Yajima H, Tamai S, Mizumoto S, Sugimura M, Horiuchi K. Vascularized fibular graft for reconstruction after resection of aggressive benign and malignant bone tumors. *Microsurgery* 1992;13(5):227-233.

(79) Einhorn TA. Enhancement of fracture healing. *Instr Course Lect* 1996;45:401-416.

(80) Gonzalez del Pino J, Bartolome del Valle E, Grana GL, Villanova JF. Free vascularized fibular grafts have a high union rate in atrophic nonunions. *Clin Orthop Relat Res* 2004 Feb;(419)(419):38-45.

(81) Brinker MR. Nonunions: Evaluation and treatment. In: Browner BD, Levine AM, Jupiter JB, editors. *Skeletal Trauma: Basic Science, Management and Reconstruction*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders; 2003. p. 507-604.

(82) Lin CH, Wei FC, Chen HC, Chuang DC. Outcome comparison in traumatic lower-extremity reconstruction by using various composite vascularized bone transplantation. *Plast Reconstr Surg* 1999 Sep;104(4):984-992.

(83) Del Pinal F, Innocenti M. Evolving concepts in the management of the bone gap in the upper limb. Long and small defects. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2007;60(7):776-792.

(84) Masden DL, Iorio ML, Higgins JP. Comparison of the osseous characteristics of medial femoral condyle and fibula flaps. *J Hand Surg Eur Vol* 2013 May;38(4):437-439.

(85) Kalicke T, Burger H, Muller EJ. A new vascularized cartilage-bone-graft for scaphoid nonunion with avascular necrosis of the proximal pole. Description of a new type of surgical procedure. *Unfallchirurg* 2008 Mar;111(3):201-205.

(86) Kashiwa K, Kobayashi S, Tono H, Nohara T, Honda T, Sakurai S. Reconstruction of the cervical trachea using a prefabricated corticoperiosteal flap from the femur. *Ann Plast Surg* 2009 Jun;62(6):633-636.

(87) Kobayashi S, Kakibuchi M, Masuda T, Ohmori K. Use of vascularized corticoperiosteal flap from the femur for reconstruction of the orbit. *Ann Plast Surg* 1994 Oct;33(4):351-7; discussion 357-8.

(88) Dias JJ, Brenkel IJ, Finlay DB. Patterns of union in fractures of the waist of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br* 1989 Mar;71(2):307-310.

(89) Szabo RM, Manske D. Displaced fractures of the scaphoid. *Clin Orthop Relat Res* 1988 May;(230)(230):30-38.

- (90) Riegler H. Chirurgie - Wenn die Hand Schiffbruch erleidet. 2015; Available at: <http://www.clemenshospital.de/ch/med-bereiche/unfallchirurgie-orthopaedie-handchirurgie-und-sportmedizin/handchirurgie>. Accessed 06/30, 2016.
- (91) El-Karef EA. Corrective osteotomy for symptomatic scaphoid malunion. *Injury* 2005 Dec;36(12):1440-1448.
- (92) Amadio PC. Scaphoid fractures. *Orthop Clin North Am* 1992 Jan;23(1):7-17.
- (93) Cooney WP, Linscheid RL, Dobyns JH, Wood MB. Scaphoid nonunion: role of anterior interpositional bone grafts. *J Hand Surg Am* 1988 Sep;13(5):635-650.
- (94) Chang MA, Bishop AT, Moran SL, Shin AY. The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am* 2006 Mar;31(3):387-396.
- (95) Innes L, Strauch RJ. Systematic review of the treatment of Kienbock's disease in its early and late stages. *J Hand Surg Am* 2010 May;35(5):713-7, 717.e1-4.
- (96) Moran SL, Cooney WP, Berger RA, Bishop AT, Shin AY. The use of the 4 + 5 extensor compartmental vascularized bone graft for the treatment of Kienbock's disease. *J Hand Surg Am* 2005 Jan;30(1):50-58.
- (97) Daecke W, Lorenz S, Wieloch P, Jung M, Martini AK. Vascularized os pisiform for reinforcement of the lunate in Kienbock's Disease: an average of 12 years of follow-up study. *J Hand Surg Am* 2005 Sep;30(5):915-922.
- (98) Vilkki SK. A new concept and technique for custom-made microvascular lunate bone reconstruction. *J Reconstr Microsurg* 2007 Oct;23(7):351-359.
- (99) Friedrich JB, Vedder NB. Thumb reconstruction. *Clin Plast Surg* 2011 Oct;38(4):697-712.
- (100) Reilly KE, Linz JC, Stern PJ, Giza E, Wyrick JD. Osteomyelitis of the tubular bones of the hand. *J Hand Surg Am* 1997 Jul;22(4):644-649.
- (101) Wong VW, Higgins JP, Katz RD. Functional reconstruction of subtotal thumb metacarpal defect with a vascularized medial femoral condyle flap: case report. *J Hand Surg Am* 2014 Oct;39(10):2005-2008.
- (102) Carpenter CA, Jupiter JB. Blade plate reconstruction of metaphyseal nonunion of the tibia. *Clin Orthop Relat Res* 1996 Nov;(332)(332):23-28.
- (103) Court-Brown CM, Zinna S, Ekrol I. Classification and epidemiology of midfoot fractures. *Foot* 2006;16(3):138-141.
- (104) Markbreiter LA, Pelker RR, Friedlaender GE, Peschel R, Panjabi MM. The effect of radiation on the fracture repair process. A biomechanical evaluation of a closed fracture in a rat model. *J Orthop Res* 1989;7(2):178-183.

- (105) Huang D, Wang HW, Xu DC, Wang HG, Wu WZ, Zhang HR. An anatomic and clinical study of the adductor magnus tendon-descending genicular artery bone flap. *Clin Anat* 2011 Jan;24(1):77-83.
- (106) Lanzetta M. Scaphoid reconstruction by a free vascularized osteochondral graft from the rib: a case report. *Microsurgery* 2009;29(5):420-424.
- (107) Devaraj VS, Kay SP, Batchelor AG. Vascularised reconstruction of the clavicle. *Br J Plast Surg* 1990 Sep;43(5):625-627.
- (108) Crock JG, Morrison WA. A vascularised periosteal flap: anatomical study. *Br J Plast Surg* 1992 Aug-Sep;45(6):474-478.
- (109) Neuwirth M, Hubmer M, Koch H. The posterior interosseous artery flap: clinical results with special emphasis on donor site morbidity. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2013 May;66(5):623-628.
- (110) Parvizi D, Vasilyeva A, Wurzer P, Tuca A, Lebo P, Winter R, et al. Anatomy of the Vascularized Lateral Femoral Condyle Flap. *Plast Reconstr Surg* 2016 Jun;137(6):1024e-32e.
- (111) Duffy GP, Wood MB, Rock MG, Sim FH. Vascularized free fibular transfer combined with autografting for the management of fracture nonunions associated with radiation therapy. *J Bone Joint Surg Am* 2000 Apr;82(4):544-554.
- (112) Harpf C, Gabl M, Reinhart C, Schoeller T, Bodner G, Pechlaner S, et al. Small free vascularized iliac crest bone grafts in reconstruction of the scaphoid bone: a retrospective study in 60 cases. *Plast Reconstr Surg* 2001 Sep 1;108(3):664-674.
- (113) Grinsell D, Catto-Smith HE. Modifications of the deep circumflex iliac artery free flap for reconstruction of the maxilla. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2015 Aug;68(8):1044-1053.
- (114) Mauro MA, Jaques PF, Moore M. The popliteal artery and its branches: embryologic basis of normal and variant anatomy. *AJR Am J Roentgenol* 1988 Feb;150(2):435-437.
- (115) Hadouiri N, Decavel P, Feuvrier D, Parratte B, Pauchot J, Sagawa Y. Donor-site morbidity after vascularized free flap fibula: Gait analysis during prolonged walk condition. *Ann Phys Rehabil Med* 2016 Sep;59S:e119.
- (116) Fujiki M, Miyamoto S, Sakuraba M, Nagamatsu S, Hayashi R. A comparison of perioperative complications following transfer of fibular and scapular flaps for immediate mandibular reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2013 Mar;66(3):372-375.
- (117) Yajima H, Tamai S, Ono H, Kizaki K. Vascularized bone grafts to the upper extremities. *Plast Reconstr Surg* 1998 Mar;101(3):727-35; discussion 736-7.

- (118) Giannoudis PV, Dinopoulos HT. Autologous bone graft: when shall we add growth factors? *Orthop Clin North Am* 2010 Jan;41(1):85-94; table of contents.
- (119) Gupta AK, Srivastava KP, Avasthi S. Pulsed electromagnetic stimulation in nonunion of tibial diaphyseal fractures. *Indian J Orthop* 2009 Apr;43(2):156-160.
- (120) Lin SD, Lai CS, Chiu YT, Lin TM, Chou CK. Adipofascial flap of the lower leg based on the saphenous artery. *Br J Plast Surg* 1996 Sep;49(6):390-395.
- (121) Kirschner MH, Menck J, Hennerbichler A, Gaber O, Hofmann GO. Importance of arterial blood supply to the femur and tibia for transplantation of vascularized femoral diaphyses and knee joints. *World J Surg* 1998 Aug;22(8):845-51; discussion 852.
- (122) O'DONOGHUE DH. An analysis of end results of surgical treatment of major injuries to the ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1955 Jan;37-A(1):1-13; passim.
- (123) Slocum DB, Larson RL. Pes anserinus transplantation. A surgical procedure for control of rotatory instability of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1968 Mar;50(2):226-242.
- (124) Marshall JL, Fetto JF, Botero PM. Knee ligament injuries: a standardized evaluation method. *Clin Orthop Relat Res* 1977 Mar-Apr;(123)(123):115-129.
- (125) Peccin MS, Ciconelli R, Cohen M. Specific questionnaire for knee symptoms - the "Lysholm Knee Scoring Scale" - translation and validation into portuguese. *Acta Orthop Bras.* 2006;14(5):268-272.
- (126) Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 1982 May-Jun;10(3):150-154.
- (127) Wirth CJ, Rudert M. Die laterale Patellaverschmälerung zur Therapie der lateral betonten retropatellaren Arthrose. In: Wirth CJ, editor. *Das patellofemorale Schmerzsyndrom*. 1st ed. Darmstadt: Steinkopff; 2000. p. 227-234.
- (128) Schmidt HM, Prescher A. Bein, untere Gliedmaße, Membrum inferius. In: Anderhuber F, Fanghänel J, Pera F, Nitsch R, editors. *Waldeyer Anatomie des Menschen*. 18th ed. Berlin: De Gruyter; 2009. p. 1124-1126.
- (129) Rossi R, Dettoni F, Bruzzone M, Cottino U, D'Elcico DG, Bonasia DE. Clinical examination of the knee: know your tools for diagnosis of knee injuries. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 2011 Oct 28;3:25-2555-3-25.
- (130) Soignier RD, Taylor BK, Baiamonte BA, Lee FA, Paul D, Gould HJ,3rd. Measurement of CFA-induced hyperalgesia and morphine-induced analgesia in rats: dorsal vs plantar mechanical stimulation of the hindpaw. *Pain Med* 2011 Mar;12(3):451-458.

- (131) Waldner-Nilsson B, Breier S, Slatosch-Winsch DU, Reiter-Eigenheer A. Klinische Erfassung. In: Waldner-Nilsson B., editor. Handrehabilitation für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten. 3rd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2013. p. 41-44.
- (132) Deuser N. Diagnostische Techniken in der Podologie. 2006; Available at: <http://www.med-data.info/datapodosmk/PodologischeDiagnostik.pdf>. Accessed 10/16, 2016.
- (133) Bell-Krotoski JA, Fess EE, Figarola JH, Hiltz D. Threshold detection and Semmes-Weinstein monofilaments. *J Hand Ther* 1995 Apr-Jun;8(2):155-162.
- (134) LoPinto C, Young WB, Ashkenazi A. Comparison of dynamic (brush) and static (pressure) mechanical allodynia in migraine. *Cephalalgia* 2006 Jul;26(7):852-856.
- (135) Lye I, Edgar DW, Wood FM, Carroll S. Tissue tonometry is a simple, objective measure for pliability of burn scar: is it reliable? *J Burn Care Res* 2006 Jan-Feb;27(1):82-85.
- (136) Fearmonti R, Bond J, Erdmann D, Levinson H. A review of scar scales and scar measuring devices. *Eplasty* 2010 Jun 21;10:e43.
- (137) Brokelman RB, Haverkamp D, van Loon C, Hol A, van Kampen A, Veth R. The validation of the visual analogue scale for patient satisfaction after total hip arthroplasty. *Eur Orthop Traumatol* 2012 Jun;3(2):101-105.
- (138) Vasilyeva A. Anatomie des medialen Femurkondyllappens und sein Einsatz zur Rekonstruktion von komplexen Defekten mit Beteiligung verschiedener Gewebekomponentne. 2013 11.02.2013:10-61.
- (139) Rahmanian-Schwarz A, Spetzler V, Amr A, Pfau M, Schaller HE, Hirt B. A composite osteomusculocutaneous free flap from the medial femoral condyle for reconstruction of complex defects. *J Reconstr Microsurg* 2011 May;27(4):251-260.
- (140) Hong GX, Zhu TB, Wang FB, Huang XQ, Yang SH, Wang F, et al. Medial flap of the shank--anatomical study and clinical application. *J Tongji Med Univ* 1986;6(4):246-250.
- (141) Merz S. Pilonfraktur. 2016; Available at: <http://flexikon.doccheck.com/de/Pilonfraktur>. Accessed Februar/22, 2016.
- (142) Hönle W. Orthopädische Chirurgie Knochenbank. 2006; Available at: <http://www.orthopaedie.klinikum-neumarkt.de/192-Knochenbank.html>. Accessed Februar/22, 2016.
- (143) Weiland AJ, Phillips TW, Randolph MA. Bone grafts: a radiologic, histologic, and biomechanical model comparing autografts, allografts, and free vascularized bone grafts. *Plast Reconstr Surg* 1984 Sep;74(3):368-379.

(144) Gonzalez del Pino J, Gomez Castresana F, Benito M, Weiland AJ. Role of free vascularized bone grafts in the experimentally-induced ischemic necrosis of the femoral head. *J Reconstr Microsurg* 1990 Apr;6(2):151-159.

(145) Gaskill TR, Urbaniak JR, Aldridge JM,3rd. Free vascularized fibular transfer for femoral head osteonecrosis: donor and graft site morbidity. *J Bone Joint Surg Am* 2009 Aug;91(8):1861-1867.

## Anhang

<b>Vancouver Scar Scale</b>		
<b>Vascularity / Durchblutung</b>	Normal	0
	Pink	1
	Red	2
	Purple	3
<b>Pigmentation</b>	Normal	0
	Hypopigmentation	1
	Hyperpigmentation	2
<b>Pliability / Biegsamkeit</b>	Normal	0
	Supple / geschmeidig	1
	Yielding / nachgibig	2
	Firm / fest	3
	Ropes / Stränge	4
	Contracture / Schrumpfung	5
<b>Height / Höhe</b>	Flat / flach	0
	>2mm	1
	2-5mm	2
	<5mm	3
<b>Total</b>		<b>13</b>

Abbildung 28: Vancouver Scar Scale

<b>Larson Score (Knie)</b>		
<b>Function / Funktion</b>		
Gait / Gang	None / Uneingeschränkt	5
	Mild / Leichte Einschränkung	3
	Moderate / Moderate Einschränkung	1
	Marked / Deutliche Einschränkung	0
Support / Gehhilfe	None / Keine	5
	Cane / Gehstock	3
	Crutches / Krücken	1
	Unable to bear weight / Knie trägt kein Gewicht	0
<b>Activities / Aktivitäten</b>		
Walking limitation / Gehen	Unlimited / Uneingeschränkt	20
	Mildly (over 1 mile) / Leichte Einschränkung	15
	Moderately (over 1/2 mile) / Einschränkung	10
	Severely (over 1/4 mile) / Schwere Einschränkung	5
	Unable to walk / Unfähig zu gehen	0
Stairs inclines / Stufen Neigung	No difficulty / Ohne Schwierigkeiten	5
	Slight difficulty / Leichte Einschränkung	3
	One step at a time (instability) / Instabil	1
	Unable / Unfähig	0
Jumping / Hüpfen	No difficulty / Ohne Schwierigkeiten	2
	Unable / Unfähig	0
Squatt limitation / Kniebeugen	No difficulty / Ohne Schwierigkeiten	5
	Slight difficulty / Leichte Einschränkung	4
	Moderate limitation / Einschränkung (not past 90°)	3
	Unable / Unfähig	0
Running / Laufen	No difficulty / Ohne Schwierigkeiten	5
	Slight difficulty / Leichte Einschränkung	4
	Straight only (unable to cut) / Nur geradeaus	3
	Unable / Unfähig	0
Range of motion (ROM)	0°-45° (deduct 1 for each 10° of loss)	max. 5
	45°-90° (deduct 1 for each 15° of loss)	max.3
	90°-130° (deduct 1 for each 20° of loss)	max.2
Pain / Schmerz	None / Kein Schmerz	30
	Slight (no compromise) / Ohne Einschränkung	25
	Mild / Leichte Einschränkung	20
	Moderate / Moderate Einschränkung	15
	Severe / Starker Schmerz	5
	Disable / Bewegungsverhindernder Schmerz	0
<b>Anatomy</b>		
Genu valgum or varum	0°-15°	2
	15°-30°	1
	> 30°	0
Patella /Kniescheibe	None abnormality/ Keine Veränderung	1
	Lateral position	0

	High riding / Patella alta	0
	Increased mobility / Gesteigerte Beweglichkeit	0
Genu recurvatum	None / Nein	1
	>5°	0
Flexions contracture	None / Keine	1
	>15°	0
Atrophy thigh / OS-Umfang	None / Keine Differenz	2
	<1cm	1,5
	1-3cm	1
	<3cm	0
Swelling / Schwellung	None / Keine	3
	Slight or occasional / Leicht oder gelegentlich	1
	Moderate or frequent / Moderat oder häufig	0,5
	Marked or persistent / Deutlich oder persistent	0
	<b>Total</b>	<b>100</b>

Abbildung 29: Larson Knee Score