

Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie
(Prof. Dr. med. W. Lehmann)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Beeinflussung der posttraumatischen und postoperativen Schwellung bei unfallchirurgischen Patienten durch apparative Maßnahmen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Ann-Christin Fischer

aus

Querfurt

Göttingen 2019

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H.K. Kroemer

Betreuungsausschuss

Betreuer/in Prof. Dr. med. K. Dresing

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. L. Kretschmer

Prüfungskommission

Referent/in Prof. Dr. med. K. Dresing

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. L. Kretschmer

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. G. Emons

Promotor-Vertreter/in: Prof. Dr. med. M. Schön

Datum der mündlichen Prüfung: 11.03.2020

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Beeinflussung der posttraumatischen und postoperativen Schwellung bei unfallchirurgischen Patienten durch apparative Maßnahmen" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

.....
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Das Lymphgefäßsystem	2
1.2 Definition und Pathomechanismus von Ödemen	3
1.3 Folgen prä- und postoperativer Ödeme	5
1.4 Eigenschaften und Diagnostik des postoperativen/posttraumatischen Lymphödems	6
1.5 Therapeutische Maßnahmen zur Reduktion prä- und postoperativer Schwellungen	7
1.5.1 Hochlagerung der geschwollenen Gliedmaßen	7
1.5.2 Verbände und Kompressionstherapie.....	8
1.5.3 Lokale Kälteanwendungen.....	9
1.5.4 Entstauungstherapien und -gymnastik.....	9
1.5.5 Neuartiges Konzept – der therapeutische Einsatz von negativem Druck	10
1.6 Prinzip und Wirkungsweise von PhysioTouch®	11
1.7 Zielsetzung dieser Arbeit.....	13
2 Material und Methoden	14
2.1 Studiendesign und Studienablauf.....	14
2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien.....	14
2.1.2 Dokumentation und Messungen.....	15
2.1.3 Durchführung der Behandlung mit PhysioTouch®.....	16
2.2 Datenverwaltung und statistische Auswertung.....	18
2.2.1 Test auf Normalverteilung der Daten	18
2.2.2 Durchführung des t-Tests bei verbundenen Stichproben normalverteilter Daten.....	18
2.2.3 Durchführung des Wilcoxon-Tests nicht normalverteilter Daten	19
2.2.4 Gemischte Lineare Modelle	19
2.2.5 Abbildungen	20
2.3 Ethik-Antrag	20
3 Ergebnisse	21
3.1 Deskriptive Darstellung der Daten.....	21
3.1.1 Stichprobe der Probanden	21
3.1.2 Zeitliche Verteilung der Daten	23
3.1.3 Umfangsdifferenzen – Datenübersicht zum Schwellungsverlauf.....	24
3.2 Tests bei verbundenen Stichproben.....	30

3.2.1	Test auf Normalverteilung der Daten.....	30
3.2.2	Durchführung des t-Tests bei verbundenen Stichproben normalverteilter Daten.....	30
3.2.3	Durchführung des Wilcoxon-Tests nicht normalverteilter Daten	31
3.3	Gemischte lineare Modelle	31
3.3.1	Patienten-Gruppe „untere Extremität“	31
3.3.2	Patienten-Gruppe „Knie“	35
3.3.3	Patienten-Gruppe „Hüfte“	38
3.3.4	Patienten-Gruppe „obere Extremität“.....	40
3.3.5	Patienten-Gruppe „Schulter“	43
3.3.6	Patienten-Gruppe „Oberarm“	44
3.4	Weitere Patientenbeispiele anhand von Fotodokumentationen	47
3.4.1	Fallbeispiel 1: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Unterschenkel	47
3.4.2	Fallbeispiel 2: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am oberen Sprunggelenk.....	48
3.4.3	Fallbeispiel 3: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Fuß bei Patient mit Fixateur externe	48
3.4.4	Fallbeispiel 4: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Fuß.....	49
3.4.5	Fallbeispiel 5: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Arm.....	50
3.4.6	Fallbeispiel 6: Therapie mit PhysioTouch® nach Operationen am Arm bei Patient mit Fixateur externe	50
3.4.7	Fallbeispiel 7: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation an der Hand	51
3.4.8	Fallbeispiel 8: Prä- und postoperative Therapie mit PhysioTouch® im Verlauf.....	51
4	Diskussion	53
4.1	Beeinflussung posttraumatischer Schwellungen.....	53
4.1.1	Ausmaß und Verteilung posttraumatischer Schwellungen	53
4.1.2	Risikofaktoren postoperativer Schwellungen.....	54
4.1.3	Verlauf der Schwellung während der Therapie	55
4.2	Aktuelle Studienlage.....	58
4.2.1	Publikationen vergangener Jahre zum Thema Wirkung der manuellen Lymphdrainage.....	58
4.2.2	Publikationen zur Wirkung von PhysioTouch®.....	60
4.3	Limitationen der Arbeit.....	62
4.3.1	Allgemeingültigkeit der Studie.....	62
4.3.2	Datenverteilung und Homogenität der Ergebnisse	63
4.3.3	Umfangsmessung als verlässliche Methode zur Bestimmung des Ausmaßes der Schwellung.....	64
4.3.4	Beeinflussung von Ödemen durch andere Faktoren	65
4.4	Manuelle Lymphdrainage und PhysioTouch® im Vergleich	67
4.4.1	Gemeinsamkeiten der Therapien.....	68
4.4.2	Unterschiede der Behandlungsmethoden.....	68
4.4.3	Mögliche Vor- und Nachteile von PhysioTouch®.....	68
4.4.4	Nebenwirkungen der Lymphdrainage.....	69
4.5	Ausblick und Chancen für die Therapie mit PhysioTouch®.....	69
5	Zusammenfassung.....	71

6	Anhang	73
6.1	Medizingerät PhysioTouch® – Auswahl des passenden Aufsatzes	73
6.2	Operationen – Aufschlüsselung nach Art	74
6.3	Aufklärungsbogen für teilnehmende Patienten	75
6.4	Messblätter der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung.....	77
6.4.1	Messblatt untere Extremität	77
6.4.2	Messblatt obere Extremität.....	78
6.5	Behandlungsprotokolle PhysioTouch®	79
6.5.1	Behandlungsprotokoll für Ödeme an den unteren Extremitäten.....	79
6.5.2	Behandlungsprotokoll für Ödeme an den oberen Extremitäten	80
6.6	Test auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Quotienten.....	81
6.7	Wilcoxon-Rangtests bei verbundenen Stichproben.....	82
6.8	Schwellungsverlauf – Liniendiagramme mit Fehlerbalken	82
7	Literaturverzeichnis	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ursachen postoperativer Schwellung	1
Abbildung 2: lymphatisches System	2
Abbildung 3: Ursachen für die Entstehung von Ödemen	4
Abbildung 4: Medizingerät PhysioTouch®	11
Abbildung 5: Wirkungsprinzip von PhysioTouch®	13
Abbildung 6: Therapie mit PhysioTouch® am Fuß	13
Abbildung 7: Umfangsmessung am Unterschenkel	15
Abbildung 8: Messpunkte an der unteren Extremität	15
Abbildung 9: Messpunkte an der oberen Extremität	16
Abbildung 10: Therapie mit PhysioTouch® bei 46-jähriger Patientin am OSG	17
Abbildung 11: Studienablauf	17
Abbildung 12: Einteilung der 146 Patienten nach spezieller Lokalisation	21
Abbildung 13: Verteilung der Untersuchungstage auf die postoperativen Tage und zeitlicher Verlauf (untere Extremität)	23
Abbildung 14: Verteilung der Untersuchungstage auf die postoperativen Tage und zeitlicher Verlauf (obere Extremität)	24
Abbildung 15: Verteilung der Anzahl der Untersuchungen (untere Extremität)	27
Abbildung 16: Verlauf der Schwellung an den unteren Extremitäten	27
Abbildung 17: Verteilung der Anzahl der Untersuchungen (obere Extremität)	29
Abbildung 18: Verlauf der Schwellung an den oberen Extremitäten	29
Abbildung 19: Einfluss der speziellen Lokalisation auf die Schwellung am Knie	33
Abbildung 20: Einfluss des Geschlechts auf die Umfangsdifferenz am Unterschenkel	36
Abbildung 21: Darstellung des Schwellungsverlaufs der Knie-Patienten	37
Abbildung 22: Patient mit unicondylärem Oberflächenersatz	38
Abbildung 23: mit PFNA versorgter Patient	39
Abbildung 24: Auswirkung der speziellen Lokalisation am Oberarm	41
Abbildung 25: Abhängigkeit der Umfangsdifferenz am Ellenbogen vom Alter	42
Abbildung 26: 79-jährige Patientin nach mehrfragmentärer Humeruskopffraktur	43
Abbildung 27: Verlauf der Schwellung bei Patienten mit Oberarmverletzungen	44
Abbildung 28: 84-jährige Patientin mit distaler Humerustrümmerfraktur	46
Abbildung 29: 57-jähriger Patient mit Tibiplateaufraktur sowie Fraktur des Fibulaköpfchens	47
Abbildung 30: 46-jährige Patientin nach varisierender Osteotomie der Fibula und Tibia	48
Abbildung 31: 82-jähriger Patient mit OSG-Luxationsfraktur	48
Abbildung 32: 22-jähriger Patient mit Mehrfragmentfraktur des Fußes	49
Abbildung 33: 77-jährige Patientin mit subcapitaler Humerusfraktur, Olecranonfraktur und distaler Radiusfraktur nach Sturz	50
Abbildung 34: 51-jähriger Patient mit offener distaler Unterarmtrümmerfraktur	50
Abbildung 35: 56-jähriger Patient mit Ausgangsbefund eines ausgeprägten Handrückenödems	51
Abbildung 36: präoperativ: 62-jähriger Patient mit Weber A- und OSG-Luxationsfraktur	51
Abbildung 37: Verlauf nach Plattenosteosynthese der distalen Tibia und der Malleoli	52
Abbildung 38: PT – kleiner Aufsatz	73
Abbildung 39: PT – mittlerer Aufsatz	73

Abbildung 40: PT – großer Aufsatz	73
Abbildung 41: Aufschlüsselung der durchgeführten Operationen nach Lokalisation	74
Abbildung 42: Aufklärungsbogen für Patienten, Seite 1	75
Abbildung 43: Aufklärungsbogen für Patienten, Seite 2	76
Abbildung 44: Messblatt untere Gliedmaßen	77
Abbildung 45: Messblatt obere Gliedmaßen.....	78
Abbildung 46: Leitfaden zur PhysioTouch®-Therapie, untere Extremität	79
Abbildung 47: Leitfaden zur PhysioTouch®-Therapie, obere Extremität	80
Abbildung 48: Vergleich von GrAbst1u5Diff2 und GrAbst1u5Diff1	82
Abbildung 49: Vergleich von UHandGDiff2 und UHandGDiff1	82
Abbildung 50: Verlauf der Schwellung an den unteren und oberen Extremitäten (mit Fehlerbalken).....	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einstellung der Stärke des Unterdrucks	12
Tabelle 2: deskriptive Statistik	22
Tabelle 3: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Knie)	24
Tabelle 4: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Hüfte)	24
Tabelle 5: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Unterschenkel)	25
Tabelle 6: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (OSG).....	25
Tabelle 7: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Oberschenkel)	25
Tabelle 8: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Fuß).....	25
Tabelle 9: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Schulter)	26
Tabelle 10: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Oberarm)	26
Tabelle 11: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Unterarm)	26
Tabelle 12: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Ellenbogen)	26
Tabelle 13: Entwicklung der Mittelwerte der Differenzen (Hand).....	27
Tabelle 14: Reduktionen der Umfangsdifferenzen in % (untere Extremität)	28
Tabelle 15: Entwicklung der Differenzen der Umfänge vom ersten bis zum fünften Untersuchungstag (untere Extremität)	28
Tabelle 16: Reduktionen der Umfangsdifferenzen in % (obere Extremität)	29
Tabelle 17: Entwicklung der Differenzen der Umfänge vom ersten bis zum fünften Untersuchungstag (obere Extremität)	29
Tabelle 18: Test bei gepaarten Stichproben (untere Extremität)	30
Tabelle 19: Test bei gepaarten Stichproben (obere Extremität).....	31
Tabelle 20: Korrelationen bei gepaarten Stichproben	31
Tabelle 21: LMM mit „OS20Diff“, „Lokspez“, „UntNr“ und „Alter“	32
Tabelle 22: LMM mit „OS10Diff“, „Lokspez“ und „Alter“	32
Tabelle 23: LMM mit „KnieDiff“, „Lokspez“ und „UntNr“	33
Tabelle 24: LMM mit „USklUDiff“, „Lokspez“ und „Alter“	34
Tabelle 25: LMM mit „KnöchelDiff“, „Lokspez“ und „Alter“	34
Tabelle 26: LMM mit „RistDiff“, „Lokspez“ und „Alter“	34
Tabelle 27: LMM mit „VorfußDiff“, „Lokspez“ und „Alter“	35

Tabelle 28: LMM mit „OS20Diff“ und „UntNr“, Fälle „Knie“	35
Tabelle 29: LMM mit „US15Diff“ und „Geschlecht“, Fälle „Knie“	36
Tabelle 30: LMM mit „USklUDiff“, „Geschlecht“ und „UntNr“ sowie „Alter“, Fälle „Knie“	36
Tabelle 31: LMM mit „KnöchelDiff“ und „Geschlecht“, alle Fälle „Knie“	37
Tabelle 32: LMM mit „OS20Diff“ und „UntNr“	39
Tabelle 33: LMM mit „GrAbst1u5Diff“, „UntNr“ und „ZeitpostOP“	40
Tabelle 34: LMM mit „U15OArmDiff“, „UntNr“, „Alter“, „ZeitpostOP“ und „Lokspez“	40
Tabelle 35: LMM mit „ElleDiff“, „UntNr“, „Alter“ und „ZeitpostOP“ sowie „Lokspez“	41
Tabelle 36: LMM mit „U10OArmDiff“ und „Alter“	42
Tabelle 37: LMM mit „UHandGDiff“ und „Lokspez“	43
Tabelle 38: LMM mit „U15OArmDiff“, „UntNr“ und „ZeitpostOP“	44
Tabelle 39: LMM mit „GrAbst1u5Diff“ und „UntNr“	45
Tabelle 40: LMM mit „U15OArmDiff“, „UntNr“ und „ZeitpostOP“	45
Tabelle 41: LMM mit „ElleDiff“, „UntNr“ und „Alter“	45
Tabelle 42: LMM mit „U10OArmDiff“ und „Alter“	46
Tabelle 43: LMM mit „UHandGDiff“ und „UntNr“	46
Tabelle 44: Auswahl des Aufsatzes für PhysioTouch®	73
Tabelle 45: Test auf Normalverteilung, Shapiro-Wilk-Quotient.....	81

Abkürzungsverzeichnis

ElleDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Elle“
G-CSF	<i>Granulocyte-Colony Stimulating Factor</i> = Granulozyten-Kolonie-stimulierender Faktor
GrAbst1u5Diff	Differenz der Handspannen (links vs. rechts)
KnieDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Knie“
KnöchelDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Knöchel“
KPE	komplexe physikalische Entstauungstherapie
LMM	<i>Linear Mixed Model</i> = gemischtes lineares Modell
Lokspez	spezielle Lokalisation
MLD	manuelle Lymphdrainage
NSAIDs	<i>Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs</i> = nichtsteroidale Antirheumatika
OP	Operation
OS10Diff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Oberschenkel 10 cm oberhalb des Knies“
OS20Diff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Oberschenkel 20 cm oberhalb des Knies“
OSG	oberes Sprunggelenk
PFNA	proximaler Femurnagel
PLA ₂	Phospholipase A ₂
PLC	Phospholipase C
postOP	postoperativ
PT	PhysioTouch®
RCT	<i>Randomized Controlled Trial</i> = randomisierte kontrollierte Studie
RistDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Rist“
TEP	totale Endoprothese
TNF α	Tumornekrosefaktor α
U10OArmDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Unterarm 10 cm unterhalb der Elle“
U15OArmDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Oberarm 15 cm oberhalb der Elle“
UHandGDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Handgelenk“
UMG	Universitätsmedizin Göttingen
UMHandDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Mittelhand“
UntNr	Untersuchungsnummer
US15Diff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Unterschenkel 15 cm unterhalb des Knies“
USklUDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Unterschenkel kleinster Umfang“
VAS	visuelle Analogskala
VorfußDiff	Differenz der Umfänge (links vs. rechts) am Messpunkt „Vorfuß“

1 Einleitung

Der Mensch besteht zu zwei Dritteln aus Flüssigkeit. Doch was passiert, wenn sich diese Flüssigkeit vermehrt im Gewebe ansammelt? Jahrhundertlang hatte man die Rolle des Lymphgefäßsystems unterschätzt und keine Trennung zum Blutgefäßsystem erlaubt. Vermutlich war der schwedische Wissenschaftler Olof Rudbeck (1630 - 1708) der Erste, der die große Bedeutung des lymphatischen Systems richtig erkannte, und heute ist sicher, dass die Lymphzirkulation einen entscheidenden Kernpunkt in der Regulation der Hämostase des menschlichen Körpers spielt (Chikly 1997; Chikly 2005; Vairo et al. 2009).

Eine Schwellung tritt häufig als Komplikation einer Operation auf. Stase und Behinderung der Zirkulation sowie eine frühe Therapie sind dafür verantwortlich (Klipstein und Michel

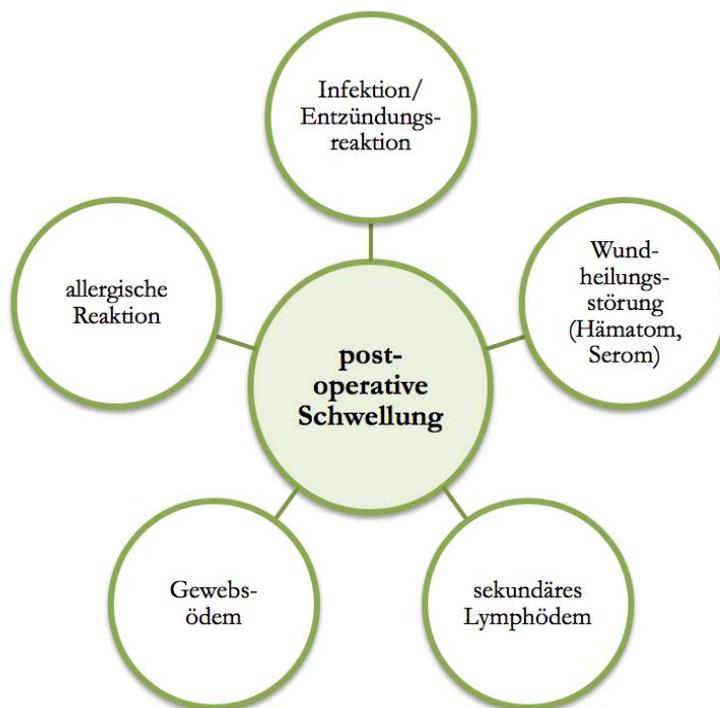


Abbildung 1: Ursachen postoperativer Schwellung

soll hier u. a. auch posttraumatisch oder postoperativ bedeuten. In einigen Fällen passiert es, dass ein akutes Ödem nach einer Operation in einen subakuten oder gar chronischen Zustand übergeht (Knygsand-Roehoej und Maribo 2011). Um dies zu verhindern bzw. die zahlreichen Komplikationen, die mit einem Ödem generell verbunden sind, zu vermeiden, ist ein effektives Therapiemanagement notwendig.

2008). Ist die Schwellung wegdrückbar, nicht schmerzhaft, gleich- oder kleiner werdend, nicht mit Hautveränderungen verbunden und maximal zwei Wochen bestehend, sind dies Anzeichen für ein sogenanntes Gewebsödem. Weitere Ursachen für postoperative Schwellungen sind Wundheilungsstörungen in Form von Seromen oder Hämatomen, allergische Reaktionen und Infektionen mit oftmals systemischer Auswirkung – die eine Entzündungsreaktion (*Tumor, Rubor, Calor, Dolor, Functio laesa*) hervorrufen – und das sekundäre Lymphödem. Sekundär

1.1 Das Lymphgefäßsystem

Beim Lymphgefäßsystem – grün in Abbildung 2 dargestellt – handelt es sich anders als beim Blutgefäßsystem nicht um einen Kreislauf, sondern um eine „Einbahnstraße“, die Lymphflüssigkeit von peripher nach zentral zurück in den Blutkreislauf leitet (Kasseroller 1999). Hauptfunktion ist dabei der Abtransport nicht venös gängiger Produkte. Dazu zählen hydrophobe Lipide, z. B. Chylomikronen, und Proteine mit hoher molarer Masse aus dem Verdauungstrakt. Auch überschüssige Gewebsflüssigkeit aus dem Endstrombahngebiet gelangt über Lymphgefäße nach zentral. So wird ein Anstieg des interstitiellen Drucks verhindert (Kasseroller 1999; Földi 2015).

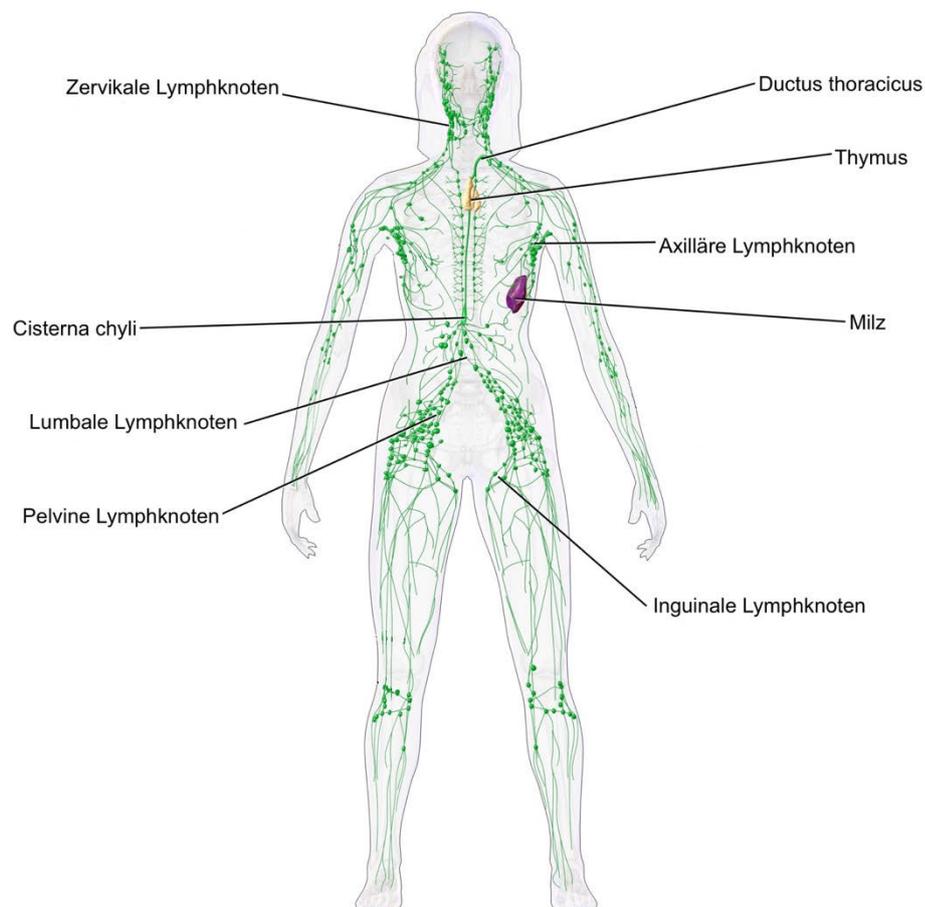


Abbildung 2: lymphatisches System, modifiziert nach https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0623_LymphaticSystem_Female.png, heruntergeladen am 14.08.2018, zur freien Verwendung gekennzeichnet

Letztendlich ist das Lymphgefäßsystem als Überlauf im Abflusssystem des Bindegewebes zu verstehen, dessen Transportkapazität je nach Menge an lymphpflichtiger Last – wozu die Eiweiß-, Wasser-, Zell-, Fremdstoff- und Fetlast zählen – variiert. Normalerweise werden am Tag zwei bis vier Liter Lymphe über das lymphatische System transportiert (Kasseroller 1999; Földi 2015).

Die initialen Lymphgefäße – klappenlose Lymphkapillaren – beginnen blind im lockeren Bindegewebe der Dermis und subfaszial, so nehmen sie im ganzen Körper Lymphe auf. Im Anschluss finden sich Präkolektoren mit vereinzelt Klappen, um einen Rückstrom zu vermeiden. Diese münden wiederum in Kollektoren, die sich zu Lymphgefäßbündeln vereinigen (Földi 2015; Majewski-Schrage und Snyder 2016). Entscheidende Bestandteile des Lymphgefäßsystems sind die Lymphangione. Diese sogenannten „Lymphherzen“ stellen Duplikaturen des Endothels zwischen zwei unidirektional gerichteten Klappen dar und sichern den Lymphfluss entgegen dem hydrostatischen Gradienten, besonders beim stehenden Menschen (Breslin 2014).

Die Lymphflüssigkeit der Beine, der Bauch- und Beckenhaut sowie des Genitals fließt über die Leisten-, Becken- und Bauchraumlymphknoten in die *Cisterna chyli*. Aus dieser entspringt der *Ductus thoracicus*, das größte Lymphgefäß des Körpers. Auch die Lymphe aller Bauchorgane, außer Teilen der Leber, und Lymphflüssigkeit der linken Brust- und Rückenhälfte sowie des linken Armes drainieren – letztere über die axillären Lymphknoten – den *Ductus thoracicus*, welcher dann in den linken Venenwinkel einmündet. Analog entleert der *Ductus lymphaticus dexter* Lymphe aus dem rechten oberen Körperquadranten in den rechten Venenwinkel. Mit Venenwinkeln sind dabei die Vereinigungen der *Venae subclaviae* mit den *Venae jugularis internae* gemeint (Kasseroller 1999).

1.2 Definition und Pathomechanismus von Ödemen

Ganz allgemein gesagt, ist ein Ödem Folge eines Missverhältnisses zwischen dem Zu- und Abtransport von Flüssigkeit mit verschiedensten Ursachen. Dabei ist „Ödem“ nur als Symptom zu betrachten, nie als Diagnose (Kasseroller 1999).

Die in Abbildung 3 gezeigten Ursachen der Ödementstehung sind in dynamisch und lymphostatisch aufgeteilt. Bei einem **dynamischen Ödem** ist das Lymphgefäßsystem vollkommen intakt, lediglich dessen Transportkapazität ist überschritten, da es ein Überangebot an Flüssigkeit gibt, z. B. durch einen Blutrückstau bei Herzinsuffizienz. Dagegen liegt die Pathologie beim **lymphostatischen Ödem** im Lymphapparat selbst, entweder durch organische oder durch funktionelle Störungen. Es bezeichnet somit eine Flüssigkeitsansammlung im extrazellulären Raum und entsteht, wenn es aufgrund einer eingeschränkten Transportkapazität des Lymphgefäßsystems zu einer Stauung von Lymphflüssigkeit kommt.

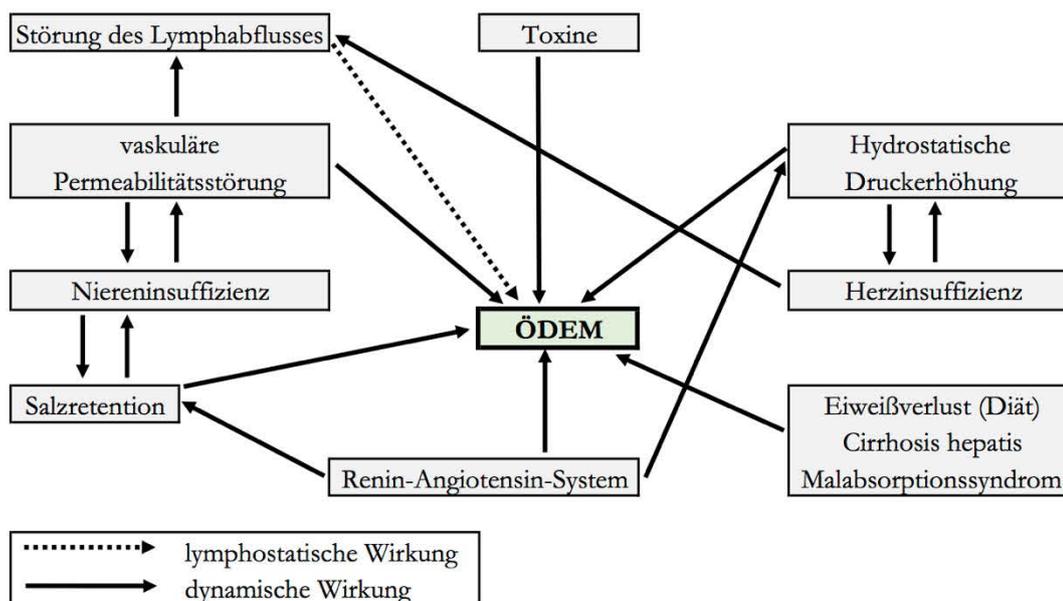


Abbildung 3: Ursachen für die Entstehung von Ödemen, modifiziert nach Kasseroller 1999, S.85

Ursächlich ist im Fall des **postoperativen Ödems** bzw. **posttraumatischen Ödems** meist die länger andauernde Immobilisation, die den venösen Rückfluss verlangsamt, da die Muskelpumpe ausfällt. Außerdem beeinflusst ein Trauma generell die Knochen, das Weichteilgewebe inklusive der Muskulatur, das Blutgefäßsystem sowie das Lymphgefäßsystem. Bei Operationen können sowohl direkt Teile des Lymphgefäßsystems zerstört werden als auch entzündliche Prozesse im Anschluss einen Verschluss von Lymphgefäßen verursachen (Kasseroller 1999; Herpertz 2010; Waško et al. 2016; Hirsch und Wahl 2017). Die drainierende Lymphmenge überschreitet somit die Transportkapazität des Lymphgefäßsystems. Jedoch ist die Pathophysiologie auf molekularer Ebene weitaus komplexer: Jede Operation bewirkt im Körper physiologische und biochemische Veränderung mit dem Ziel der Abschottung von Schadenszonen, dem Abbau von nekrotischen und infiziertem Gewebe sowie die Regenerationsinduktion. So gesehen wird von chirurgischer Schadensbegrenzung gesprochen (Keel und Wagner 2008). Infolge der Auseinandersetzung des Gesamtorganismus mit dem verletzten Gewebe kommt es zur lokalen und systemischen Mediatorausschüttung, neuroendokrinen und metabolischen Reaktionen und Freisetzung verschiedener proinflammatorischer Substanzen. Dazu zählen vor allem Zytokine wie $\text{TNF}\alpha$, Interleukine und G-CSF sowie Phospholipide wie PLA_2 und PLC. Diese werden von Makrophagen, Monozyten, neutrophilen Granulozyten, Parenchymzellen und Natürlichen Killerzellen ausgeschüttet (Keel und Wagner 2008). Hypoxie und Kaliumanstieg infolge mechanischer Schäden verstärken den Effekt. Zytokine und Phospholipide aktivieren wiederum das Komplementsystem, was Parenchymzellyse über den Membranangriffskomplex und die Ausschüttung von Opsoninen und Histamin zur Folge hat. Aus der Arachidonsäure – die durch PLA_2 entsteht – werden über die Cyclooxygenase Prostaglandin E_2 , Leukotrien B_4 und Thromboxan A_2 gebildet. Darüber werden Thrombozyten und somit das Gerinnungssystem aktiviert (Keel und Wagner 2008). So werden weitere inflammatorische Zellen

rekrutiert und die Permeabilität der Gefäße sinkt. Zudem spielt das Kallikrein-Kinin-System eine große Rolle. Es fördert die Vasodilatation und steigert die Gefäßpermeabilität der Kapillaren (Keel und Wagner 2008). All diese komplexen Mechanismen tragen letztendlich zur Ödembildung bei, da die Gefäßpermeabilität erhöht ist. Durch den steigenden Filtrationsdruck gelangt zu viel Flüssigkeit ins Interstitium (Földi 2015; AWMF 2017).

Unterschieden werden beim organisch verursachten lymphostatischen Ödem **primäre kongenitale Lymphödeme** aufgrund angeborener Fehlbildungen oder Lymphgefäßerkrankungen von **sekundären Lymphödemem**, die im Rahmen verschiedener erworbener Grunderkrankungen auftreten (Kasseroller 1999). Somit gehören zu den wichtigsten Ursachen Krebserkrankungen und ihre therapeutischen Maßnahmen wie Strahlentherapie, Operationen, die das Lymphgefäßsystem schädigen, und die chronisch venöse Insuffizienz der unteren Extremitäten, die das sogenannte Phlebödem verursacht (Preston et al. 2008; Huck 2009).

Der Pathomechanismus des sekundären Lymphödems gleicht im Prinzip dem des harmloseren traumatischen Gewebsödems, allerdings ist es nicht nur lokal, sondern die gesamte Extremität – vor allem auch der Bereich distal der Läsion – ist betroffen (Brunner 1983). Hauptsymptom ist ein einseitiges Schwere- und Spannungsgefühl mit entsprechend latenter Schwellung (0, subklinisch), Ödem mit weicher Konsistenz (I, reversibel), bis zur Hautatrophie und weiteren sekundären Gewebeveränderungen (II, irreversibel) und deformierten harten Schwellungen bzw. Elephantiasis (III) (AWMF 2017). Diese Zustände stellen schwerwiegendere Komplikationen dar. Jedoch auch ein postoperatives, vermeidlich harmloses Gewebsödem kann den Heilungsprozess der Wunde verlangsamen, ein Risiko für Infektionen darstellen, die Bewegung des Gelenks zusätzlich einschränken und somit eine Immobilisation hinauszögern, was wiederum weiteres Anschwellen bedingen kann.

1.3 Folgen prä- und postoperativer Ödeme

Die gestaute Flüssigkeit im Gewebe führt zu Formveränderungen, Schmerzen und Funktionseinschränkungen, die sowohl die Mobilität als auch das Wohlbefinden sowie die Lebensqualität (Stolldorf et al. 2016) des Patienten einschränken. Durch die Behinderung des Heilungsprozesses treten höhere postoperative Komplikationsraten in Bezug auf Infektionen und Wundheilungsstörungen auf, die die Entlassung aus dem Krankenhaus verzögern können (Thordarson et al. 1997; Herpertz 2010; Majewski-Schrage und Snyder 2016). Zudem können operative Frakturversorgungen oft erst nach Abschwollen massiver posttraumatischer Ödeme stattfinden (Rohner-Spengler et al. 2014). Von Wundheilungsstörungen über Schmerzen bis hin zu persistierenden Kontrakturen haben die Schwellungen eine Reihe negativer Folgen für den Behandlungserfolg (Klipstein und Michel 2008). Ödematöses Gewebe ist durch die Vorschädigung anfälliger für opportunistische Infektionen und

„Problemkeime“. Die Haut ist weniger resistent gegen äußere Einflüsse wie beispielsweise Mykosen (Kasseroller 1999).

Die effektive Reduktion von Schwellungen ist sowohl im prä- und postoperativen Bereich als auch aus wirtschaftlicher Sicht von großer Bedeutung. Vorrangige Behandlungsziele in der Akutphase – erste bis zweite Woche nach OP oder Trauma – sind die Analgesie und Resorptionsförderung. Je schneller Schwellung und Schmerz abklingen, desto zügiger kann der Heilungsprozess verlaufen, die Liegedauer verkürzt sich. Patienten können früher rehabilitiert werden und sind schneller arbeitsfähig (Herpertz 2010; Airaksinen et al. 2011; AWMF 2017).

1.4 Eigenschaften und Diagnostik des postoperativen/ posttraumatischen Lymphödems

Die Inzidenz des sekundären Lymphödems liegt in den Industriestaaten bei ca. 0,13 bis 2%, die Zahl steigt mit dem Alter (Moffatt et al. 2003; AWMF 2017). Das Verhältnis männlich zu weiblich liegt bei 1 : 3,5 (Neuhüttler und Brenner 2006). Nach traumatischen Ereignissen der Extremitäten leiden nahezu alle Patienten an postoperativen Ödemen, 20 bis 25% sogar an chronischen Ödemen (Szczesny und Olszewski 2002). Dies sei auf die inflammatorischen und restaurativen Prozesse nach einem Trauma zurückzuführen (Szczesny et al. 2000), die auch die Lymphknoten betreffen (Szczesny und Olszewski 2002). Insgesamt handelt es sich bei drei Viertel der nicht-onkologischen sekundären Lymphödeme (49,2%) um traumatisch bedingte Ödeme (Neuhüttler und Brenner 2006).

Für die Diagnosestellung reichen Anamnese, Palpation und Inspektion oft aus. Blickdiagnostisch imponiert eine hautfarbene, pralle Schwellung mit typisch hartem Charakter, verursacht durch den hohen Eiweißgehalt (Brunner 1983) und Asymmetrie der Extremitäten. Generell besteht Schmerzfreiheit, Spannungsgefühle oder ein Ziehen bis hin zu brennenden Schmerzen können jedoch auftreten (Neuhüttler und Brenner 2006). In fortgeschrittenen Stadien treten Verhärtungen bevorzugt am Ellenbogen an der oberen Extremität und im Kniebereich auf, wenn die untere Extremität betroffen ist. Typisch ist, dass Zehen- und Fingerlymphödeme bestehen, wobei Hautfalten breit und kaum abhebbar sind, das sogenannte positive Stemmersche Hautfaltenzeichen (Kasseroller 1999). In frühen Stadien ist der Dellentest positiv. Durch Eindrücken der Haut bleibt eine sichtbare Delle bestehen (Földi 2015). An festgelegten, zuvor genau markierten Stellen der Gliedmaßen werden im Links-Rechts-Vergleich Umfangsmaße genommen (Haeger 2006). Laut International Society of Lymphology gilt die Umfangszunahme von mindestens zwei Zentimetern einer Seite als Diagnosekriterium für das Lymphödem (Kasseroller 1999). Eine polnische Studie bestätigte bei 19 Patienten, die an postoperativen chronischen Ödemen litten, dass Vergrößerungen der Umfänge an Fuß, Knöchel, Wade und Oberschenkel im Vergleich zur gesunden Extremität typisch sind (Szczesny et al. 2000).

1.5 Therapeutische Maßnahmen zur Reduktion prä- und postoperativer Schwellungen

Therapeutisch konservative Maßnahmen mit dem Behandlungsziel der Schwellungsreduktion gibt es zahlreiche. Die Frage, welche dieser Maßnahmen am effektivsten ist, bleibt bis heute kontrovers diskutiert (Myerson und Henderson 1993; Thordarson et al. 1997; Bleakley et al. 2004; Preston et al. 2008; Munk et al. 2013; Rohner-Spengler et al. 2014; Aydin et al. 2015; Pichonnaz et al. 2016; Whatley et al. 2017). Zu diesen zählen das Hochlagern betroffener Extremitäten, Kälteanwendungen – herkömmlich oder zum Beispiel mit spezieller Kryotherapie zur Resorptionssteigerung der überschüssigen Flüssigkeit (Rohner-Spengler et al. 2014) – Bandagieren und Kompressionstherapie mit entsprechenden Strümpfen oder Ärmeln. Auch Hautpflege, Entstauungstherapien und -gymnastik in Form der MLD, Physiotherapie sowie Bewegung zur Steigerung des Lymphabflusses durch die Muskelaktivität, bis hin zu neueren Techniken wie pneumatischer Kompressionstherapie (Preston et al. 2008; Huck 2009) gehören dazu. Effektiver können all diese therapeutischen Maßnahmen in Kombination zusammenwirken, z. B. als „**ELCH**-Schema“ bekannt: **E**is, **L**ymphdrainage, **C**ompression, **H**ochlagerung (Herpertz 2010). Standardtherapie laut Leitlinie 2017 ist die komplexe physikalische Entstauungstherapie (KPE), eine Tetrade aus MLD, Kompression, entstauender Krankengymnastik und Hautpflege mit Erysipelprophylaxe sowie begleitender Patientenaufklärung und -schulung (AWMF 2017). Aus klinischer Erfahrung hat sich herausgestellt, dass nur alle vier Säulen in Kombination optimal wirksam sind (Földi 2015). Der isolierte Einsatz einzelner Bestandteile der KPE ist nicht zu empfehlen (AWMF 2017). Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass sich jedes Ödem mit Flüssigkeitsansammlung im Interstitium tendenziell durch Druck von außen beeinflussen lässt. Für medikamentöse wirksame Therapien zur Schwellungsreduktionen gibt es kaum Hinweise in Studien (Kasseroller 1999; Kerkhoffs et al. 2004; Fotiadis et al. 2011; Waśko et al. 2016; AWMF 2017). Viele Autoren (Preston et al. 2008; Vairo et al. 2009; Majewski-Schrage und Snyder 2016; Waśko et al. 2016) kommen außerdem zu dem Schluss, dass es einen dringenden Bedarf an geschickt geplanten randomisierten Studien zu physiotherapeutischen abschwellenden Maßnahmen gibt, um Klarheit zu schaffen.

1.5.1 Hochlagerung der geschwollenen Gliedmaßen

Entsprechende Lagerungstechniken können diverse Ziele erreichen. Das Ziel der Ödemprophylaxe und Ödemresorption wird durch die Hochlagerung erreicht (Haeger 2006).

Die Horizontallagerung im Krankenbett nach Operationen bewirkt ein automatisches Sinken des Blutdrucks. Der Gewebsdruck ist durch die OP bzw. das Trauma erhöht. Es kommt zum Absinken des arteriellen Zustroms, aber auch zu verringertem venösem Abstrom. Der erhöhte interstitielle Druck im verletzten Gewebe verstärkt das Missverhältnis zusätzlich. Den herrschenden Umständen muss u. a. durch Hochlagerung der betrof-

fenen Gliedmaße entgegengewirkt werden (Moorahrend und Glöckler-Lang 2004), denn die Hochlagerung fördert den venösen Abfluss und der Gewebsdruck kann wieder sinken.

1.5.2 Verbände und Kompressionstherapie

Laut der Leitlinie „Diagnostik und Therapie der Lymphödeme“ (AWMF 2017) verfolgt die Kompressionstherapie vier wesentliche Ziele: Reduktion der lymphpflichtigen Last durch Normalisierung der Ultrafiltration, verstärkter Flüssigkeitseinstrom vom Gewebe in die Lymphgefäße, Lymphflusserhöhung in den Gefäßen, antiödematöse Wirkung durch Reduktion des venösen Drucks. Dazu sollen in Phase I des Lymphödems mehrlagige Wechselverbände benutzt werden, in Phase II bevorzugt speziell angefertigte Kompressionsstrümpfe (Mosti und Mattaliano 2007; Partsch 2012).

Kompressionsverbände gehören zu den Stützverbänden und bedürfen einer optimalen Wickeltechnik mit Langzug- und Kurzzugbinden. Indiziert sind diese bei Thrombose und venösen Rückflussstörungen, kontraindiziert u. a. bei arteriellen Durchblutungsstörungen und massiven Beinödemen (Büsch 2006). Dagegen können sogenannte Tapeverbände die Muskelpumpe antreiben und Schwellungen verhindern. Angelegt werden diese mit dem Ziel, Ödeme und Hämatome abzubauen (Büsch 2006).

Die Kompressionstherapie im Sinne des Bandagierens mit mehreren Lagen scheint eine effektive Methode zur postoperativen Schwellungsreduktion bei Patienten mit Sprunggelenksfrakturen zu sein (Rohner-Spengler et al. 2014). Eine Verringerung der Liegezeit im Krankenhaus wurde vermutet. Zu demselben Entschluss kamen andere Autoren. Das Risiko für Wundkomplikationen erhöhte sich durch die Kompression nicht (Whatley et al. 2017).

Intermittierende pneumatische Kompression bewirkt einen Effekt durch Aktivierung der venösen „Fußpumpe“ mithilfe eines Luftpads unter der Fußsohle, welches sich alle 20 Sekunden aufbläst (Stöckle et al. 1997). Dieser Effekt ergab sich teils nur mit zusätzlichen Maßnahmen wie Kühlen und Hochlagern (Rohner-Spengler et al. 2014). Dagegen meinten andere Verfasser (Stöckle et al. 1997; Thordarson et al. 1997), dass gerade in der präoperativen Phase das intermittierende A-V Impuls System zur schnellen Abschwellung führt und zwar schneller als kontinuierliche Kühlung der betroffenen Gliedmaße. Die präoperative Schwellungsreduktion nach 24-stündiger Anwendung der intermittierenden Kompressionstherapie erbrachte eine Schwellungsreduktion um 53%, postoperativ nach viertägiger Anwendung im Durchschnitt sogar 74% (Stöckle et al. 1997). In einer britischen Studie wurde die Reduktion von Wund- und Hautkomplikationen sowie präoperativer Schwellung nach isolierten Sprunggelenksfrakturen beobachtet (Caschman et al. 2004). Auch Preston et al. bestätigten die abschwellende Wirkung nach Traumen, äußerten aber Bedenken aufgrund zu schneller Umverteilung von Flüssigkeit (Preston et al. 2008).

Es gilt festzustellen, dass es viele unterschiedliche Möglichkeiten der Kompression gibt, begonnen von der Art bis zu der Steifigkeit und Elastizität des verwendeten Materials, wel-

ches entscheidenden Einfluss auf die Effektivität der Schwellungsreduktion zu haben scheint (Mosti und Mattaliano 2007). Studien ergaben u. a. aus diesem Grund kontroverse und uneinheitliche Ergebnisse bezüglich Anwendung und Effektivität (Partsch 2012).

1.5.3 Lokale Kälteanwendungen

Mit Kältetherapie sind physikalische Therapie-Anwendungen unterhalb 34 bis 35 °C gemeint. Irrtümlich wird Kältetherapie oft mit Kryotherapie (= Eistherapie) gleichgesetzt, obwohl es sich dabei um eine spezielle Form handelt (Vorbrot und Behnke 2006b). Schon 1955 war klar, dass Kälte zum Beispiel in Form von Eis-Packs zu einer schnelleren Reduktion von Schwellungen führen kann (Bierman 1955). Später wurde bestätigt, dass postoperativ angewendete Kälte in Form von kontinuierlicher Kryotherapie durchschnittlich eine Reduktion der Schwellung um 70%, bei der Verwendung von Eis-Packs um 45% erwirkte (Stöckle et al. 1997).

Kaltmaßnahmen können die Lymphmotorik steigern, allerdings schränkt Eis ein gesundes Lymphgefäßsystem in dessen Transportleistung ein und schädigt bereits gestörte Lymphgefäße zusätzlich. Lediglich in der posttraumatischen bzw. postoperativen Akutphase sollte Eis maximal zehn Minuten appliziert werden, um das Auftreten von Schwellungen zu vermeiden. Auf Körperpartien, die bereits geschwollen sind, dürfen entgegen weit verbreiteter Praxis keine kryotherapeutischen Maßnahmen angewendet werden, da diese ein weiteres Anschwellen fördern und die Entzündungsparameter anheben können (Vorbrot und Behnke 2006b).

Deutsche Wissenschaftler fanden heraus, dass lokale superfizielle Kryotherapie in den ersten sechs Stunden nach geschlossenen Weichgewebsschädigungen mikrovaskuläre Dysfunktionen und Inflammation reduzierten, aber keinen signifikanten Einfluss auf die Ödemreduktion zeigten (Schaser et al. 2007). Auch in einer Analyse von 60 Artikeln aus den Jahren 1993 bis 2005 zum Thema Kryotherapie nach Operation oder Trauma zeigte sich, dass Kälteanwendungen zwar analgetisch wirkten, aber in keiner Studie konnte eine signifikante Reduktion der Schwellungsbildung bewiesen werden (Cina-Tschumi 2007).

Problematisch für allgemeine Empfehlungen sind die kontroversen Studienergebnisse und die unterschiedlichen Verfahren. So unterscheidet man zwischen Kurzzeit- und Langzeitkälteanwendung, wobei erstere durch eine Dauer von wenigen Sekunden bis zehn Minuten gekennzeichnet ist und für die Ödemreduktion angewendet wird. Auch die Form der Anwendung ist entscheidend. Kryotherapie wird oft nicht toleriert und kann Gewebsschäden induzieren (Moorahrend und Glöckler-Lang 2004).

1.5.4 Entstauungstherapien und -gymnastik

Die manuelle Lymphdrainage (MLD) ist eine anerkannte physiotherapeutische Maßnahme zur postoperativen Schwellungsreduktion und wird auch an der UMG regelmäßig praktiziert. Mit schonenden manuellen Gewebsverformungen an der Körperoberfläche werden

Ansammlungen von Gewebeflüssigkeit verstärkt abtransportiert. Die Therapie soll stets beruhigend – nicht erregend – wirken. Dies wird durch geringe Drücke erreicht und ist der Hauptunterschied zur klassischen Massage (Kasseroller 1999). Ziele der Lymphdrainage wurden wie folgt definiert: Neben der Besserung der Lymphtransportkapazität durch eine Steigerung der Eigenmotorik der glatten Muskulatur der Lymphgefäße sowie der Neubildung von Lymphkapillaren an Unterbrechungsstellen gehörten auch Schmerzlinderung und eine Vagotonisierung durch Entspannung während der Massagetechnik dazu (Vorbrot und Behnke 2006a). Die meist praktizierte Technik nach Vodder bedarf einer speziellen Ausbildung und zeichnet sich durch langsame kreisende Bewegungen mit ein- und ausschleichendem Druck an den Lymphknotenregionen und entlang der Fließrichtung der Lymphe in den Gefäßen aus. Bei professioneller Ausführung beherrschen Therapeuten Basis-, Ödem- und Fibroelockerungsgriffe, die an den jeweiligen Stellen fünf- bis siebenmal wiederholt werden (Vorbrot und Behnke 2006a). Ablaufen sollte die MLD in entspannter Atmosphäre bei schmerzfreier Lagerung des Patienten. Die Drainage wird immer im sogenannten Terminusbereich – dem Mündungsgebiet der Lymphe in den rechten bzw. linken Venenwinkel (Kasseroller 1999) – begonnen.

In der Orthopädie und Unfallchirurgie sollte MLD möglichst früh nach OP oder Trauma begonnen werden, um Hämatome und Schwellungen zu vermeiden. Lymphdrainage unterstützt die Neubildung traumatisch bedingter Unterbrechungen der Lymphgefäße. Die Abflusswege sollen durch die Therapie freigelegt werden. Das Vorarbeiten zum Operationsgebiet folgt (Kasseroller 1999). Je nach betroffenem Areal kann eine rein örtliche oder eine Ganzbehandlung bei gesamter betroffener Extremität durchgeführt werden (Vorbrot und Behnke 2006a). Ein zusätzlicher positiver Effekt der Lymphdrainage bei frischen Narben nach OP ist ein Nachlassen des Juckreizes und des Spannungsgefühls. Lokalen Hämatomen kann vorgebeugt werden, bereits bestehende sind ableitbar. Auch Muskelverspannungen, die sich z. B. bei Coxarthrose präoperativ durch Fehl- und Schonhaltungen entwickelt haben, können gelöst bzw. gelindert werden. (Kasseroller 1999).

1.5.5 Neuartiges Konzept – der therapeutische Einsatz von negativem Druck

Die bisherige konservative lymphatische Therapie war hauptsächlich durch positive Druckanwendungen wie MLD und Kompression etc. gekennzeichnet. Eine neuartige Methode stellt das Unterdruckprinzip dar. Im Gegensatz zum positiven Druck handelt es sich hierbei eher um ziehende, öffnende Kräfte, die auf das Gewebe einwirken, wodurch der lokale externe Gewebedruck sinkt (Gott et al. 2018). Ein Beispiel für negativen Druck ist die Technik der tiefen Atmung, die teils Bestandteil konservativer lymphatischer Therapiekonzepte ist (siehe Kapitel 4.3.4.4). Weiteres bekanntes Beispiel stellt das kinesiologische Taping dar. Indirekt entsteht der negative Druck bei dieser Anwendung durch Zugsbewegungen im Gewebe, die durch die Adhäsion der Haut an das Tape entstehen. In frühen Stadien sekundärer Lymphödeme kann kinesiologisches Taping zum Abschwellen beitragen (Malicka et al. 2014). Bisher weniger etablierte Methoden sind Therapien mit Unter-

druck generierenden Geräten, wie PhysioTouch®, die im Folgenden genauer beleuchtet werden.

1.6 Prinzip und Wirkungsweise von PhysioTouch®

PhysioTouch® – in Abbildung 4 zu sehen – ist ein Medizingerät der Firma HLD Healthy Live Devices Ltd., welche mittlerweile unter dem Namen LymphaTouch® Inc. arbeitet. Dabei handelt es sich um eine finnische Gesundheitstechnologie-Firma. Das erste LymphaTouch® Gerät wurde 2005 auf den Markt gebracht und seither stetig weiterentwickelt. Zwischenzeitlich war es unter dem Modellnamen PhysioTouch® in Anwendung. Indem es das Lymphgefäßsystem aktiviert, findet das Medizingerät Anwendung im prä- und postoperativen Bereich und reduziert Schwellungszustände. Über den Behandlungskopf mit dem in entsprechender Größe gewählten Aufsatz (siehe Tabelle 44: Auswahl des Aufsatzes für PhysioTouch® im Anhang), der auf die Haut aufgesetzt wird, generiert das Gerät Unterdruck.



Abbildung 4: Medizingerät PTDeviceAlphaA02, Abk.: PT = PhysioTouch®, Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma LymphaTouch® Inc., 1 = Steuerungseinheit mit Akku und Touchscreen, 2 = Behandlungskopf mit austauschbaren Aufsätzen in verschiedenen Größen

Tabelle 1: Einstellung der Stärke des Unterdrucks am Gerät PhysioTouch®

Unterdruck	Beschaffenheit des Gewebes
20 - 50 mmHg	sensible/empfindliche und gealterte Haut
50 - 100 mmHg	normales Gewebe
100 - 200 mmHg	normales und strafferes Gewebe, Faszien, narbige Haut
200 - 250 mmHg	feste Gewebe, Faszien

Der Unterdruck kann individuell vom Therapeuten zwischen 20 bis 250 mmHg variiert und damit, wie in Tabelle 1 gezeigt, an die Beschaffenheit des Gewebes angepasst werden. Durch den negativen Druck dehnen sich Haut, Faszien und Unterhautfettgewebe, so gerät auch das Endothel der Lymphkapillaren unter Spannung, da die Ankerfilamente am umliegenden Gewebe wie den Faszien haften. Die Ankerfilamente stellen eine Besonderheit der Lymphkapillaren im Vergleich zu Kapillaren des Blutgefäßsystems dar. Durch ihre Verbindung zwischen dem Endothel und dem umliegenden Gewebe können sie auf wachsenden Druck im Gewebe reagieren, indem sie gespannt werden und dadurch die Abstände der Endothelzellen adaptieren, sodass je nach Bedarf mehr Flüssigkeit in die Kapillaren einfließen kann (Leak und Burke 1966; Leak 1968). Diesen Effekt verstärkt PhysioTouch® gezielt.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, entstehen größere Endothelfenster. Es kommt zu einer Dilatation der Kapillaren und die Lymphflüssigkeit kann leichter abfließen. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass der Lymphabfluss vom Ort des höheren Drucks zum Ort des niedrigeren Drucks gerichtet ist. Zusätzlich wird die Durchblutung verbessert. Somit erfolgt eine Anreicherung mit Sauerstoff im Gewebe (proxomed® Medizintechnik GmbH 2015; LymphaTouch® Inc. 2018). Auch die Änderung der Wandspannung der Lymphgefäße durch den negativen Druck fördert eine Dilatation und Dehnung des Lumens. Kontraktile Einheiten des Lymphsystems reagieren sensibel auf mechanische Gegebenheiten mit Anpassungen der Pumpfrequenz und des Volumens (Hargens und Zweifach 1977; Nipper und Dixon 2011).

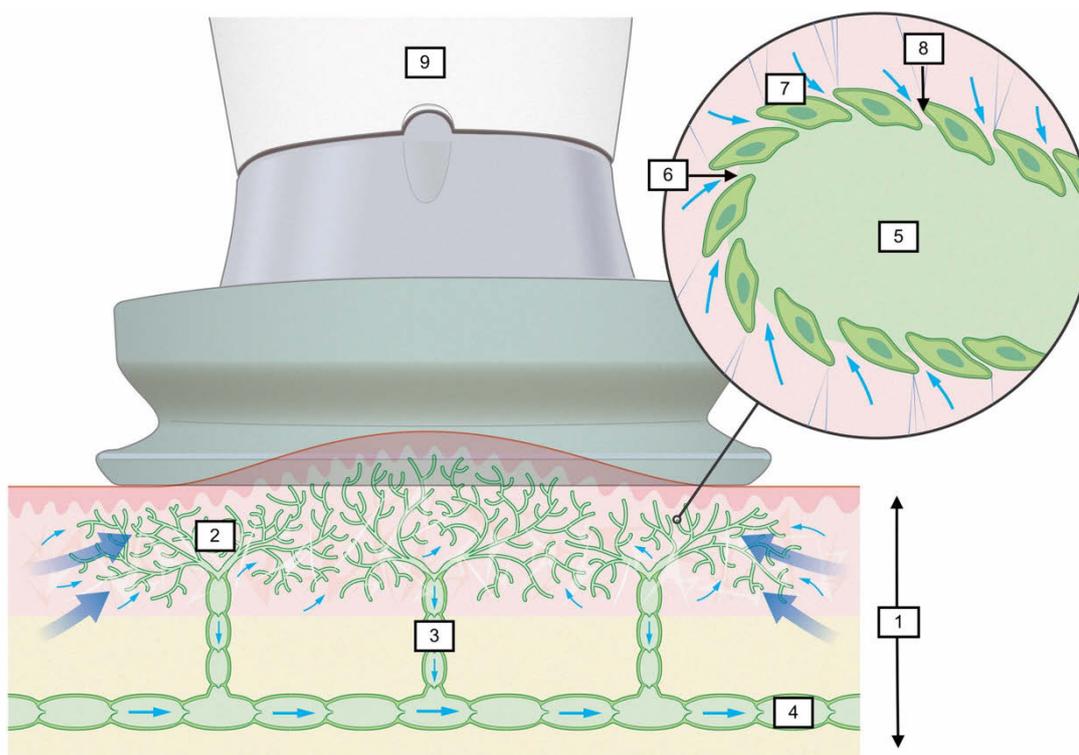


Abbildung 5: Wirkungsprinzip von PhysioTouch®, Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma LymphaTouch® Inc., 1 = Haut, Unterhautfettgewebe, Faszie; 2 = lymphatisches kapillares Netzwerk; 3 = Präkolektor; 4 = Kollektor; 5 = vergrößerte Lymphkapillare im Querschnitt; 6 = Membran; 7 = Ankerfilamente; 8 = endotheliale Lücke; 9 = PhysioTouch®-Behandlungskopf mit Aufsatz

1.7 Zielsetzung dieser Arbeit



Abbildung 6: Therapie mit PhysioTouch® am Fuß

bzw. zu diskutieren. Schlussendlich soll eine allgemeine Empfehlung oder Ablehnung zur prä- und postoperativen Anwendung der Unterdrucktherapie gefunden werden.

In dieser Arbeit soll die Unterdrucktherapie mit dem Medizingerät PhysioTouch® untersucht werden. Überprüft werden soll, ob diese Methode effizient zur Reduktion posttraumatischer und postoperativer Ödeme geeignet ist. Dazu erfolgt eine Analyse der Wirkung bei posttraumatischen Schwellungen, eine Gegenüberstellung von PhysioTouch® mit bisherigen Therapien und somit eine Einordnung in die Vielfalt abschwellender Maßnahmen im prä- und postoperativen Setting. Die Hypothese dieser Arbeit lautet: PhysioTouch® reduziert die Schwellung nach einem Trauma bzw. einer Operation effektiv durch Unterdruckapplikation. Es gilt dies zu beweisen oder zu widerlegen

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Studienablauf

In die Anwendungs- und Qualitätssicherungsstudie „prä- und postoperativer Einsatz von PhysioTouch® zur Reduktion der Schwellung an oberen und unteren Extremitäten“ wurden stationäre Patienten der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen im Zeitraum von September 2016 bis Dezember 2017 eingeschlossen. Die Operationen reichten von Osteosynthesen über Endoprothesen bis hin zu diversen Resektionen. Eine ausführliche Aufschlüsselung der Operationen ist im Anhang in Abbildung 41 zu finden, wo aufgezeigt ist, dass es sich hauptsächlich um Gelenkersatzoperationen und Osteosynthesen handelte. Die klinische Studie war prospektiv, nicht randomisiert und ohne Verblindung.

2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- prä- oder postoperativer unfallchirurgischer Patient mit einer Schwellung an einer Extremität im Seitenvergleich
- Verletzung einer Extremität
- Alter > 18 Jahre
- schriftliches Einverständnis des Patienten

Ausschlusskriterien:

- fehlende Einwilligung-/Aufklärungsmöglichkeit des Patienten
- Verletzung andernorts (z. B. Wirbelsäule)
- MLD nach Operation
- akute entzündliche Erkrankung an der betroffenen Extremität (z. B. Erysipel)
- offene Operationswunden
- schmerzhafte ausgeprägte Hämatome an der betroffenen Extremität
- akute Ekzeme im Ödemgebiet
- chronische Lymphödeme
- akute Phlebothrombose/Thrombophlebitis
- unklarer Tumorstatus bzw. Malignom in betroffener Region
- dekompensierte Herzinsuffizienz
- fortgeschrittene periphere arterielle Verschlusskrankung
- akutes Asthma bronchiale

2.1.2 Dokumentation und Messungen

Nach Aufklärung (siehe Abbildung 42 und Abbildung 43 im Anhang) des Patienten wur-



Abbildung 7: Umfangsmessung am Unterschenkel (US15)

den zunächst die betroffenen Extremitäten mit der Operationswunde mit der digitalen Kamera Sony $\alpha 6000$ foto-dokumentiert. Die Umfänge wurden in Zentimetern (Genauigkeit bis auf 0,5 cm) exakt an den festgelegten, zuvor markierten Stellen gemäß dem Buch „Leitfaden Physiotherapie“ (Haeger 2006) bestimmt, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9. Dies erfolgte mit einem handelsüblichen 150 cm-Maßband mit mm-Genauigkeit. Die oberen Extremitäten wurden in sitzender Position mit herabhängenden Armen gemessen, die Beine in liegender Position bei gestreckten Gliedmaßen.

Zur Dokumentation dienen die Messblätter der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV 2016; DGUV 2017) F4222 (obere Gliedmaßen) und F4224 (untere Gliedmaßen) (Abbildung 44 und Abbildung 45 im Anhang).

- OS20 = Oberschenkel 20 cm oberhalb der Patellamitte
- OS10 = Oberschenkel 10 cm oberhalb der Patellamitte
- Knie = Patellamitte
- US15 = Unterschenkel 15 cm unterhalb der Patellamitte
- USKIU = kleinster Umfang des Unterschenkels
- Knöchel
- Rist
- Vorfuß

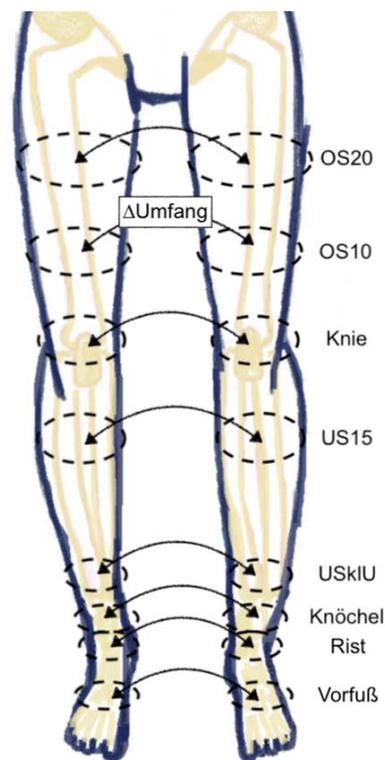


Abbildung 8: Messpunkte an der unteren Extremität

- U150Arm = Oberarm 15 cm unterhalb des Humeruskopfes
- Elle = Ellenbogengelenk
- U100Arm = Unterarm 10 cm unterhalb des Ellenbogengelenks
- UHandG = Handgelenk
- UHand = Mittelhand
- GrAbst1u5 = Handspanne

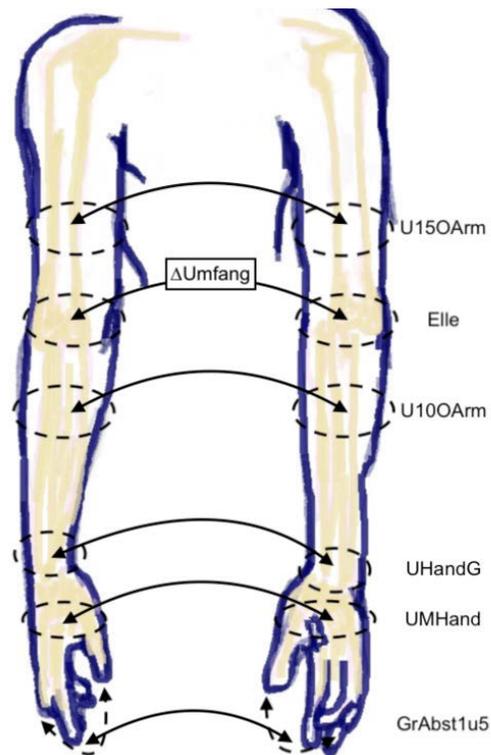


Abbildung 9: Messpunkte an der oberen Extremität

2.1.3 Durchführung der Behandlung mit PhysioTouch®

Die Patienten erhielten posttraumatisch bzw. postoperativ eine halbe Stunde täglich nach den festgelegten standardisierten LymphaTouch® Behandlungsprotokollen, Abbildung 46 und Abbildung 47 im Anhang, die Therapie mit dem Medizingerät PhysioTouch®. Dies erfolgte an maximal fünf aufeinanderfolgenden Tagen. Jeden Tag wurden erneut die Umfangsmaße zur Bestimmung des Ausmaßes der Schwellung vor der Behandlung festgestellt und dokumentiert. Auch die Fotodokumentation erfolgte täglich.

Nach einer Einführung in die Arbeitsweise und den Umgang mit PhysioTouch®, entsprechend der Medizinprodukteverordnung, wurden Messung und Behandlung nach dem identischen standardisierten Schema durchgeführt (EU-Medizinprodukte-Verordnung 2017). Die Physiotherapeuten der UMG mobilisierten die Patienten passiv und aktiv, z. B. mittels *Continuous Passive Motion*-Schiene nach Gelenkersatzoperationen und Krankengymnastik. Keiner der Patienten erhielt zusätzlich zu der PhysioTouch®-Behandlung MLD, da dies die Ergebnisse beeinträchtigt hätte.



Abbildung 10: Therapie mit PhysioTouch® bei 46-jähriger Patientin am OSG nach varisierender Osteotomie der distalen Tibia und Fibula

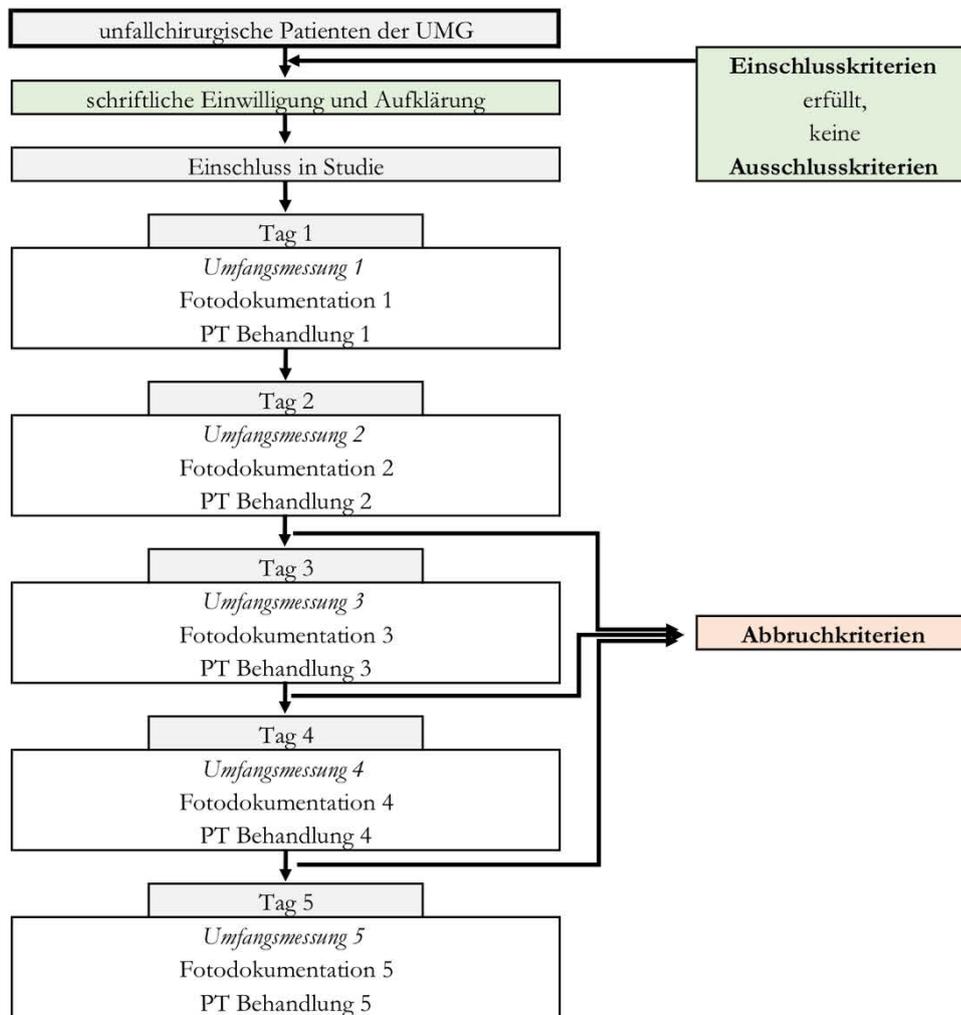


Abbildung 11: Flussdiagramm zum Studienablauf, Abk.: PT = PhysioTouch®

2.2 Datenverwaltung und statistische Auswertung

Eigens erhobene Umfragedaten wurden von den Messblättern F4224 und F4224 (Abbildung 44 und Abbildung 45) pseudonymisiert in speziell erstellte Datenmasken in FileMaker® Pro 16 übertragen. Die Aufklärungsbögen und Messblätter wurden gesondert in Ordnern abgeheftet und in einem abschließbaren Raum gelagert.

Zusätzliche elektronische Patientendaten wurden dem hauseigenen System XServ entnommen und ebenfalls in die Datenmasken, die mit dem Programm FileMaker® Pro 16 programmiert wurden, pseudonymisiert auf einem passwortgeschützten Computer in einem abschließbarem Raum gespeichert und verwaltet. Durch den Datenschutzbeauftragten der UMG wurde zu diesem Zweck ein neuer passwortgesicherter Account für XServ genehmigt und erstellt.

Zur Übersicht wurden alle Daten mit dem Programm FileMaker® Pro, Version 16.0.4.403 und Microsoft® Office Excel 2011 erfasst. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm IBM® SPSS Statistics®, Version 24. Mithilfe deskriptiv statistischer Methoden wurden Tabellen und Diagramme zur Übersicht und Struktur der Daten erstellt.

Das Signifikanz-Niveau bei den statistischen Testungen wurde auf signifikant $p < 0,05$ festgelegt.

2.2.1 Test auf Normalverteilung der Daten

Beim Shapiro-Wilk-Test handelt es sich um einen statistischen Signifikanztest. Dieser überprüft die Hypothese, dass die Grundgesamtheit der Stichprobe normalverteilt ist (Tabelle 45). Bestehen signifikante Unterschiede, liegt keine Normalverteilung vor und die Nullhypothese muss verworfen werden. Eine Normalverteilung wird für den t-Test vorausgesetzt.

2.2.2 Durchführung des t-Tests bei verbundenen Stichproben normalverteilter Daten

Es handelte sich um eine Studie mit Messwiederholungen an den gleichen Patienten zu unterschiedlichen Zeitpunkten, man spricht von abhängigen oder verbundenen Stichproben. Die normalverteilten Daten wurden durch den t-Test bei verbundenen Stichproben überprüft. Dieser Test verglich Mittelwerte der Variablen aus den verbundenen Gruppen. In dieser Prozedur wurden die mittleren Differenzen der Variablen jedes Falls berechnet. Es wurde getestet, ob die Differenzen von null abweichen, sich also unterscheiden (Andreß 2001c).

Die Teststatistik „t“ (Spalte „t“ in Tabelle 18 und in Tabelle 19) entsprach dabei dem Quotienten aus dem Mittelwert und dessen Standardfehler.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\text{Standardfehler der Mittelwertsdifferenz}}$$

„df“ entsprach den Freiheitsgraden und berechnet sich wie folgt: $df = n_1 + n_2 - 2$

Daraus ließ sich die Effektstärke, ausgedrückt und gemessen durch den Korrelationskoeffizienten nach Pearson $r = \left| \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + df}} \right|$, berechnen. Diese liegt zwischen 0 (= kein Effekt) und 1 (= maximaler Effekt).

2.2.3 Durchführung des Wilcoxon-Tests nicht normalverteilter Daten

Die restlichen, nicht normalverteilten Paare wurden mithilfe eines nicht parametrischen Tests, dem Wilcoxon-Test, auf signifikante Unterschiede geprüft.

2.2.4 Gemischte Lineare Modelle

Des Weiteren wurden Gemischte Lineare Modelle (LMM) zur Ermittlung von Einflussfaktoren erstellt und ausgewertet.

Das statistische Modell des LMM enthält sowohl feste als auch zufällige Effekte und ist gut bei Messwiederholungen an gleichen Subjekten geeignet. Es berechnet Schätzungen, wie sich feste und zufällige Effekte auf die abhängige Variable, im speziellen Fall die Umfangsdifferenz, auswirken.

Dazu wurden zunächst die Daten aller Patienten aus den Gruppen „untere Extremität“ und „obere Extremität“ zusammen ausgewertet. Das LMM wurde für jeden Messpunkt getrennt berechnet, somit ergaben sich viele verschiedene Modelle pro Patienten-Gruppe. Zudem unterscheidet man zwischen univariater und multivariater Testung. Bei der univariaten Testung wurde jeder Effekt einzeln überprüft, zum Beispiel wie sich das Geschlecht auf die Umfangsdifferenz an einem Messpunkt auswirkte, sogenannte einzelne logistische Regressionen. Multivariat bedeutet, dass alle Effekte gleichzeitig in einem Modell untersucht werden. Das Prinzip schrittweiser Modellselktion wurde angewendet, das heißt, Faktoren, die bei univariater Testung einen signifikanten Effekt approximierten, wurden anschließend gemeinsam in einem multivariaten Modell getestet. Faktoren, deren Signifikanzniveau in Einzeltestung $\alpha = 5\%$ oder weniger betrug, galten als signifikant. Als Faustregel in der Statistik gilt, dass ca. zehn Patientenfälle pro einberechnetem Faktor bzw. berücksichtigter Kovariate ins Modell eingehen sollten. Andernfalls kommt es zum sogenannten *Overfitting*, was bedeutet, dass zu viele Regressoren bei zu geringer Fallanzahl enthalten sind. Dies sollte vermieden werden, da *Overfitting* eine geringe Güte verschleiern kann und somit eine Übertragbarkeit auf die Grundgesamtheit vortäuscht.

Faktoren sind nominal skalierte Variablen. In den hier verwendeten Modellen handelte es sich um „spezielle Lokalisation“ und „Geschlecht“. Kovariaten sind metrische Variablen,

hier speziell „UntNr“ = Untersuchungstag, „Alter“ sowie „ZeitpostOP“ = Zeit nach der Operation in Tagen.

2.2.5 Abbildungen

Graphiken wurden mit Microsoft® Office Excel 2011, Microsoft® Office Word 2011 sowie IBM® SPSS Statistics® erstellt und bearbeitet.

Für die Verwendung der Abbildungen der Firma LymphaTouch® Inc. liegt die Genehmigung vor.

Die Fotodokumentation erfolgte durch die Autorin. Mit dem Programm Apple® Fotos wurden die Fotos gespeichert und bearbeitet.

2.3 Ethik-Antrag

Die Ethik-Kommission der UMG genehmigte die Qualitätssicherungsstudie unter dem Aktenzeichen DOK_185_2016.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Darstellung der Daten

3.1.1 Stichprobe der Probanden

146 Patienten der UMG wurden in die Studie zur Qualitätssicherung „Prä- und Postoperativer Einsatz von PhysioTouch® zur Reduktion der Schwellung an oberen und unteren Extremitäten“ eingeschlossen. Das Patientenkollektiv bestand aus 76 Frauen (52,1%) und 70 Männern (47,9%), davon betraf die Schwellung bei 101 Patienten (69,2%) die unteren Extremitäten und bei 45 Patienten (30,8%) die oberen Extremitäten (Tabelle 2).

Bei diesen 146 Patienten wurden insgesamt 523 Therapieeinheiten à ca. 30 Minuten durchgeführt. Für die Auswertung erfolgte zusätzlich eine Einteilung der Patienten in verschiedene Gruppen, charakterisiert durch die Lokalisation des Traumas oder die Art der Operation. 48 Patienten wurden am Knie operiert, 19 an der Hüfte, 16 am Oberarm und 16 an der Schulter. Die restlichen Patienten unterzogen sich Operationen am Unterschenkel (12), oberen Sprunggelenk (11), Oberschenkel (8), Unterarm (7), Ellenbogen (4), Fuß (3) und an der Hand (2) (Abbildung 12, Tabelle 2).

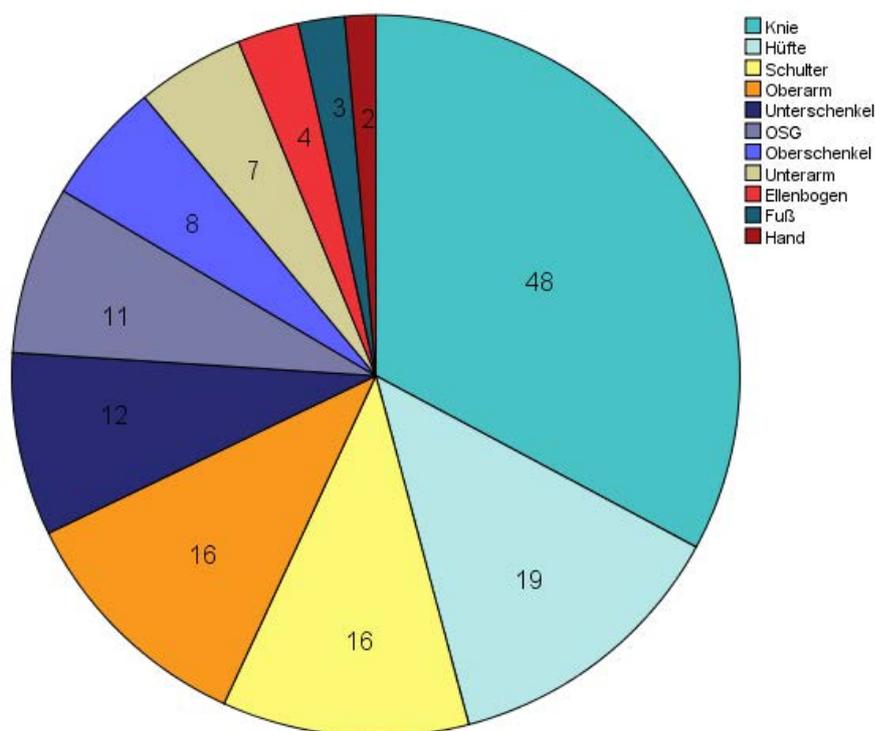


Abbildung 12: Kreisdiagramm, Einteilung der 146 Patienten nach spezieller Lokalisation

Die Altersverteilung der Probanden erstreckte sich von einem Minimum von 21 Jahren bis zu einem Maximum von 96 Jahren. Dies ergab eine Spannweite von 75 Jahren, einen Mittelwert von 64,1 Jahren mit einer Standardabweichung von 15,9.

Tabelle 2: deskriptive Statistik, Übersicht epidemiologischer Daten und des Zeitpunktes bzw. der Anzahl der Untersuchungen, aufgeteilt nach spezieller Lokalisation

Lokalisation		Geschlecht			Alter in Jahren	Anzahl Unter- suchungen	Anzahl postOP Tage
		männlich	weiblich	Gesamt			
Knie	Anzahl	19	29	48			
	- in %	27,1	38,2	32,9			
	Mittelwert				66	4	5
	SD				11	1	4
Hüfte	Anzahl	8	11	19			
	- in %	11,4	14,5	13,0			
	Mittelwert				71	4	6
	SD				18	1	3
Schulter	Anzahl	4	12	16			
	- in %	5,7	15,8	11,0			
	Mittelwert				66	4	3
	SD				14	1	2
Oberarm	Anzahl	8	8	16			
	- in %	11,4	10,5	11,0			
	Mittelwert				69	4	5
	SD				14	1	5
Unter- schenkel	Anzahl	8	4	12			
	- in %	11,4	5,3	8,2			
	Mittelwert				60	4	4
	SD				17	1	3
OSG	Anzahl	8	3	11			
	- in %	11,4	3,9	7,5			
	Mittelwert				53	4	5
	SD				18	1	6
Ober- schenkel	Anzahl	6	2	8			
	- in %	8,6	2,6	5,5			
	Mittelwert				72	3	13
	SD				10	1	5
Unterarm	Anzahl	3	4	7			
	- in %	4,3	5,3	4,8			
	Mittelwert				44	3	3
	SD				13	1	2
Ellen- bogen	Anzahl	2	2	4			
	- in %	2,9	2,6	2,7			
	Mittelwert				62	4	4
	SD				24	1	1
Fuß	Anzahl	2	1	3			
	- in %	2,9	1,3	2,1			
	Mittelwert				34	3	9
	SD				22	2	2
Hand	Anzahl	2	0	2			
	- in %	2,9	0,0	1,4			
	Mittelwert				66	4	9
	SD				14	1	4
Gesamt		70	76	146	64	4	5

3.1.2 Zeitliche Verteilung der Daten

Die Mehrzahl der Behandlungen wurde in den ersten drei Tagen nach der Operation gestartet. Jedoch variierten die Zeitpunkte der ersten Behandlung. Einige Patienten bekamen die Therapie auch nach dem 20. postoperativen Tag (Abbildung 13, Abbildung 14).

Die Abbruchkriterien

- vorzeitige/reguläre Krankenhausentlassung und ambulante Versorgung
- (starke) Schmerzen während der Behandlung

fürten dazu, dass nicht alle eingeschlossenen Patienten der Studie fünf Behandlungen mit PT erhielten. Durchschnittlich erfolgten vier Behandlungen pro Patient ($M = 3,6$; $SD = 1$), sowohl bei Patienten mit Traumen der oberen Extremität (Abbildung 15) als auch bei den Patienten der Gruppe „untere Extremität“ (Abbildung 17). Minimum war eine Behandlung, Maximum waren fünf Behandlungen an jeweils aufeinanderfolgenden Tagen.

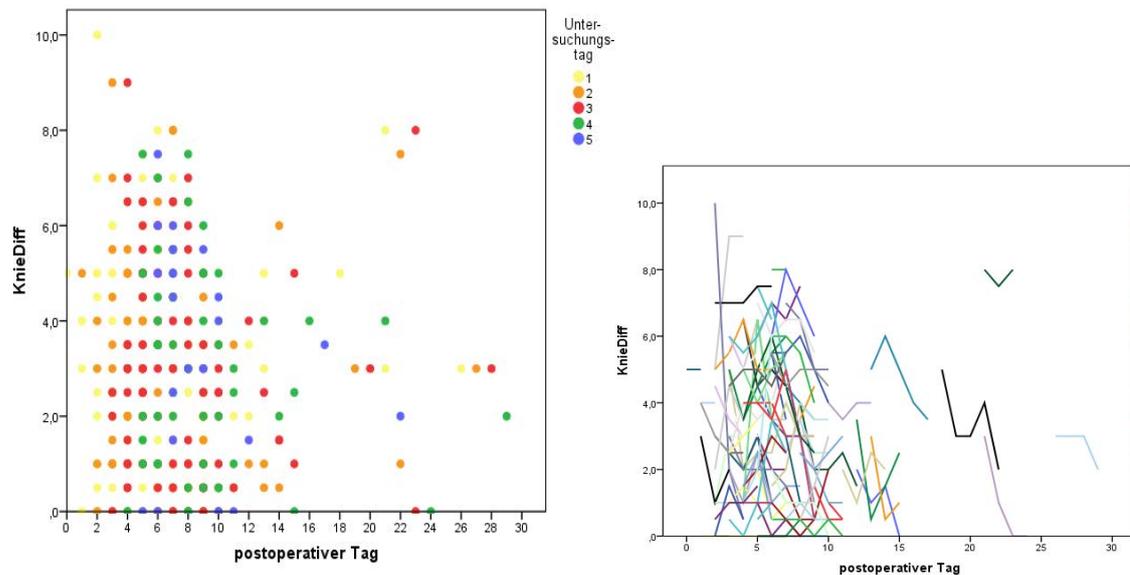


Abbildung 13: links: Streudiagramm zur Verteilung der Untersuchungstage auf die postoperativen Tage, gezeigt am Knie (KnieDiff in cm); rechts: Liniendiagramm zum zeitlichen Verlauf der Untersuchungen, gezeigt am Messpunkt Knie (KnieDiff in cm), eine farbige Linie stellt einen Patient dar.

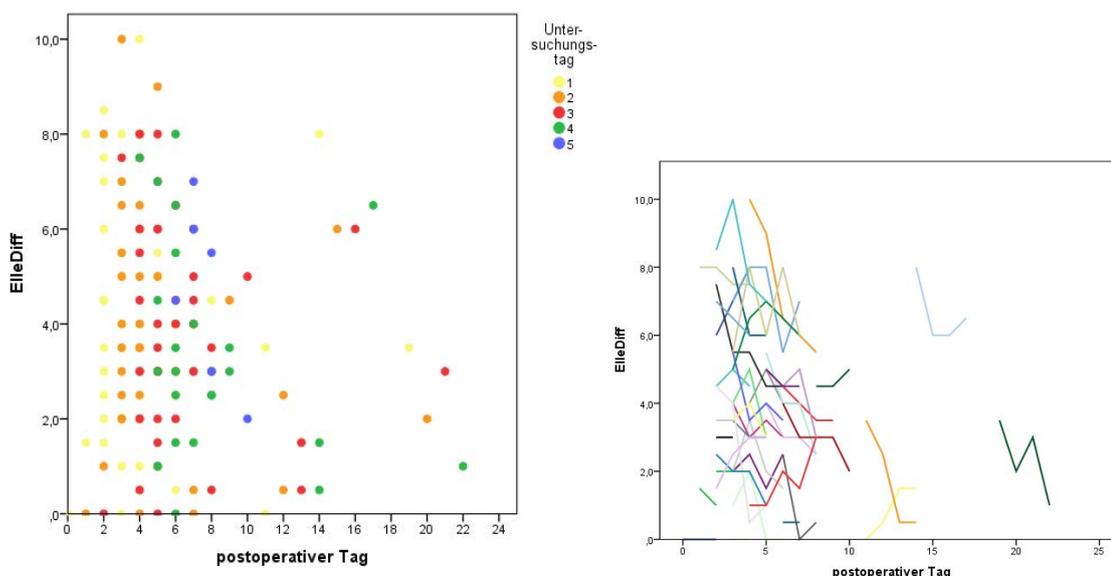


Abbildung 14: links: Streudiagramm zur Verteilung der Untersuchungstage auf die postoperativen Tage, gezeigt am Ellenbogen (ElleDiff in cm); rechts: Liniendiagramm zum zeitlichen Verlauf der Untersuchungen, gezeigt am Messpunkt Elle (ElleDiff in cm), eine farbige Linie = ein Patient

3.1.3 Umfangsdifferenzen – Datenübersicht zum Schwellungsverlauf

Tabelle 3 bis Tabelle 8 zeigen die Entwicklung der Mittelwerte der Umfangsdifferenzen in cm zwischen den Extremitäten im Verlauf der Untersuchungstage für die untere Extremität, sortiert nach Lokalisation in absteigender Reihenfolge der Häufigkeit.

Tabelle 3: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Knie

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	3,6	2,7	3,7	1,9	4,5	1,6	1,7	1,4	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	0,6	0,6
2	3,1	2,6	3,7	2,4	4,2	2,0	1,6	1,2	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1	1,3	0,6	0,5
3	2,8	2,1	3,4	2,1	4,1	2,0	1,6	1,4	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,6	0,7
4	3,0	2,7	3,7	2,0	4,4	1,6	1,6	1,3	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,5	0,5
5	2,5	2,0	4,1	2,3	4,6	1,5	2,4	1,2	1,3	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,5	0,6

Tabelle 4: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Hüfte

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	4,1	2,8	2,1	1,8	1,7	1,3	1,7	2,4	0,6	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6
2	3,1	2,5	2,2	1,9	1,5	1,3	1,8	1,8	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,8	0,8	0,8
3	2,6	2,3	2,3	1,9	1,5	1,4	1,8	1,7	0,4	0,4	0,8	0,6	1,0	1,1	0,9	0,8
4	3,6	2,3	2,4	1,9	1,8	1,3	2,3	2,2	0,8	0,6	1,1	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9
5	4,4	1,8	1,5	1,7	3,3	1,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,7	0,6	0,3	0,6	0,2	0,3

Tabelle 5: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Unterschenkel

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	1,1	1,2	1,2	1,2	2,6	1,8	2,5	1,9	4,5	4,1	3,1	2,0	2,2	0,9	1,5	1,4
2	1,2	1,2	1,4	1,1	2,7	1,8	2,5	1,9	3,5	3,3	2,5	1,8	1,4	1,2	2,0	2,0
3	1,7	1,1	1,4	1,1	2,8	1,6	2,2	1,1	3,6	2,7	2,3	1,7	1,6	1,5	1,6	1,4
4	1,3	0,6	0,8	0,7	2,5	2,3	2,1	1,0	2,1	0,9	2,0	1,5	0,8	0,8	1,1	0,4
5	1,0		1,5		2,5	3,5	1,0	1,4	2,0	0,0	2,5	2,8	0,3	0,4	0,8	0,4

Tabelle 6: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation OSG

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	1,2	1,2	0,9	0,9	2,4	3,0	1,5	1,2	2,9	1,4	3,8	1,6	2,8	1,8	2,5	1,9
2	1,6	1,7	0,9	0,9	1,1	1,0	1,3	1,5	3,2	2,1	3,5	2,8	2,1	1,1	1,8	1,0
3	2,1	1,9	1,5	1,9	1,3	1,5	1,6	1,6	2,6	1,9	2,3	2,2	2,2	1,5	1,3	1,0
4	1,0	1,4	0,9	1,3	0,7	0,8	1,2	1,8	2,0	1,0	1,9	1,5	1,4	1,6	1,3	0,7
5	1,5	2,1	1,8	2,5	0,0	0,0	2,3	3,2	2,0	1,7	2,3	1,5	2,2	1,4	2,0	1,3

Tabelle 7: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Oberschenkel

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	4,9	3,3	3,4	2,0	4,1	2,5	2,1	1,7	1,3	1,3	1,5	1,3	1,3	1,1	0,8	0,9
2	3,7	3,3	2,6	1,2	2,3	2,6	1,9	2,0	0,7	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8
3	3,1	3,2	2,0	1,3	2,8	2,8	2,3	2,0	0,4	0,7	0,5	0,8	1,0	1,4	0,7	0,8
4	3,8	4,5	3,5	2,8	2,2	2,0	2,7	1,3	0,8	0,8	1,5	1,3	1,3	1,1	1,0	0,0
5	0,0		3,0		2,0		2,0		0,0		0,0					

Tabelle 8: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Fuß

Tag	OS20Diff		OS10Diff		KnieDiff		US15Diff		USklUDiff		KnöchelDiff		RistDiff		VorfußDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	1,8	0,4	1,0	1,4	1,0	0,0	2,5	2,8	2,7	0,8	2,0	0,9	2,3	1,6	2,2	1,3
2	1,8	1,8	1,8	0,4	1,0	0,7	2,0	2,8	2,2	0,6	1,8	0,8	1,2	1,3	2,0	1,0
3	2,0		2,0		1,5		3,5		2,8	0,4	2,0	1,4	1,5	2,1	2,5	0,7
4									2,5		3,5		1,5		2,5	
5									1,5		2,5		1,5		2,5	

Analog veranschaulichen Tabelle 9 bis Tabelle 13 dies für die Patienten-Gruppe „obere Extremität“. Auch hier handelt es sich um Angaben in cm.

Tabelle 9: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Schulter

Tag	GrAbst1u5Diff		U15OArmDiff		ElleDiff		U10OArmDiff		UHandGDiff		UMHandDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	2,0	2,0	4,9	3,4	4,1	2,4	1,4	2,0	1,0	0,9	0,9	0,8
2	1,0	1,0	4,1	2,8	4,7	2,8	2,0	2,0	1,3	0,9	0,8	1,0
3	1,0	1,0	4,3	3,3	4,2	2,7	2,1	2,0	1,1	1,0	1,4	2,1
4	1,0	2,0	4,5	3,3	4,0	2,8	1,9	2,0	1,3	1,0	1,0	1,1
5	2,0	2,0	4,3	5,3	5,5	1,7	2,3	2,4	1,1	0,8	0,8	1,0

Tabelle 10: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Oberarm

Tag	GrAbst1u5Diff		U15OArmDiff		ElleDiff		U10OArmDiff		UHandGDiff		UMHandDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	2,0	2,0	5,1	2,6	4,9	1,9	2,0	1,8	1,2	1,0	1,0	1,1
2	2,0	2,0	3,8	2,4	4,0	1,4	1,6	1,6	0,9	0,8	1,0	0,9
3	1,0	2,0	4,0	2,3	3,8	1,7	1,6	1,5	0,9	0,7	0,7	0,8
4	2,0	3,0	3,9	2,4	2,9	1,7	1,2	1,5	0,7	0,7	0,6	1,0
5	4,0	4,0	3,5	2,1	3,3	1,8	1,0	1,4	1,0	1,4	0,3	0,4

Tabelle 11: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Unterarm

Tag	GrAbst1u5Diff		U15OArmDiff		ElleDiff		U10OArmDiff		UHandGDiff		UMHandDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	4,0	2,0	0,6	0,9	1,8	1,7	1,0	1,0	2,6	1,3	0,9	0,9
2	4,0	3,0	0,1	0,4	1,6	1,5	1,1	1,2	2,4	1,4	0,8	0,8
3	2,0	2,0	0,7	0,6	1,8	1,8	2,2	0,8	2,7	1,8	0,7	0,3
4	2,0	2,0	0,8	0,4	2,3	1,8	1,3	0,4	3,0	2,1	0,5	0,7

Tabelle 12: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Ellenbogen

Tag	GrAbst1u5Diff		U15OArmDiff		ElleDiff		U10OArmDiff		UHandGDiff		UMHandDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	2,0	1,0	1,4	0,8	6,5	2,4	1,9	2,3	1,1	0,6	1,5	1,3
2	2,0	1,0	1,8	2,2	6,3	2,2	1,3	0,9	1,6	2,3	1,4	1,1
3	1,0	2,0	0,4	0,5	6,0	1,6	1,9	1,1	1,6	2,3	2,1	1,8
4	1,0	1,0	0,5	0,7	4,5	2,1	0,3	0,4	1,0	0,7	1,0	0,7
5	1,0		0,0		5,5		2,0		0,0		0,0	

Tabelle 13: Entwicklung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen (cm) an den verschiedenen Messpunkten bei Patienten mit der Lokalisation Hand

Tag	GrAbst1u5Diff		U15OArmDiff		ElleDiff		U10OArmDiff		UHandGDiff		UMHandDiff	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	4,0		0,3	0,4	1,3	1,8	0,8	1,1	2,0	0,7	2,3	0,4
2	2,0		0,3	0,4	0,3	0,4	1,3	1,8	1,5	0,7	1,3	0,4
3	2,0		1,0	0,0	1,0	0,7	0,8	0,4	1,0	0,7	1,8	0,4
4	2,0		1,0		1,5		0,0		0,5		1,0	

Grafisch dargestellt ergaben sich aus den Mittelwerten aller Patienten verschiedene Graphen für jeden einzelnen Messpunkt, die eine absteigende Tendenz von Untersuchungstag 1 zu Tag 5 zeigten (Abbildung 16, Abbildung 18). Am fünften Untersuchungstag streuten die Werte weiter als an den vorherigen Tagen (Abbildung 50). Es war ein Anstieg der Kurve von Tag 4 zu Tag 5 zu verzeichnen.

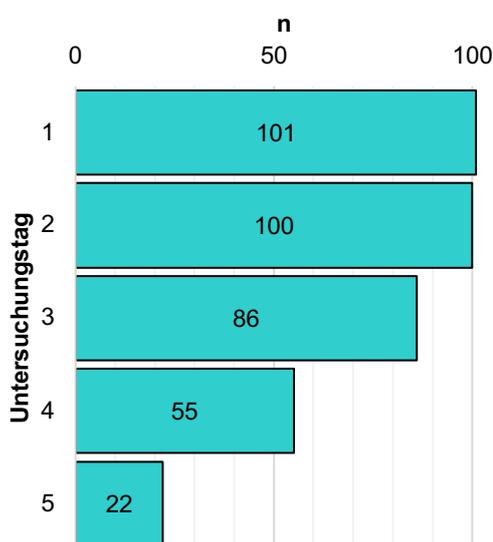


Abbildung 15: Balkendiagramm zur Verteilung der Anzahl der Untersuchungen bei Patienten der unteren Extremität, M = 3,6 Untersuchungen pro Patient; SD = 1,0; n = 101

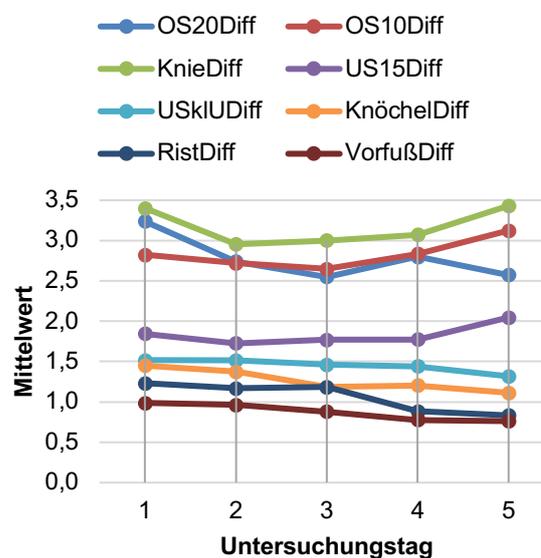


Abbildung 16: Liniendiagramm, Verlauf der Schwellung an den unteren Extremitäten (M in cm)

Prozentual ausgedrückt handelte es sich beim Patientenkollektiv „untere Extremität“ um eine durchschnittliche Reduktion der Umfangsdifferenzen von 6,4% vom ersten auf den zweiten Behandlungstag, von 12,2% vom ersten zum vierten Tag und von 11,2%, wenn man den ersten mit dem fünften Untersuchungstag verglich (Tabelle 14).

Tabelle 14: Reduktionen der Umfangsdifferenzen in % anhand der Mittelwerte, alle Patienten „untere Extremität“, rot markiert = Zuwachs

Untersuchung	OS20 Diff	OS10 Diff	Knie Diff	US15 Diff	USklU Diff	Knöchel Diff	Rist Diff	Vorfuß Diff	
1	3,24	2,82	3,40	1,84	1,52	1,45	1,23	0,99	
2	2,74	2,72	2,95	1,73	1,52	1,38	1,17	0,96	
3	2,55	2,65	3,00	1,77	1,46	1,18	1,18	0,88	
4	2,80	2,84	3,07	1,77	1,44	1,20	0,89	0,78	
5	2,58	3,13	3,43	2,05	1,32	1,11	0,83	0,76	
Reduktion in % von Untersuchung 1 zu Untersuchung x									M
1 → 2	15,4	3,8	13,1	6,4	0,0	5,1	5,1	2,5	6,4
1 → 4	13,6	-0,4	9,6	3,8	4,9	17,0	28,2	21,4	12,2
1 → 5	20,5	-10,6	-0,9	-11,0	13,0	23,2	32,4	22,9	11,2

Tabelle 15: Überblick der Entwicklung der Differenzen der Umfänge vom ersten bis zum fünften Untersuchungstag, alle Patienten „untere Extremität“, rot markiert = Zuwachs

Untersuchung	1	2	3	4	5
Summe der Umfänge (M)	16,49	15,16	14,68	14,79	15,21
Differenz zu vorherigem Tag		-1,33	-0,48	0,11	0,41
- in %		-8,1	-3,2	0,8	2,8
Differenz zu Tag 1		-1,33	-1,81	-1,70	-1,29
- in %		-8,1	-11,0	-10,3	-7,8
n Messungen	101 (100%)	100 (-0,99%)	86 (-14,85%)	55 (-45,54%)	22 (-78,22%)

Die Summe aller Mittelwerte der Umfangsdifferenzen jedes Messpunktes an dem jeweiligen Tag und deren Entwicklung von Untersuchungstag zu Untersuchungstag zeigte eine Reduktion von 8,1% vom ersten zum zweiten Tag und um 11,0% zum dritten Tag, was der maximalen Reduktion entsprach. Zum vierten und fünften Tag ergab sich keine weitere Abnahme. Verglichen mit Tag 1 ist jedoch immer noch eine Reduktion von fast 8% zu verzeichnen (Tabelle 15). An Untersuchungstag 5 hat sich die Zahl der Patienten auf 21,8% des Ausgangswertes ($n = 101$) verkleinert. An Tag 4 wurden noch mehr als die Hälfte der Patienten untersucht (Tabelle 15, Abbildung 15).

An der oberen Extremität stellten sich Reduktionen der Schwellung in ähnlichen Dimensionen dar. Das Endresultat, also der Vergleich vom ersten zum fünften Untersuchungstag, unterschied sich mit 10,8% kaum. Vom ersten zum zweiten Tag waren es durchschnittlich 8,8% Verringerung und vom ersten zum vierten Behandlungstag sogar 18,8% Schwellungsreduktion in Form einer Umfangsabnahme (Tabelle 16). Eine stetige Abnahme der Schwellung, gemessen anhand der Entwicklung der Summe der Mittelwerte im Verlauf von Tag 1 zu Tag 4, fand an den oberen Extremitäten statt. Zum fünften Untersuchungstag gab es einen Anstieg im Vergleich zu Tag 2 bis 4. Insgesamt betrachtet, war jedoch noch eine Reduktion von insgesamt 3,3% erkennbar. Die kleinste Schwellung war an Tag 4 mit einer Reduktion um 17,3% sichtbar. An der letzten Untersuchung nahmen noch knapp 16% der Patienten teil (Tabelle 17, Abbildung 17).

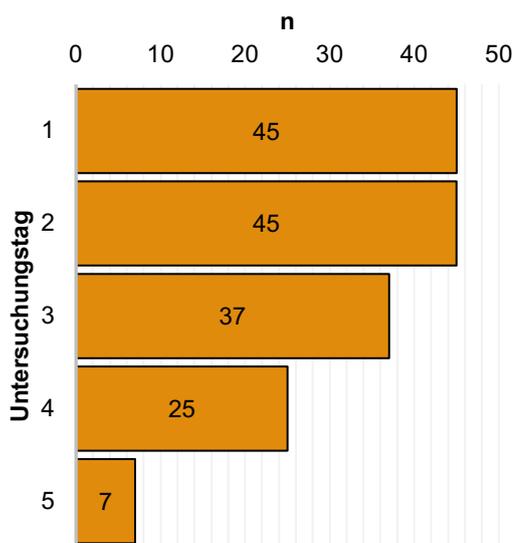


Abbildung 17: Balkendiagramm zur Verteilung der Anzahl der Untersuchungen bei Patienten der oberen Extremität, M = 3,5 Untersuchungen pro Patient; SD = 1,0; n = 45

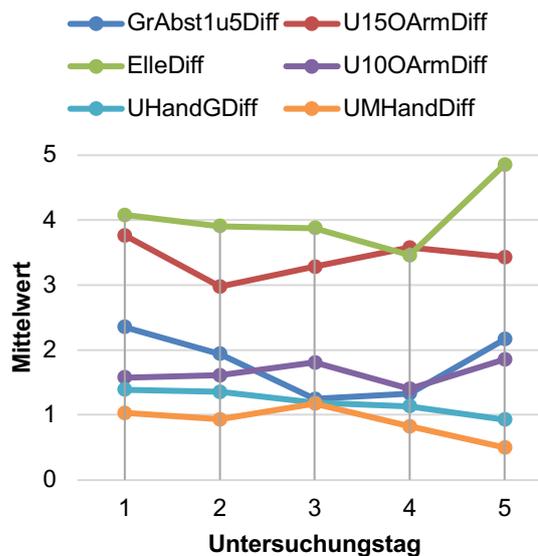


Abbildung 18: Liniendiagramm, Verlauf der Schwellung an den oberen Extremitäten (M in cm)

Tabelle 16: Reduktionen der Umfangsdifferenzen in % anhand der Mittelwerte, alle Patienten „obere Extremität“, rot markiert = Zuwachs

Untersuchung	GrAbst1u5 Diff	U150Arm Diff	Elle Diff	U100Arm Diff	UHandG Diff	UMHand Diff	
1	2,35	3,77	4,08	1,58	1,39	1,03	
2	1,94	2,98	3,91	1,61	1,36	0,93	
3	1,25	3,28	3,88	1,81	1,19	1,18	
4	1,33	3,58	3,46	1,40	1,13	0,83	
5	2,17	3,43	4,86	1,86	0,93	0,50	
Reduktion in % von Untersuchung 1 zu Untersuchung x							M
1 → 2	17,5	20,9	4,2	-2,1	2,4	9,7	8,8
1 → 4	43,3	5,0	15,1	11,0	18,3	20,0	18,8
1 → 5	7,9	9,0	-19,1	-17,7	33,1	51,6	10,8

Tabelle 17: Überblick der Entwicklung der Differenzen der Umfänge vom ersten bis zum fünften Untersuchungstag, alle Patienten „obere Extremität“, rot markiert = Zuwachs

Untersuchung	1	2	3	4	5
Summe der Umfänge (M)	14,20	12,73	12,59	11,74	13,74
Diff. Umfang zu vorherigem Tag		-1,47	-0,14	-0,85	2,00
- in %		-10,4	-1,1	-6,8	17,1
Diff. Umfang zu Tag 1		-1,47	-1,61	-2,46	-0,46
- in %		-10,4	-11,4	-17,3	-3,3
n Messungen	45 (100%)	45 (100%)	37 (-17,78%)	25 (-44,44%)	7 (-84,44%)

3.2 Tests bei verbundenen Stichproben

3.2.1 Test auf Normalverteilung der Daten

Als normal verteilt – anhand des Shapiro-Wilk-Quotienten – erwiesen sich die Daten der Messpunkte (siehe Tabelle 45):

- OS20Diff bis OS20Diff4
- OS10Diff bis OS10Diff4
- KnieDiff bis KnieDiff4
- US15Diff, US15Diff1 und US15Diff4
- USklUDiff3 und USklUDiff4
- GrAbst1u5Diff, GrAbst1u5Diff1, GrAbst1u5Diff3 und GrAbst1u5Diff4
- U15OArmDiff bis U15OArmDiff2 und U15OArmDiff4
- ElleDiff bis ElleDiff4
- U10OArmDiff, U10OArmDiff1 und U10OArmDiff4
- UHandGDiff, UHandGDiff1 und UHandGDiff3
- UMHandDiff bis UMHandDiff4

3.2.2 Durchführung des t-Tests bei verbundenen Stichproben normalverteilter Daten

Der t-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Paare OS20Diff - OS20Diff1 und KnieDiff - KnieDiff1 (Tabelle 18) sowie der Paare GrAbst1u5Diff - GrAbst1u5Diff1, U15OArmDiff - U15OArmDiff1, ElleDiff1 - ElleDiff2 und ElleDiff2 - ElleDiff3 (Tabelle 19).

Tabelle 18: Test bei gepaarten Stichproben, untere Extremität, SF = Standardfehler

		gepaarte Differenzen				t	df	Sig. (2-seitig)	
		M	SD	SF des M	95% CI				
					Untergrenze				Obergrenze
Paar 1	OS20Diff - OS20Diff1	,52	1,54	,16	,21	,83	3,32	95	,001*
Paar 2	OS20Diff1 - OS20Diff2	,19	1,35	,15	-,10	,49	1,31	82	,195
Paar 3	OS20Diff2 - OS20Diff3	-,02	1,17	,16	-,35	,31	-,12	51	,906
Paar 4	OS20Diff3 - OS20Diff4	-,05	1,38	,31	-,69	,59	-,16	19	,873
Paar 5	OS10Diff - OS10Diff1	,12	1,52	,15	-,19	,43	,77	95	,441
Paar 6	OS10Diff1 - OS10Diff2	,02	1,36	,15	-,27	,32	,16	82	,872
Paar 7	OS10Diff2 - OS10Diff3	,13	,88	,12	-,11	,38	1,11	51	,273
Paar 8	OS10Diff3 - OS10Diff4	-,15	,89	,20	-,57	,27	-,75	19	,460
Paar 9	KnieDiff - KnieDiff1	,39	1,40	,14	,11	,67	2,74	97	,007*
Paar 10	KnieDiff1 - KnieDiff2	-,10	1,05	,11	-,33	,13	-,88	84	,382
Paar 11	KnieDiff2 - KnieDiff3	,11	1,03	,14	-,17	,39	,80	53	,430
Paar 12	KnieDiff3 - KnieDiff4	,27	1,30	,28	-,30	,85	,99	21	,335
Paar 13	US15Diff - US15Diff1	,08	1,11	,12	-,15	,31	,66	90	,510
Paar 14	US15Diff1 - US15Diff2	-,01	,90	,10	-,21	,20	-,06	78	,951

Tabelle 19: Test bei gepaarten Stichproben, obere Extremität, SF = Standardfehler

		gepaarte Differenzen					t	df	Sig. (2-seitig)
		M	SD	SF des M	95% CI				
					Untergrenze	Obergrenze			
Paar 1	GrAbst1u5Diff - GrAbst1u5Diff1	,41	,82	,14	,13	,70	2,92	33	,006*
Paar 2	GrAbst1u5Diff3 - GrAbst1u5Diff4	,17	,75	,31	-,62	,96	,54	5	,611
Paar 3	U15OArmDiff - U15OArmDiff1	,79	1,30	,19	,40	1,18	4,06	44	,000*
Paar 4	U15OArmDiff1 - U15OArmDiff2	,23	1,07	,18	-,13	,59	1,30	36	,200
Paar 5	ElleDiff - ElleDiff1	,17	1,10	,17	-,17	,51	1,02	43	,312
Paar 6	ElleDiff - ElleDiff2	,42	1,13	,19	,04	,80	2,25	36	,031*
Paar 7	ElleDiff2 - ElleDiff3	,38	,94	,18	,00	,76	2,08	25	,048*
Paar 8	ElleDiff3 - ElleDiff4	,14	1,28	,48	-1,04	1,33	,29	6	,778
Paar 9	U10OArmDiff - U10OArmDiff1	-,03	1,04	,15	-,34	,28	-,22	44	,830
Paar 10	UHandGDiff - UHandGDiff1	,03	,81	,12	-,21	,28	,27	44	,785
Paar 11	UMHandDiff - UMHandDiff1	,10	,77	,11	-,13	,33	,88	44	,386
Paar 12	UMHandDiff1 - UMHandDiff2	-,11	1,48	,24	-,60	,38	-,45	36	,659
Paar 13	UMHandDiff2 - UMHandDiff3	,23	1,54	,30	-,39	,85	,76	25	,453
Paar 14	UMHandDiff3 - UMHandDiff4	,43	,61	,23	-,13	,99	1,87	6	,111

Tabelle 20: Korrelationen bei gepaarten Stichproben

		n	Korrelation	Signifikanz
Paar 1	OS20Diff - OS20Diff1	96	,835	,000*
Paar 9	KnieDiff - KnieDiff1	98	,794	,000*
Paar 1*	GrAbst1u5Diff - GrAbst1u5Diff1	34	,921	,000*
Paar 3	U15OArmDiff - U15OArmDiff1	45	,915	,000*
Paar 6	ElleDiff1 - ElleDiff2	37	,889	,000*
Paar 7	ElleDiff2 - ElleDiff3	26	,918	,000*

3.2.3 Durchführung des Wilcoxon-Tests nicht normalverteilter Daten

Der Wilcoxon-Test ergab messbare Unterschiede bei den Paaren GrAbst1u5Diff1 - GrAbst1u5Diff2 und UHandGDiff1 - UHandGDiff2 (Abbildung 48, Abbildung 49 im Anhang).

3.3 Gemischte lineare Modelle

3.3.1 Patienten-Gruppe „untere Extremität“

Diese Gruppe umfasste 101 Patienten. Am Messpunkt OS20 zeigten sich signifikante Effekte auf die Umfangsdifferenzen durch den Untersuchungstag („UntNr“). Von Tag zu Tag war eine Abnahme der Umfangsdifferenz von geschätzt 0,23 cm zu erwarten. Auch für die spezielle Lokalisation ergaben sich Signifikanzen. Folglich galt, dass nach Operationen oder Traumen am Oberschenkel die Schwellung am größten war (siehe auch bis Tabelle 3 bis Tabelle 8), gefolgt von Hüft- und Knie Traumen (Tabelle 21). Das Alter hatte zwar uni-

variater signifikanten Einfluss, allerdings ließ dieser sich nicht mehr im multivariaten Modell nachweisen.

Tabelle 21: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „OS20Diff“, dem Faktor „Lokspez“ und den Kovariaten „UntNr“ und „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	,753883	1,186034	94,788	,636	,527	-1,600760	3,108526
UntNr	-,236821	,080623	321,505	-2,937	,004*	-,395436	-,078206
[Lokspez = Fuß]	,418829	1,795643	99,026	,233	,816	-3,144105	3,981764
[Lokspez = Hüfte]	1,870730	,872203	89,462	2,145	,035*	,137805	3,603656
[Lokspez = Knie]	1,629645	,758841	89,325	2,148	,034*	,121919	3,137370
[Lokspez = Oberschenkel]	2,556066	1,068344	91,376	2,393	,019*	,434050	4,678082
[Lokspez = OSG]	,095229	1,001828	88,599	,095	,924	-1,895506	2,085964
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	,019700	,016710	93,519	1,179	,241	-,013480	,052881

Ein signifikanter Effekt des Untersuchungstages ließ sich am Messpunkt OS10 nicht nachweisen. Es errechneten sich signifikante Effekte der speziellen Lokalisation auf die Umfangsdifferenzen. Bei Knieoperationen und Knietraumen waren die Unterschiede am größten. Das „Alter“ spielte im multivariaten Modell keine signifikante Rolle (Tabelle 22).

Tabelle 22: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „OS10Diff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	,546848	,849187	99,850	,644	,521	-1,137945	2,231642
[Lokspez = Fuß]	,329754	1,310292	109,551	,252	,802	-2,267056	2,926564
[Lokspez = Hüfte]	,716050	,626786	96,082	1,142	,256	-,528098	1,960197
[Lokspez = Knie]	2,180076	,545014	95,789	4,000	,000*	1,098200	3,261951
[Lokspez = Oberschenkel]	1,383820	,770020	98,575	1,797	,075	-,144147	2,911788
[Lokspez = OSG]	-,125222	,718841	94,897	-,174	,862	-1,552321	1,301878
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	,013018	,012072	101,230	1,078	,283	-,010929	,036965

Signifikant auf die abhängige Variable „KnieDiff“ wirkten sich der Untersuchungstag und die spezielle Lokalisation aus, in Tabelle 23 sichtbar. Geschätzt 0,15 cm nahm die Umfangsdifferenz pro Tag ab. Knie- und Oberschenkeloperationen verursachten die größten Schwellungen am Knie, in Abbildung 19 wird dies gezeigt.

Tabelle 23: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „KnieDiff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „UntNr“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,987772	,488286	111,646	6,119	,000	2,020262	3,955282
UntNr	-,149985	,066452	346,713	-2,257	,025*	-,280685	-,019284
[Lokspez = Fuß]	-1,697212	1,285972	108,877	-1,320	,190	-4,245998	,851575
[Lokspez = Hüfte]	-,869317	,590273	93,947	-1,473	,144	-2,041326	,302692
[Lokspez = Knie]	1,682888	,516922	94,076	3,256	,002*	,656538	2,709238
[Lokspez = Oberschenkel]	,594880	,742624	98,287	,801	,425	-,878780	2,068540
[Lokspez = OSG]	-1,112259	,668919	94,212	-1,663	,100	-2,440374	,215856
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.

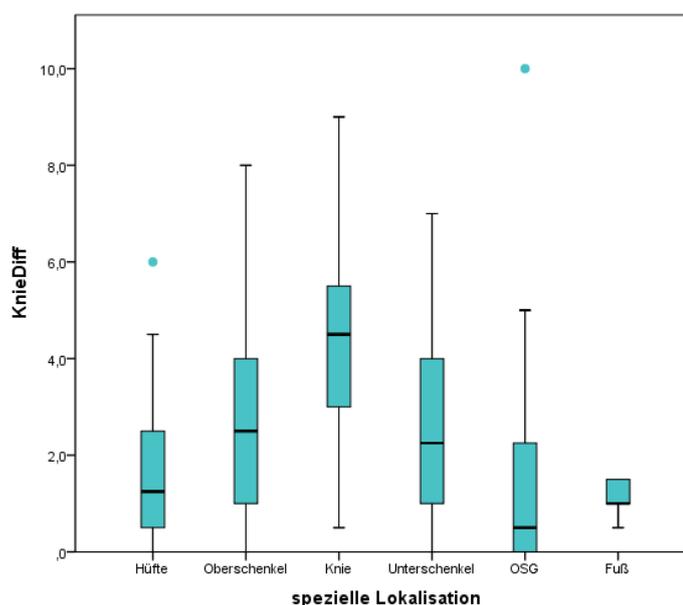


Abbildung 19: Boxplots, Einfluss der speziellen Lokalisation auf die Schwellung am Knie (KnieDiff in cm)

Die gemessene Seitendifferenz (abhängige Variable „USklUDiff“) war signifikant abhängig von der Lokalisation („Lokspez“). Patienten mit Verletzungen am Unterschenkel hatten die ausgeprägtesten Schwellungen, gefolgt von Verletzten mit Traumen des oberen Sprunggelenks und des Fußes. Tendenziell war eher eine Abnahme der Schwellung mit dem Alter zu erkennen (Tabelle 24).

Die spezielle Lokalisation hatte einen signifikanten Effekt auf die Umfangsdifferenz am Messpunkt Knöchel. Die multivariate Testung ergab keine Signifikanz des Alters (Tabelle 25).

Tabelle 24: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „USklUDiff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	4,871437	,775951	87,320	6,278	,000	3,329230	6,413644
[Lokspez = Fuß]	-1,921571	,940302	86,659	-2,044	,044*	-3,790627	-,052515
[Lokspez = Hüfte]	-2,478243	,574791	82,370	-4,312	,000*	-3,621609	-1,334878
[Lokspez = Knie]	-2,693112	,445864	82,465	-6,040	,000*	-3,580002	-1,806222
[Lokspez = Oberschenkel]	-2,486845	,646755	86,599	-3,845	,000*	-3,772425	-1,201265
[Lokspez = OSG]	-1,060824	,573335	82,492	-1,850	,068	-2,201268	,079620
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	-,019180	,011135	87,547	-1,722	,089	-,041311	,002950

Tabelle 25: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „KnöchelDiff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,623674	,571415	98,491	4,592	,000	1,489789	3,757558
[Lokspez = Fuß]	-,526925	,691005	96,823	-,763	,448	-1,898411	,844560
[Lokspez = Hüfte]	-1,706474	,442120	92,576	-3,860	,000*	-2,584489	-,828459
[Lokspez = Knie]	-1,759035	,341536	93,345	-5,150	,000*	-2,437225	-1,080845
[Lokspez = Oberschenkel]	-1,362242	,485890	97,011	-2,804	,006*	-2,326598	-,397885
[Lokspez = OSG]	,520297	,438589	92,978	1,186	,239	-,350657	1,391251
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	-,000779	,008271	97,662	-,094	,925	-,017192	,015634

Die Seitendifferenz am Rist war signifikant von der Lokalisation abhängig. Die größte Schwellung zeigten Patienten mit OSG-Operationen bzw. -Traumen. Das Alter war nur bei univariater Testung signifikant (Tabelle 26).

Tabelle 26: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „RistDiff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	1,795890	,455627	99,923	3,942	,000	,891930	2,699850
[Lokspez = Fuß]	-,015624	,549967	98,658	-,028	,977	-1,106924	1,075676
[Lokspez = Hüfte]	-,733068	,349056	93,979	-2,100	,038*	-1,426129	-,040006
[Lokspez = Knie]	-,603473	,269178	94,257	-2,242	,027*	-1,137913	-,069034
[Lokspez = Oberschenkel]	-,414190	,417885	99,004	-,991	,324	-1,243365	,414985
[Lokspez = OSG]	,708590	,345743	94,045	2,049	,043*	,022114	1,395067
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	-,004582	,006629	99,994	-,691	,491	-,017734	,008569

Selbige Erkenntnisse ergab das in Tabelle 27 ausgewertete LMM mit der abhängigen Variable „VorfußDiff“.

Tabelle 27: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „VorfußDiff“, dem Faktor „Lokspez“ und der Kovariate „Alter“, alle Fälle „untere Extremität“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,099199	,382298	94,807	5,491	,000	1,340220	2,858177
[Lokspez = Fuß]	,386452	,457841	92,936	,844	,401	-,522737	1,295642
[Lokspez = Hüfte]	-,557135	,294703	88,341	-1,890	,062	-1,142763	,028493
[Lokspez = Knie]	-,870003	,230273	88,330	-3,778	,000*	-1,327599	-,412408
[Lokspez = Oberschenkel]	-,586213	,349505	92,931	-1,677	,097	-1,280267	,107842
[Lokspez = OSG]	,414137	,293153	88,977	1,413	,161	-,168355	,996628
[Lokspez = Unterschenkel]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	-,010148	,005495	95,502	-1,847	,068	-,021056	,000760

Da die spezielle Lokalisation der OP bzw. des Traumas von entscheidender Rolle zu sein schien, erfolgte eine Einteilung der Patienten in die jeweiligen Gruppen nach spezieller Lokalisation. Daraus ergaben sich für die untere Extremität zwei Gruppen mit ausreichender Anzahl an Patienten, um ein eigenes LMM zu analysieren, die Patientengruppen „Knie“ und „Hüfte“.

3.3.2 Patienten-Gruppe „Knie“

Aus den Mittelwerten für Patienten mit Knieoperationen und –traumen (Tabelle 3) ergab sich ein Schwellungszuwachs von 10,1% vom ersten zum fünften Untersuchungstag. Der Vergleich vom ersten zum vierten Tag brachte 2,0% Volumenzuwachs. Im LMM kamen kaum signifikante Effekte zum Vorschein. Für den Messpunkt OS20 – in Tabelle 28 dargestellt – zeigte sich lediglich im univariaten Modell ein signifikanter Einfluss der „UntNr“ auf die Schwellung, die Umfangsdifferenz sank von Tag zu Tag um 0,29 cm.

Tabelle 28: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „OS20Diff“ und der Kovariate „UntNr“, alle Fälle „Knie“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	3,815869	,437120	97,568	8,730	,000	2,948370	4,683368
UntNr	-,288881	,117060	163,379	-2,468	,015*	-,520026	-,057736

Univariat getestet, zeigte das Geschlecht einen signifikanten Effekt auf die Umfangsdifferenz am Unterschenkel (US15). Tabelle 29 und Abbildung 20 stellen dar, dass bei Frauen der Unterschenkel signifikant mehr anschwellt als bei Männern.

Tabelle 29: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „US15Diff“ und dem Faktor „Geschlecht“, alle Fälle „Knie“, Geschlecht: 1 = weiblich, 2 = männlich, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	1,273528	,247406	46,450	5,148	,000	,775656	1,771400
[Geschlecht = 1]	,698469	,319480	46,855	2,186	,034*	,055706	1,341232
[Geschlecht = 2]	0 ^b	0	.	.	.	.	.

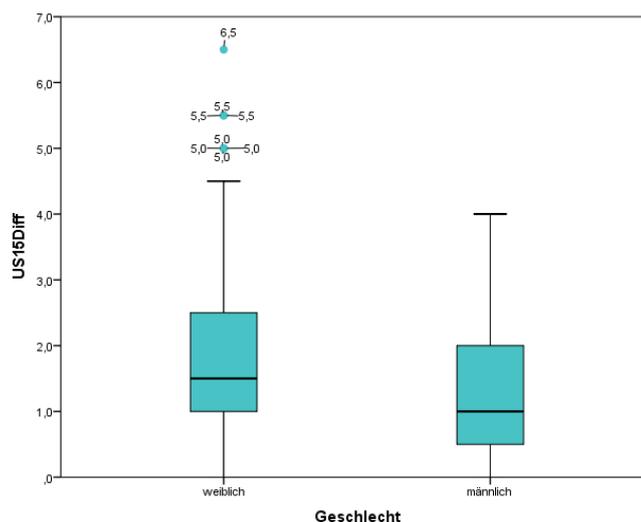


Abbildung 20: Boxplots, Einfluss des Geschlechts auf die Umfangsdifferenz in cm am Unterschenkel (US15), mit Ausreißern (= Datenpunkte außerhalb des Whiskers)

Das multivariate Modell für den Messpunkt USKIU ergab signifikante Effekte von „Alter“, „Geschlecht“ und „UntNr“ auf die Entwicklung der postoperativen bzw. posttraumatischen Schwellung. Eine Zunahme der Umfangsdifferenz und somit der Schwellung um 0,14 cm pro Tag war zu beobachten. Mit steigendem Alter nahm die Seitendifferenz zu. Die Unterschenkel der Frauen schwollen mehr an als die der Männer (Tabelle 30). Tabelle 31 veranschaulicht, dass Frauen auch größere Schwellungen am Knöchel aufwiesen.

Tabelle 30: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „USKlUDiff“, dem Faktor „Geschlecht“ und den Kovariaten „UntNr“ sowie „Alter“, alle Fälle „Knie“, Geschlecht: 1 = weiblich, 2 = männlich, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	-1,181871	,615212	55,712	-1,921	,060	-2,414428	,050687
UntNr	,141533	,054992	152,724	2,574	,011*	,032890	,250176
Alter	,022001	,008617	52,774	2,553	,014*	,004715	,039286
[Geschlecht = 1]	,482276	,181242	47,727	2,661	,011*	,117810	,846742
[Geschlecht = 2]	0 ^b	0	.	.	.	.	.

Tabelle 31: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „KnöchelDiff“ und dem Faktor „Geschlecht“, alle Fälle „Knie“, Geschlecht: 1 = weiblich, 2 = männlich, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	,561719	,137122	50,436	4,096	,000	,286361	,837078
[Geschlecht = 1]	,407147	,177515	50,922	2,294	,026*	,050757	,763536
[Geschlecht = 2]	0 ^b	0	.	.	.	.	.

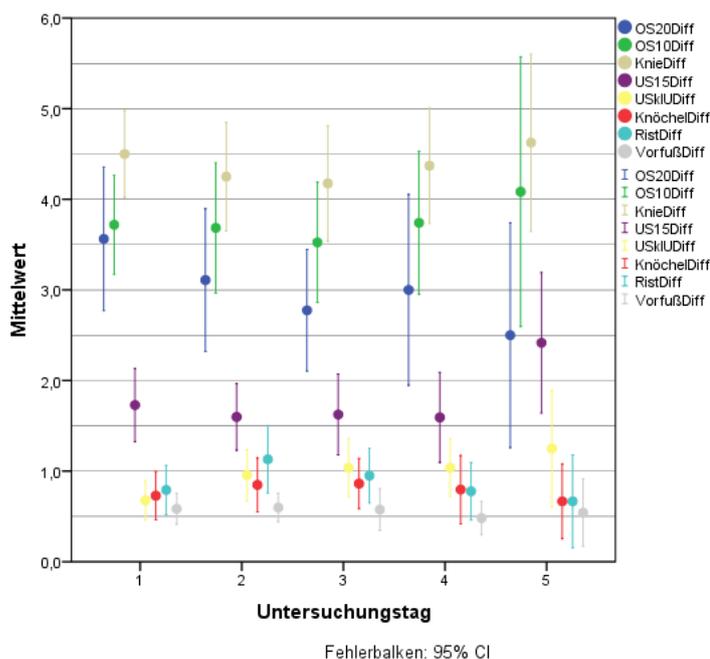


Abbildung 21: Diagramm mit gruppierten Fehlerbalken, Darstellung des Schwellungsverlaufs der Knie-Patienten an den verschiedenen Messpunkten, M in cm

Für Patienten nach Knieoperationen ergaben sich mehrfach signifikante Effekte des Untersuchungstages auf die Schwellungsreduktion. In Abbildung 21 ist der zeitliche Verlauf anhand von Fehlerbalken dargestellt. Jede Farbe repräsentiert einen Messpunkt. Am Messpunkt Knie zeigte sich eine steigende Tendenz der Differenzen der Umfänge. Am fünften Untersuchungstag waren die größten Fehlerbalken erkennbar.

Ein Beispiel aus dieser Gruppe ist ein 58-jähriger Patient (Abbildung 22), der bei primärer Gonarthrose eine unicondyläre zementierte Schlittenprothese am 15.11.2016 erhielt. Die PT-Therapie begann am 18.11.2016. Hier zeigte sich eine deutliche Schwellung des rechten Beins im Vergleich zur linken Extremität. Der Patient hatte eine Redon-Drainage, die noch am gleichen Tag entfernt wurde. Somit nahm die Schwellung an den darauffolgenden Tagen leicht zu. Das Maximum zeigte sich am fünften postoperativen Tag, nachdem bereits zwei PT-Behandlungen durchgeführt wurden. Die Schwellung reduzierte sich nachfolgend,

bis das Bein am siebten postoperativen Tag weiter abschwohl und der Patient entlassen werden konnte.

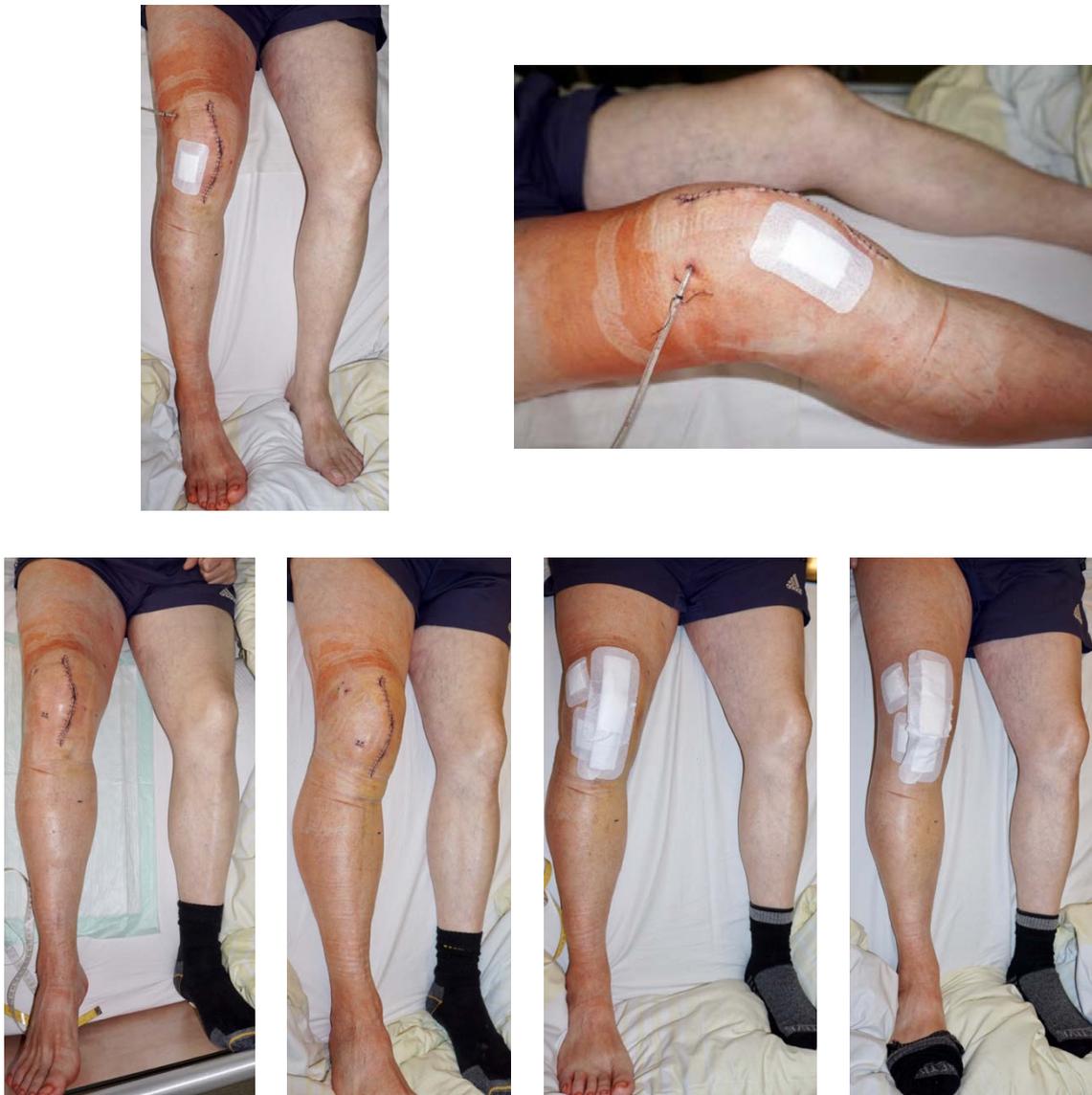


Abbildung 22: Patient mit unicondylärem Oberflächenersatz im rechten Knie, täglicher Verlauf der Schwellung von links oben (vor Behandlungsbeginn mit PhysioTouch® am dritten postoperativen Tag) nach rechts unten (vierte Therapie am siebten postoperativen Tag = Tag der Entlassung), erste Behandlung am vierten postoperativen Tag

3.3.3 Patienten-Gruppe „Hüfte“

Speziell bei der Gruppe der Hüft-Patienten ergab sich eine Reduktion der Umfangsdifferenzen um 8,6% vom ersten zum fünften Untersuchungstag. Signifikante Effekte ließen sich nur im univariaten Modell mit der abhängigen Variable „OS20Diff“ nachweisen.

Tabelle 32 zeigt eine Abnahme der Umfangsdifferenz im Verlauf. Pro Untersuchungstag nahm die Schwellung um 0,38 cm ab.

Tabelle 32: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „OS20Diff“ und der Kovariate „UntNr“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	4,374442	,707666	36,265	6,182	,000	2,939593	5,809292
UntNr	-,383360	,185116	63,259	-2,071	,042*	-,753255	-,013466

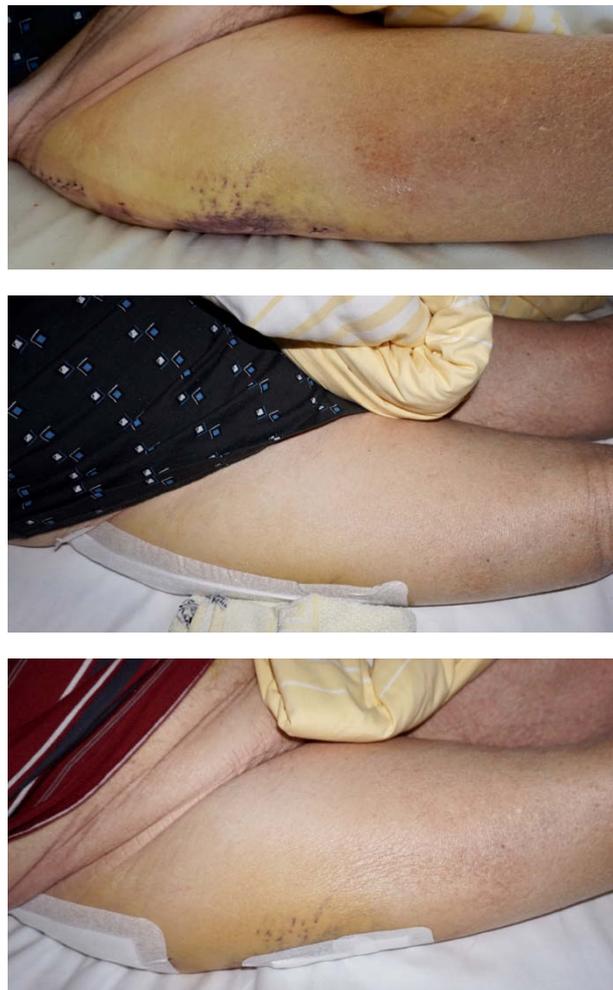


Abbildung 23: mit PFNA versorgter Patient; oben: zwölfter postoperativer Tag, vor Physio-Touch®-Therapie; Mitte: nach einem Tag PT-Therapie; unten: nach zwei Tagen PT-Therapie

Zur Veranschaulichung einer Schwellung in der Hüftregion zeigt Abbildung 23 einen 81-jährigen Patienten nach Einbringen eines proximalen Femurnagels (PFNA) zur operativen Versorgung einer pertrochantären Oberschenkelfraktur am 06.10.2016. Zwölf Tage postoperativ war immer noch eine deutliche Schwellung des Oberschenkels sichtbar.

Am selben Tag begann die Lymphdrainage mit PhysioTouch®. An den darauffolgenden Tagen nahm die Schwellung schnell ab. Nach zwei Behandlungen waren wieder Hautfalten sichtbar und der Oberschenkel war nicht mehr so gespannt und fest.

3.3.4 Patienten-Gruppe „obere Extremität“

Analog zum Vorgehen der Patienten der unteren Extremitäten wurden die 45 Patienten der oberen Extremitäten ausgewertet, zunächst alle Patienten zusammengefasst als eine Gruppe. Danach erfolgte die Auswertung in den Untergruppen „Schulter“ und „Oberarm“ in jeweils einem separaten LMM.

Tabelle 33 zeigt die Parameterschätzung des LMM mit der abhängigen Variable „GrAbst1u5Diff“, in welcher der Untersuchungstag einen signifikanten Effekt aufwies. Pro Untersuchungstag stieg die Spanne zwischen erstem und fünftem Finger an der betroffenen Hand um 0,28 cm. Die Beweglichkeit verbesserte sich also. Die Anzahl der postoperativen Tage wies im multivariaten Modell keine Signifikanz mehr auf.

Tabelle 33: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „GrAbst1u5Diff“ und den Kovariaten „UntNr“ und „ZeitpostOP“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,759500	,501539	48,546	5,502	,000	1,751382	3,767619
UntNr	-,283543	,130397	94,939	-2,174	,032*	-,542415	-,024670
ZeitpostOP	-,040530	,085367	31,915	-,475	,638	-,214435	,133376

Tabelle 34: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „U15OArmDiff“ und den Kovariaten „UntNr“, „Alter“ und „ZeitpostOP“ sowie dem Faktor „Lokspez“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	-,851706	1,490299	40,372	-,571	,571	-3,862850	2,159439
UntNr	-,389456	,153260	96,673	-2,541	,013*	-,693647	-,085265
[Lokspez = Ellenbogen]	-,163496	1,597151	39,348	-,102	,919	-3,393127	3,066136
[Lokspez = Hand]	-,525837	2,099351	39,180	-,250	,804	-4,771553	3,719879
[Lokspez = Oberarm]	2,884057	1,304462	40,171	2,211	,033*	,247990	5,520123
[Lokspez = Schulter]	2,992275	1,256106	39,902	2,382	,022*	,453396	5,531153
[Lokspez = Unterarm]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	,048471	,026032	38,302	1,862	,070	-,004215	,101157
ZeitpostOP	-,032121	,111324	38,020	-,289	,775	-,257480	,193239

Betrachtete man den Messpunkt U15OArm, wurden dort mehrere signifikante Effekte deutlich. Wie in Tabelle 34 gezeigt, nahm die Seitendifferenz der Umfänge pro Untersuchungstag am Oberarm um 0,39 cm ab. Die Schwellung am Oberarm war bei Patienten mit

Operationen am Oberarm und an der Schulter am stärksten ausgeprägt. Am wenigsten geschwollen war der Oberarm bei Patienten mit Traumen an der Hand (Abbildung 24). Die Signifikanz des Alters war multivariat nicht mehr nachweisbar, es zeigte sich aber eine tendenziell ausgeprägtere Schwellung mit steigendem Alter.

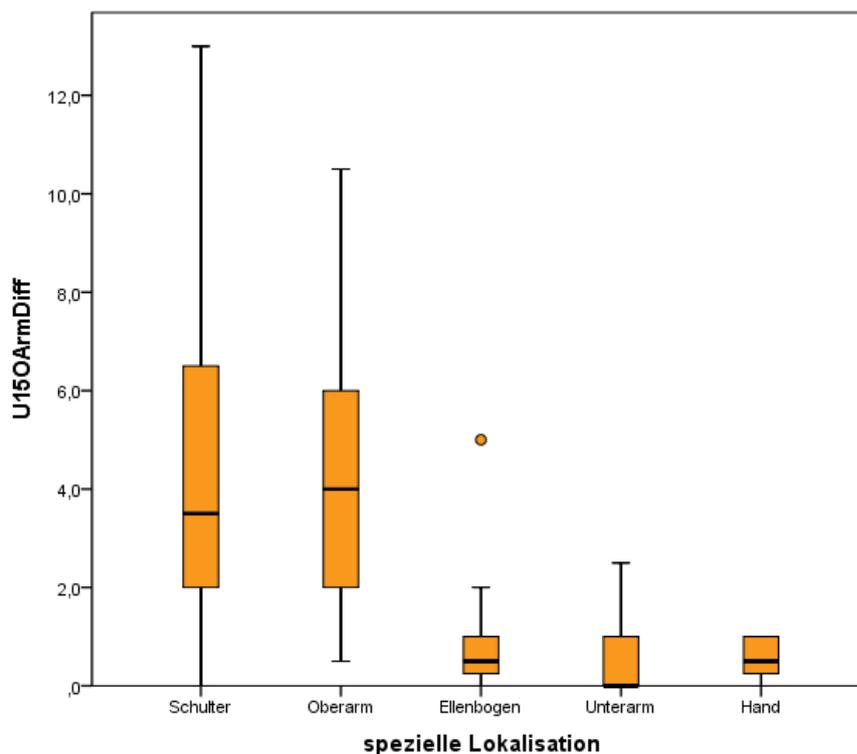


Abbildung 24: Boxplots, Auswirkung der speziellen Lokalisation am Oberarm (U15OArm in cm)

Tabelle 35: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „ElleDiff“ und den Kovariaten „UntNr“, „Alter“ und „ZeitpostOP“ sowie dem Faktor „Lokspez“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	,035690	1,160383	41,103	,031	,976	-2,307573	2,378953
UntNr	-,223236	,127267	108,117	-1,754	,082	-,475499	,029026
[Lokspez = Ellenbogen]	3,472215	1,222237	39,876	2,841	,007*	1,001744	5,942686
[Lokspez = Hand]	-1,305069	1,604858	39,636	-,813	,421	-4,549537	1,939399
[Lokspez = Oberarm]	1,333223	1,025687	40,497	1,300	,201	-,738976	3,405422
[Lokspez = Schulter]	1,382852	,966209	40,535	1,431	,160	-,569127	3,334831
[Lokspez = Unterarm]	0 ^b	0	.	.	.	.	.
Alter	,051671	,020370	38,193	2,537	,015*	,010442	,092900
ZeitpostOP	-,054840	,084650	38,200	-,648	,521	-,226177	,116496

An der Elle zeigten sich signifikante Effekte auf die Schwellung. Die Umfangsdifferenzen sanken um 0,22 cm pro Untersuchungstag (Tabelle 35). Mit dem Alter stieg auch die Seitendifferenz der Umfänge, dies ist in Abbildung 25 grafisch dargestellt.

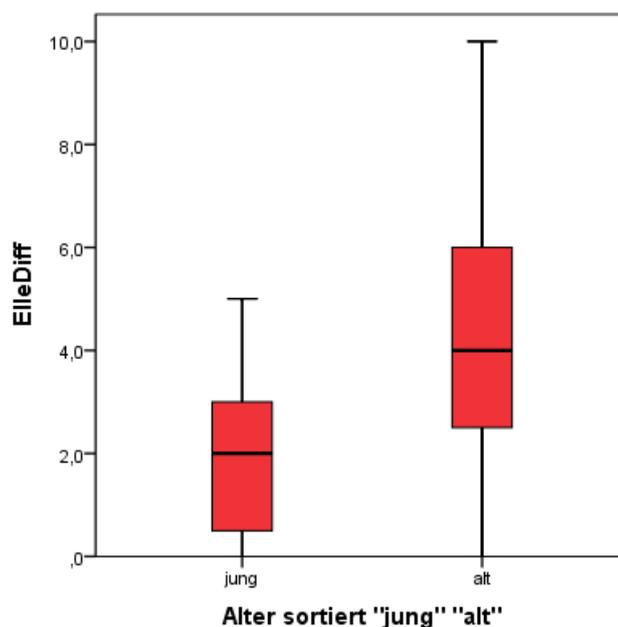


Abbildung 25: Boxplots, Abhängigkeit der Umfangsdifferenz am Ellenbogen (ElleDiff in cm) vom Alter

Am Messpunkt U100Arm ließ sich lediglich univariat ein signifikanter Effekt des Alters auf die Differenz der Umfänge errechnen. In Tabelle 36 ist zu sehen, dass mit steigendem Alter die Schwellung mit 0,04 cm pro Lebensjahr geringfügig stärker ausgeprägt war.

Tabelle 36: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „U100ArmDiff“ und der Kovariate „Alter“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	-1,024415	,787171	49,054	-1,301	,199	-2,606250	,557419
Alter	,039992	,011953	48,182	3,346	,002*	,015962	,064022

Auf die Variable „UHandGDiff“ gab es einen signifikanten Effekt durch den Faktor „Lokspez“. Tabelle 37 zeigt, dass Patienten mit Operationen am Unterarm die am stärksten ausgeprägten Schwellungen am Handgelenk aufwiesen. Verletzungen an anderen Regionen am Arm äußerten sich durch ähnliche Schwellungsausmaße des Handgelenks.

Tabelle 37: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „UHandGDiff“ und dem Faktor „Lokspez“, b. Dieser redundante Parameter wird auf null gesetzt.

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,501196	,358618	46,761	6,975	,000	1,779652	3,222741
[Lokspez = Ellenbogen]	-1,192807	,577258	42,975	-2,066	,045*	-2,356978	-,028636
[Lokspez = Hand]	-1,046028	,739608	43,097	-1,414	,164	-2,537493	,445437
[Lokspez = Oberarm]	-1,531363	,424991	45,233	-3,603	,001*	-2,387217	-,675509
[Lokspez = Schulter]	-1,460063	,423329	44,779	-3,449	,001*	-2,312807	-,607319
[Lokspez = Unterarm]	0 ^b	0	.	.	.	.	.

Die Gruppen mit den Lokalisationen „Schulter“ und „Oberarm“ bestanden jeweils aus 16 Patienten. Um ein *Overfitting* zu vermeiden, konnten maximal zwei Kovariaten bzw. Faktoren in ein LMM einberechnet werden.

3.3.5 Patienten-Gruppe „Schulter“



Abbildung 26: Schwellungsverlauf einer 79-jährigen Patientin nach mehrfragmentärer Humeruskopffraktur, operative Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese am 16.12.2016, links: dritter postoperativer Tag, vor Therapiebeginn, rechte Hand deutlich geschwollen, gesamter Arm verdickt und prall; Mitte: Hände im Vergleich vor PhysioTouch®-Behandlung; rechts: fünfter postoperativer Tag, nach dritter Therapie gesamter Arm deutlich dünner, Haut wirkte nicht mehr so gespannt und fest, vor allem am Handrücken Rückgang der Schwellung deutlich erkennbar, da wieder Venen und Sehnen sichtbar

Bei den Schulter-Patienten gab es vom ersten zum fünften Tag einen durchschnittlichen Zuwachs der Umfangsdifferenzen um 14,2%, im Vergleich zum vierten Tag waren es 2,7%. Auf den Regressor „U15OArmDiff“ hatten sowohl der Untersuchungstag als auch der postoperative Tag keine signifikanten Effekte mehr im multivariaten Modell (Tabelle 38). Weitere signifikante Effekte ließen sich nicht nachweisen.

Tabelle 38: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „U15OArmDiff“ und den Kovariaten „UntNr“ und „ZeitpostOP“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	5,994084	1,216044	18,000	4,929	,000	3,439269	8,548900
UntNr	-,138760	,418399	21,311	-,332	,743	-1,008095	,730576
ZeitpostOP	-,308609	,368651	13,756	-,837	,417	-1,100607	,483388

3.3.6 Patienten-Gruppe „Oberarm“

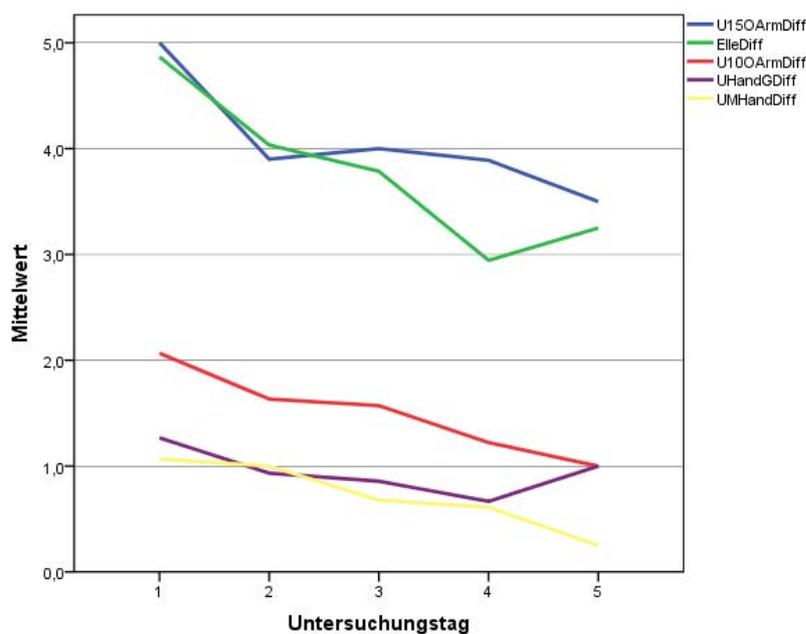


Abbildung 27: Liniendiagramm, Verlauf der Schwellung bei Patienten mit Oberarmverletzungen, M in cm

Oberarm-Patienten zeigten nach fünf Behandlungen eine Reduktion der Seitendifferenz um 16,8%, nach vier Tagen waren es sogar 31,0%. Die Beweglichkeit der Hand war bei Patienten mit Traumen am Oberarm signifikant vom Untersuchungstag abhängig. Wie in Tabelle 39 kenntlich gemacht, war die Hand von Tag zu Tag beweglicher.

Tabelle 39: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „GrAbst1u5Diff“ und der Kovariaten „UntNr“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	2,549618	,652915	21,121	3,905	,001	1,192281	3,906956
UntNr	-,358398	,138857	40,563	-2,581	,014*	-,638917	-,077879

Am Oberarm ließ sich die Schwellung signifikant durch den Untersuchungstag beeinflussen. Tabelle 40 zeigt, dass pro Untersuchungstag die Differenz der Umfänge um 0,63 cm sank, veranschaulicht in Abbildung 27.

Tabelle 40: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „U15OArmDiff“ und den Kovariaten „UntNr“ und „ZeitpostOP“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	5,341548	,897658	18,031	5,951	,000	3,455867	7,227229
UntNr	-,632705	,198843	42,659	-3,182	,003*	-1,033802	-,231607
ZeitpostOP	,059576	,131665	13,686	,452	,658	-,223428	,342579

Der Untersuchungstag wirkte sich auch signifikant auf den Messpunkt Elle aus. Pro Tag war eine Reduktion der Seitendifferenz um 0,55 cm zu beobachten. Mit dem Alter stieg die Differenz der Umfänge signifikant (Tabelle 41).

Tabelle 41: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „ElleDiff“ und den Kovariaten „UntNr“ und „Alter“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	-,740285	1,767103	13,524	-,419	,682	-4,542908	3,062338
UntNr	-,548097	,132749	51,615	-4,129	,000*	-,814525	-,281668
Alter	,086742	,024369	13,000	3,560	,003*	,034097	,139387

Tabelle 42 zeigt den signifikanten Effekt des Alters auf die Differenzen am Messpunkt U10OArm. Es gab einen Anstieg von 0,07 cm pro Lebensjahr. Auf die Schwellung am Handgelenk war ein signifikanter Einfluss des Untersuchungstages zu verzeichnen, Tabelle 43 zeigt dies. Pro Tag sank die Differenz um 0,15 cm.

Tabelle 42: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „U10OArmDiff“ und der Kovariate „Alter“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	-2,989335	1,702783	15,229	-1,756	,099	-6,613988	,635317
Alter	,067451	,024109	15,043	2,798	,013*	,016076	,118826

Tabelle 43: Schätzungen fester Parameter für das LMM mit der abhängigen Variable „UHandGDiff“ und der Kovariate „UntNr“

Parameter	Schätzung	Standardfehler	Freiheitsgrade	t-Statistik	Signifikanz	CI 95%	
						Untergrenze	Obergrenze
konstanter Term	1,316051	,248411	33,883	5,298	,000	,811154	1,820947
UntNr	-,149172	,071279	52,128	-2,093	,041*	-,292196	-,006148



Abbildung 28: 84-jährige Patientin mit distaler Humerustrümmerfraktur und anschließender Pseudarthrose, offene Reposition mit autogener Spongiosaplastik und Plattenosteosynthese des distalen Humerus am 16.05.2016 in der UMG, Verlauf der Schwellung vom sechsten postoperativen Tag vor PhysioTouch® bis zum neunten postoperativen Tag, nach drei Therapien, postoperatives Ödem des gesamten Armes reduzierte sich kontinuierlich, Rückbildung der Schwellung deutlich am Handrücken sichtbar

Zusammenfassend zeigte sich, dass der Untersuchungstag in allen Gruppen an mindestens einem Messpunkt einen signifikanten Effekt aufwies. Das Alter spielte vereinzelt – sowohl in der Gruppe „untere Extremität“ als auch „obere Extremität“ – eine signifikante Rolle. In den Untergruppen „Knie“ und „Schulter“ ergaben sich ebenfalls Signifikanzen. Das Geschlecht wies lediglich signifikante Effekte in der Gruppe der Patienten mit Knie Traumen auf und der postoperative Tag schien vernachlässigbar zu sein.

3.4 Weitere Patientenbeispiele anhand von Fotodokumentationen

3.4.1 Fallbeispiel 1: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Unterschenkel



Abbildung 29: 57-jähriger Patient mit Tibiaplateaufraktur sowie Fraktur des Fibulaköpfchens, während PT sind eingedrückte Dellen als Ödem-Merkmal sichtbar, Therapiebeginn drei Tage nach definitiver Frakturversorgung mittels Plattenosteosynthese der Tibia, nach erster Therapie leichte Reduktion der Schwellung an Unterschenkel und Knöchel erkennbar

3.4.2 Fallbeispiel 2: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am oberen Sprunggelenk



Abbildung 30: links: 46-jährige Patientin am dritten postOP Tag nach varisierender Osteotomie der distalen Fibula und distalen Tibia; rechts: fünfter postoperativer Tag, bereits nach zwei Behandlungen deutliche Abschwellung des Fußes und der OSG-Region sichtbar, Fußrücken und OP-Narbe nicht mehr so gespannt, die Patientin fühlte Entlastung

3.4.3 Fallbeispiel 3: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Fuß bei Patient mit Fixateur externe



Abbildung 31: 82-jähriger Patient mit OSG-Luxationsfraktur; links: 21. postoperativer Tag mit Fixateur externe, vor PT, deutliches postoperatives Ödem an Fußrücken und Zehen; rechts: 22. postoperativer Tag, während zweiter PT-Therapie, Patient verspürt Erleichterung der Spannung im OP-Gebiet

3.4.4 Fallbeispiel 4: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Fuß



Abbildung 32: 22-jähriger Patient mit Mehrfragmentfraktur des Fußes im Bereich Mittelfußknochen I bis V; links oben: zehnter postoperativer Tag nach offener Reposition und Osteosynthese mit winkelstabilen Platten, vor PT-Therapiebeginn, fester und gespannter Fuß; rechts oben: elfter postoperativer Tag, bereits nach einer PT-Therapie ließ Schwellung nach; links unten: zwölfter postoperativer Tag, nach zwei PT-Therapien; rechts unten: 13. postoperativer Tag, nach drei PT-Behandlungen wirkte Schwellung deutlich reduziert, Fuß nicht mehr so gespannt, Patient äußerte Linderung des Spannungsgefühls und der Schmerzen

3.4.5 Fallbeispiel 5: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation am Arm



Abbildung 33: 77-jährige Patientin mit subcapitaler Humerusfraktur, Olecranonfraktur und distaler Radiusfraktur nach Sturz; links: Therapiebeginn mit PT am zweiten postoperativen Tag nach winkelstabilen Plattenosteosynthesen, deutliche Schwellung des gesamten Armes; Mitte: nach erster PT-Behandlung, am dritten postoperativen Tag besonders am Handrücken Abnahme der Schwellung zu sehen; rechts: am nächsten Tag noch deutlicher

3.4.6 Fallbeispiel 6: Therapie mit PhysioTouch® nach Operationen am Arm bei Patient mit Fixateur externe



Abbildung 34: 51-jähriger Patient mit offener distaler Unterarmtrümmerfraktur; links: sechster postoperativer Tag nach Versorgung mit Fixateur externe, vor PT; rechts: siebter postoperativer Tag, Reduktion des postoperativen Ödems zeigte sich bereits nach einer PhysioTouch®-Therapie minimal, an den Fingern der linken Hand erkennbar

3.4.7 Fallbeispiel 7: Therapie mit PhysioTouch® nach Operation an der Hand



Abbildung 35: 56-jähriger Patient mit Ausgangsbefund eines ausgeprägten Handrückenödems mit Einschluss der Finger am elften postoperativen Tag nach operativer Versorgung eines Handgelenkempyems; links: vor PT-Therapie; Mitte: zwölfter postoperativer Tag, nach erster Behandlung mit PhysioTouch® blieb Schwellung der linken Hand weiterhin massiv bestehen; rechts: 13. postoperativer Tag, nach zwei PT-Therapien weiterhin starke Schwellung, besonders im Vergleich zur rechten Hand erkennbar

3.4.8 Fallbeispiel 8: Prä- und postoperative Therapie mit PhysioTouch® im Verlauf



Abbildung 36: präoperativer Verlauf: 62-jähriger Patient mit Weber A- und OSG-Luxationsfraktur, vier PhysioTouch®-Behandlungen



Abbildung 37: postoperativer Verlauf nach Plattenosteosynthese der distalen Tibia und der *Malleoli medialis* und *lateralis* sowie offener Reposition der Fibulafraktur, fünf Behandlungen durchgeführt, Entwicklung des An- und Abschwellsens vor allem an Zehen und Fußrücken sichtbar; rechts unten: nach fünf PT-Behandlungen postoperativ wieder Hautfältelung am Fußrücken sichtbar, Hinweis auf Schwellungsreduktion

4 Diskussion

In der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen werden jährlich 5 285 Operationen durchgeführt (Stand 2018, Website der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie). Postoperative Ödeme stellen eine häufige Komplikation von Operationen dar. Bei 20 bis 25% der Patienten entwickeln sich sogar chronische Ödeme (Szczesny und Olszewski 2002). Diese Schwellungen können Wundheilungsstörungen begünstigen und eine Entlassung aus dem Krankenhaus verzögern (Thordarson et al. 1997; Herpertz 2010; Brock et al. 2015; Majewski-Schrage und Snyder 2016). Häufig kommt es vor, dass Patienten aufgrund massiver posttraumatischer Schwellungen tagelang auf eine Operation warten müssen, die erst durchgeführt werden kann, wenn die betroffene Extremität abgeschwollen ist (Rohner-Spengler et al. 2014). Zudem können Ödeme die Lebensqualität der Patienten einschränken (Stolldorf et al. 2016). Die Entstehung von Ödemen nach OP lässt sich meist nicht vermeiden (Fu-qiang et al. 2011), der Verlauf ist allerdings positiv beeinflussbar. Der Einsatz frühzeitig abschwellender Maßnahmen sowie die Bildung von Patient und Krankenhauspersonal zum Thema können die Liegezeit im Krankenhaus verkürzen (Kluga et al. 2019). Umso wichtiger sind die Kenntnis und die Anwendung effektiver Maßnahmen zur Schwellungsreduktion, sowohl für das Wohl der Patienten als auch aus wirtschaftlicher Sicht für das Gesundheitssystem (Kluga et al. 2019).

In dieser Arbeit sollte der Einfluss der maschinellen Lymphdrainage mit PhysioTouch® auf posttraumatische Schwellung vor und nach verschiedenen unfallchirurgischen Operationen in einer Qualitätssicherungsstudie untersucht werden. Ob PhysioTouch® eine effektive Schwellungsreduktion ermöglichen konnte, soll anhand der Ergebnisse und aktueller Studien im Folgenden diskutiert werden. Dazu werden auch Studien zur Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage herangezogen, da es sich um ein vergleichbares Verfahren handelt (siehe 4.4).

4.1 Beeinflussung posttraumatischer Schwellungen

4.1.1 Ausmaß und Verteilung posttraumatischer Schwellungen

Ersichtlich war, dass mehr Frauen am Knie, an der Hüfte und an der Schulter operiert wurden, während die Männer auch hauptsächlich Knieoperationen erhielten, sich an den anderen Lokalisationen aber auf den Unterschenkel, den Oberarm und das obere Sprunggelenk konzentrierten.

Laut einer chinesischen Studie aus dem Jahr 2011 mit Knie-TEP-Patienten erreichte die Schwellung drei bis fünf Tage nach der Operation ein Maximum (Fu-qiang et al. 2011),

nach Hüft-TEP war die Schwellung sieben Tage nach OP am ausgeprägtesten (Holm et al. 2011). So begann die Therapie mit PhysioTouch® in dieser Studie im Schnitt am fünften postoperativen Tag (siehe Tabelle 2). Die Schwellung der unteren Extremitäten trat meist beidseits auf, allerdings war sie am operierten Bein signifikant stärker ausgebildet (Fu-qiang et al. 2011). Zudem stellten Fu-qiang et al. eine signifikant größere Schwellung oberhalb des Knies im Vergleich zum Unterschenkel und Fuß fest. So waren auch in dieser Arbeit die Unterschiede der Umfänge zwischen beiden Beinen peripher wie am Fuß, geringer als zentral, z. B. am Oberschenkel (Tabelle 3 bis Tabelle 8). Ein Ödem bezeichnet eine Flüssigkeitsansammlung im Gewebe (Kasseroller 1999). Am Oberschenkel ist mehr Gewebe und Muskulatur vorhanden, in der sich Flüssigkeit ansammeln kann. Somit besteht ein potenziell erhöhtes Risiko für eine stärkere Ausprägung eines Ödems, als es z. B. am Fuß der Fall ist.

Physiopathologisch begründet, entwickelt sich eine Schwellung direkt am Ort des Traumas bzw. der Operation (Szczyzny und Olszewski 2002). Die Ergebnisse zeigten eindeutig einen Zusammenhang zwischen Lokalisation des Traumas bzw. der Operation und dem Ausmaß der Schwellung, weswegen auch eine Einteilung der Patienten in Untergruppen nach Lokalisation erfolgte. Auch die Rückbildung des Ödems war von der Lokalisation abhängig. So zeigten die Patienten nach Operationen am Knie die größten Umfangsdifferenzen beim Vergleich von operiertem zu nicht operiertem Knie (Abbildung 21). Wie zuvor auch dänische Autoren feststellten (Holm et al. 2011), hatten Hüft-Patienten große messbare Seitendifferenzen an Oberschenkel und Knie, zudem eine signifikante Schwellungsreduktion am Oberschenkel (Tabelle 32). An der oberen Extremität gab es die ausgeprägtesten Schwellungen am Ellenbogen. Auch bei Patienten mit Schulterverletzungen war die größte Schwellung am Ellenbogen und Oberarm messbar. Patienten mit traumatischen Handverletzungen wiesen die größten Differenzen der Umfänge peripher, an der Mittelhand und dem Handgelenk, auf.

4.1.2 Risikofaktoren postoperativer Schwellungen

Die Studie „Risikofaktoren für die Schwellung an den unteren Extremitäten nach primärer Knie-Totalendoprothese“ aus China (Fu-qiang et al. 2011) zeigte interessante Ergebnisse. Diese haben sich hier größtenteils bestätigt. Fu-qiang et al. analysierten retrospektiv die Änderungen der Extremitätenumfänge von 286 Patienten nach Knie-TEP. Das durchschnittliche Alter entsprach mit 65,5 Jahren fast genau dem Durchschnittsalter der Patienten dieser Studie (64 Jahre). Allerdings schlossen die Autoren nur 48 Männer bei 238 Frauen ein (Fu-qiang et al. 2011), während in dieser Studie die Anzahl nahezu ausgeglichen war (70 Männer, 76 Frauen). Zwischen den Altersgruppen fanden die chinesischen Autoren keine signifikanten Unterschiede. Die jüngsten Gruppen dieser Studie waren die Fuß- und die Unterarm-Gruppe sowie die Patienten mit OSG-Traumen. Bei Patienten mit diesen Lokalisationen wurden auch geringere Schwellungsausmaße entdeckt (Abbildung 19). Sprunggelenksfrakturen sind typische Verletzungen bei Sportlern, also bevorzugt jüngerer

Patienten (Aschenbrenner und Biberthaler 2012). In diesen Gruppen wurden auch die wenigsten Behandlungen durchgeführt. Dies erscheint logisch, wenn man bedenkt, dass es einen Zusammenhang zwischen steigendem Alter und einem vermehrten Auftreten von Ödemen gibt (Moffatt et al. 2003; AWMF 2017). Die ältesten Patienten waren in der Hüft- und Oberschenkel-Gruppe vertreten (Tabelle 2). Schließlich handelt es sich beispielsweise bei der Schenkelhalsfraktur um eine typische Fraktur des Alters (Aschenbrenner und Biberthaler 2012). Auch Patienten der Gruppe „Knie“ waren durchschnittlich älter. Dort gab es die größten messbaren Seitendifferenzen. Das Alter spielte – wie in der chinesischen Studie bestätigt – jedoch kaum eine Rolle an den unteren Extremitäten (Fu-qiang et al. 2011). Nur am Messpunkt des Unterschenkels stieg mit dem Alter tendenziell auch das Ausmaß der Schwellung. An den Armen gab es offensichtlichere Unterschiede. Mit steigendem Alter waren teilweise stärkere Schwellungen an Ellenbogen und Unterarmen messbar, was wiederum die in der Literatur angenommene Tendenz zur erhöhten Prävalenz von Ödemen mit steigendem Alter unterstützt (Moffatt et al. 2003).

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern wurde nicht gefunden (Fu-qiang et al. 2011), dagegen war interessanterweise bei den Knie-Patienten dieser Studie ein signifikanter Effekt des Geschlechts nachweisbar. Bei Frauen schwoll das Bein unterhalb des Knies mehr an als bei den männlichen Patienten (Abbildung 20). Grund dafür könnte eine andere Verteilung der Wassereinlagerungen bei Frauen sein und die allgemeine erhöhte Neigung zur Ausbildung von Ödemen bei Patientinnen (Neuhüttler und Brenner 2006). Auch eine andere Studie, in der die Schwellung der Beine nach Sentinel-Lymphknoten Biopsien genauer untersucht wurde, erbrachte eine Tendenz einer erhöhten Schwellungsneigung bei Frauen (Kretschmer und Pratsch 2012).

Zusammenfassend gesagt, ist davon auszugehen, dass hohes Alter und weibliches Geschlecht eher Risikofaktoren für eine ausgeprägte postoperative Schwellung darstellen.

4.1.3 Verlauf der Schwellung während der Therapie

Zur Beurteilung der Effektivität abschwellender Maßnahmen wurde in zuvor publizierten Studien (Thordarson et al. 1997; Preston et al. 2008; Fu-qiang et al. 2011; Ebert et al. 2013; Brock et al. 2015; Pichonnaz et al. 2016) sowie in dieser Arbeit die Entwicklung der Umfangsdifferenzen herangezogen. Eine Abnahme der Differenzen galt als Erfolg. Im zeitlichen Verlauf (Abbildung 13, Abbildung 14) war eine tendenzielle Verringerung der Umfangsdifferenz-Mittelwerte und somit der Schwellung erkennbar. Die Fotodokumentationen (ab Seite 47) ausgewählter Patienten unterstützen genannte Ergebnisse und veranschaulichen Schwellungsreduktionen. Andererseits wurden auch Beispiele für schwer therapierbare Ödeme vorgestellt.

Subjektiv verspürten sowohl Patienten dieser Studie als auch Patienten zuvor diskutierter Studien (Airaksinen et al. 2011; Vuorinen et al. 2013) eine Spannungserleichterung und Schmerzreduktion, verbunden mit einem angenehmen Gefühl während und nach der The-

rapie durch PhysioTouch® (bzw. LymphaTouch®). Kein Patient beklagte ernstere Komplikationen oder Beschwerden nach oder während einer Therapieeinheit, lediglich selten äußerten Patienten eine leichte Schmerzzunahme (Airaksinen et al. 2011) oder ein Druckgefühl während einer Therapie in OP-Wunden-Nähe. Viele Patienten wünschten sich eine Behandlung mit PT bzw. eine Fortführung der Therapie. Keiner der Patienten wollte oder musste die Therapie aufgrund von Schmerzen oder Komplikationen durch die Unterdrucktherapie abbrechen. Positiv empfanden die Patienten die individuelle Adaptierbarkeit des Drucks und die Tatsache, dass das Gerät keine Schmerzen verursachte.

4.1.3.1 Schwellungsverläufe an den unteren Extremitäten

Beim gesamten Patientenkollektiv der unteren Extremität ($n = 101$) zeigten sich die größten Unterschiede und damit Schwellungen am Knie, was dadurch begründet war, dass 48 Patienten (47,5%) das Trauma am Knie erlitten. Autoren bereits publizierter Studien mit PhysioTouch® (Vuorinen et al. 2013) beschrieben einen positiven Effekt auf die Entwicklung der Schwellung. Eine Schwellungsreduktion war an jedem Messpunkt grafisch (Abbildung 16) darstellbar, nur an den Messpunkten OS10 und US15 nahm die Schwellung vom vierten zum fünften Untersuchungstag wieder zu. Dies lag wahrscheinlich an der geringen Patientenanzahl an Untersuchungstag 5 und der Tatsache, dass gerade Patienten, die besonders schwer von postoperativen Komplikationen wie dem Ödem betroffen waren, das Krankenhaus nicht vorzeitig verließen und dadurch länger therapiert wurden. Betrachtete man nur den Verlauf vom ersten bis zum vierten Tag, konnte die PhysioTouch®-Therapie an allen Stellen eine Umfangsreduktion herbeiführen. Prozentual gesehen, ergaben sich allerdings keine großen Unterschiede. Der Vergleich der Schwellungsreduktion zwischen ersten und vierten (12,2%) bzw. fünften (11,2%) Untersuchungstag variierte nur um 1,0%. Wäre das Patientenkollektiv am fünften Tag allerdings größer gewesen, hätte man signifikante Werte und Tendenzen erwarten können.

Bezogen auf die Untergruppen, zeigten sich interessante Ergebnisse. Innerhalb der Patienten nach Hüftoperationen und Hüfttraumen gab es große Unterschiede. Verglichen mit der ersten Messung, ergab sich nach der fünften Untersuchung eine Umfangsreduktion der betroffenen Extremität um 8,6%. Am vierten Tag waren es dagegen noch 25,9% Zuwachs. Die fünfte Behandlung hatte offensichtlich keinen weiteren schwellungsreduzierenden Effekt. Bei nur drei Patienten der Gruppe „Hüfte“, die noch eine fünfte Therapie erhielten, ist dies wohl kaum aussagekräftig. Dagegen konnte bei den Knie-Patienten weder nach der vierten noch nach der fünften Behandlung eine Reduktion erreicht werden. Knie-Patienten hätten mehr Therapieeinheiten gebraucht, damit eine Reduktion nachweisbar gewesen wäre. Interessant in Bezug auf diese Ergebnisse sind auch die Resultate einer randomisierten kontrollierten Studie von Pichonnaz et al. aus dem Jahr 2016. Dort wurden 29 Patienten nach Knie-TEP-Operation fünfmal mit 30-minütiger MLD behandelt. Dies ist vergleichbar mit den fünf postoperativen PT-Behandlungen dieser Studie. 27 Patienten der Vergleichsgruppe erhielten anstelle der MLD Placebo in Form von autogenem Training und Hypno-

se. Mittels Bioimpedanz Spektroskopie wurde die Schwellungsentwicklung evaluiert. Messungen erfolgten bei allen Patienten vor der Operation, am zweiten Tag vor Beginn der Behandlung und am siebten postoperativen Tag sowie nach drei Monaten. Nur drei Monate nach OP gab es signifikante Unterschiede zwischen der Behandlungs- und der Kontrollgruppe. Zu diesem Zeitpunkt zeigte die MLD-Gruppe eine signifikant geringere Gradzahl bei passiven Kniebeugekontrakturen (2,6 Grad weniger) (Pichonnaz et al. 2016). Die Bioimpedanz Spektroskopie ist eine valide, zuverlässige Messmethode zur Schwellungsevaluation und wies in der RCT nur auf Tendenzen der Schwellungsreduktion bei Knie-TEP-Patienten – die mit MLD therapiert wurden – hin. Die in dieser Arbeit dargelegten Ergebnisse nach PhysioTouch®-Behandlung bei 48 Patienten der Gruppe „Knie“ konnten auch keine signifikante Schwellungsreduktion nachweisen. Somit stimmten sie mit Pichonnaz Ergebnissen sowie mit Eberts Resultaten aus dem Jahr 2013, welcher auch die Umfangsmessung zur Schwellungsevaluation nutzte, überein (Ebert et al. 2013).

Anders verhielt es sich bei der Gruppe der Patienten, die Unterschenkeltraumen erlitten. Nach fünf Behandlungen mit PT kam es hier zu einer Umfangsreduktion von durchschnittlich 32,1%. Bei nur noch zwei therapierten Patienten ließ diese Zahl keine Verallgemeinerung zu. Nach vier Behandlungen, an denen noch sechs Patienten teilnahmen, ergab sich allerdings nahezu der gleiche Wert von 31,2%. Auch bei OSG-Trauma-Patienten war eine Umfangsverringering zu verzeichnen. Bereits erwähnte Autoren (Eisenhart et al. 2003; Kessler et al. 2003; Rohner-Spengler et al. 2014) stellten ähnliche Verläufe nach Knöchel- und Fußfrakturen dar. Die Werte sanken um 4,2% nach der fünften Behandlung (noch zwei Patienten an Tag 5). Nach vier Therapieeinheiten (sechs Patienten) nahmen die Differenzen der Umfänge sogar um 31,0% ab.

4.1.3.2 Schwellungsverläufe an den oberen Extremitäten

Beim Patientenkollektiv der Arme (n = 45) war eine Umfangsreduktion von Tag 1 zu Tag 4 stets nachweisbar (Abbildung 18). Bei nur sieben Patienten an Untersuchungstag 5 waren kaum verallgemeinerbare Aussagen möglich (Abbildung 17). Es handelte sich um Patienten mit besonders ausgeprägten Schwellungen des Armes, die schwer zu therapieren waren und besonders den Bereich des Ellenbogengelenks betrafen. Trotzdem ergaben sich Abnahmen der Umfänge um 10,8% vom ersten zum fünften Tag im Vergleich. Viel eindrücklicher war allerdings der Unterschied von Tag 1 zu Tag 4. Die Reduktion betrug 18,8%. In bereits erwähnten Studien wurden ebenfalls positive Effekte von MLD und PT auf Schwellungen an den Armen beschrieben (Härén et al. 2000; Knygsand-Roehoej und Maribo 2011; Vuorinen et al. 2013).

Schulter-Patienten profitierten allerdings weniger von den PT-Behandlungen. Nach vier Therapien errechnete sich eine Umfangsvergrößerung um 2,7% bei noch zwölf untersuchten Patienten, nach fünf Behandlungen sogar 14,2% Zuwachs, nur vier Patienten konnten an Therapie 5 teilnehmen. Anders dagegen äußerten sich Ergebnisse bei Patienten nach Trauma am Oberarm. Nach vier Therapieeinheiten gab es eine durchschnittliche Volumen-

reduktion um 31,0% bei noch sechs Patienten, nach fünfmal PT 16,8%, hier wurden nur noch zwei Patienten untersucht. Es zeichneten sich positive Verläufe ab.

Insgesamt waren Erfolge durch PhysioTouch® zu sehen. PT führte in dieser Studie zu einer messbaren Schwellungsreduktion nach bereits vier bzw. fünf Behandlungen. Problematisch waren die absinkenden Patientenzahlen von Behandlung zu Behandlung (Tabelle 15, Tabelle 17). Dies schränkt die Teststärke ein (Andreß 2001b). Auch die Literatur zeigte bei primären ebenso wie bei sekundären Ödemen positive Wirkungen von PhysioTouch® in Kombination mit der Standardtherapie (Kompression, Mobilisation).

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Studie, kann von einem positiven Beitrag zum effektiven postoperativen Management zur Schwellungsreduktion bei posttraumatischen Ödemen gesprochen werden.

4.2 Aktuelle Studienlage

4.2.1 Publikationen vergangener Jahre zum Thema Wirkung der manuellen Lymphdrainage

Zum Thema der Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage im Hinblick auf die Schwellungsreduktion existieren zahlreiche mehr- oder minderqualitative Studien. Einige davon möchte ich im Folgenden aufgreifen, um die Komplexität und Probleme der Forschung zum Thema aufzuzeigen.

Boris et al. publizierten 1994 eine Studie mit 38 Patienten, die einen Monat lang komplexe physikalische Entstauungstherapie (KPE) erhielten. Die Autoren konnten signifikante Reduktionen der Schwellungen der oberen Extremitäten von 73% und 88% bei Patienten mit Ödem der unteren Extremitäten nachweisen (Boris et al. 1994).

Andere Autoren (Majewski-Schrage und Snyder 2016) betrachteten anhand von drei Studien das Thema der MLD kritisch. Kessler et al. bestätigten mittels einer RCT mit 22 Patienten, dass die zusätzliche Durchführung der MLD zur postoperativen Standard-Physiotherapie (aktive und passive Bewegungstherapie, Thrombose-Prophylaxe) täglich nach Operationen am Fuß, einen signifikanten Vorteil in Bezug auf die Volumenreduktion der Extremität am Tag der Entlassung brachte (Kessler et al. 2003). Auch Ebert et al. untersuchten den Effekt der Lymphdrainage in der frühen postoperativen Phase bei 24 Patienten nach Knie-TEP (Kontrollgruppe ohne MLD mit 26 Patienten) bei täglicher Durchführung von 30 Minuten. Eine signifikant höhere Schwellungsreduktion konnten sie an keinem Messpunkt im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen, allerdings eine bessere aktive Kniebeugefähigkeit bereits vier Tage postoperativ (Ebert et al. 2013). In der dritten Studie – die zum Vergleich herangezogen wurde (Knygsand-Roehoej und Maribo 2011) – sollte die Effektivität einer speziellen Lymphdrainage bei Patienten mit subakutem Ödem des Armes nach distalen Radiusfrakturen bewertet werden. Dazu wurden 29 Patienten (14

in Behandlungsgruppe, 15 in Kontrollgruppe) vier Wochen lang dreimal pro Woche, danach zwei Wochen lang zweimal pro Woche, einer speziellen MLD Technik unterzogen. Die postoperativen Physiotherapiemaßnahmen im Sinne von Kompression, Hochlagerung und aktiven Kräftigungs- und Funktionsübungen erhielten alle Patienten. Ein signifikanter Effekt der MLD auf die Schwellungsreduktion konnte auch hier nicht bestätigt werden. Nach neun Wochen gab es lediglich einen statistischen Hinweis, dass die Ödeme der Behandlungsgruppe geringer waren als die der Kontrollgruppe. Nach drei Wochen konnten die Patienten mit MLD Alltagsaufgaben besser erfüllen. Die drei Studien, die Majewski-Schrage und Snyder hier zurate zogen, betrachteten völlig unterschiedliche Patientengruppen nach diversen Traumen und Operationen, sogar die Zeiträume und -punkte der Behandlungen überschritten sich nicht. Trotzdem stimmten die Verfasser mit Erkenntnissen vorheriger Autoren (Vairo et al. 2009) überein, dass die MLD einen positiven Effekt auf die Schmerz- und Ödemreduktion nach muskuloskelettalen Verletzungen und darauffolgenden Operationen habe. Darüber hinaus äußerten die Autoren, das bisherige postoperative Therapiemanagement RICE (= *rest* [Ruhe], *ice* [Eis], *compression* [Kompression], *elevation* [Hochlagerung]) sei veraltet und neige dazu, Lymphgefäße gar zu okkludieren und somit den Abtransport von Flüssigkeit zu verhindern (Majewski-Schrage und Snyder 2016). MLD sollte also unbedingt als postoperative Standardtherapie angewendet werden, um das Lymphgefäßsystem zu aktivieren und das Outcome der Patienten in Bezug auf Schwellung und Funktion zu verbessern. Auch Vairo et al. erkannten diese Notwendigkeit bereits im Jahr 2009 und erstellten aus diesem Grund einen Überblick über Publikationen zum Thema MLD aus den Jahren 1998 bis 2008, um deren Evidenz zu diskutieren (Vairo et al. 2009). Zwar gab es mehr als 100 Artikel zum Thema MLD, aber nur neun relevante zum Thema Wirksamkeit der MLD, die die Einschlusskriterien der Autoren (RCT, Kohortenstudie, Fallstudie oder innovatives Tierexperiment, Patienten mit diagnostizierter muskuloskelettaler Verletzung, vertrauenswürdige bewährte Messmethoden) erfüllten. Unter anderem konnte im Tiermodell eine erhöhte Aufnahme von Flüssigkeit aus dem Gewebe (Dery et al. 2000) bzw. ein vermehrter Lymphfluss im *Ductus thoracicus* durch manipulative Intervention im Sinne lymphatischer Pump Techniken nachgewiesen werden (Knott et al. 2005; Hodge et al. 2007). Theoretische Konzepte der MLD wurden damit bestätigt. Weiterführend galt die Übertragung auf den Menschen, um die Wirksamkeit der MLD kritisch zu bewerten (Vairo et al. 2009). Dazu zeigte eine RCT mit 55 Patienten mit akuten Knöchelverletzungen (Eisenhart et al. 2003) – davon 28 Patienten in der Behandlungsgruppe – einen signifikanten Einfluss einer einzigen maximal zwanzigminütigen Behandlung mit spezifischen osteopathisch-manipulativen Techniken (OMT), die auch Lymphdrainage-Techniken einschlossen.

Eine andere Publikation untersuchte den Einfluss der Lymphdrainage nach Vodder auf 26 Patienten mit distalen Radiusfrakturen. Alle erhielten einen Fixateur externe. Die Behandlungsgruppe mit zwölf Patienten bekam zusätzlich zur postoperativen Standardtherapie zehn 45-minütige Lymphdrainage Behandlungen über einen Zeitraum von durchschnittlich

sechs Wochen. Am ersten Messpunkt – nach durchschnittlich sechs MLD-Sitzungen – und am zweiten Messpunkt zeigten sich bei den Volumenmessungen signifikante Unterschiede in der Ausprägung der Ödeme der Kontroll- und Behandlungsgruppe. Die Autoren schlussfolgerten einen positiven Effekt der MLD auf die postoperative Schwellung nach Radiusfrakturen. Sie waren der Meinung, MLD ersetze keinesfalls die Standardtherapie, sollte aber bei Patienten mit besonders ausgeprägten persistierenden Schwellungen als zusätzliche Maßnahme in Betracht gezogen werden (Härén et al. 2000).

Die Schlussfolgerung mehrerer Autoren (Boris et al. 1994; Weiss 1998; Härén et al. 2000; Eisenhart et al. 2003; Vairo et al. 2009; Majewski-Schrage und Snyder 2016), dass eine Kombination an abschwellenden Maßnahmen am effektivsten sei, erscheint sehr sinnvoll. In allen genannten Studien war eine postoperative Standardtherapie unverzichtbar. Die Kombination der Maßnahmen verbesserte das postoperative Outcome der Patienten in Bezug auf Schwellung, Funktion und Schmerz.

4.2.2 Publikationen zur Wirkung von PhysioTouch®

Bisherige Ergebnisse der Forschung mit PhysioTouch® bzw. LymphaTouch® resultierten größtenteils aus Fallstudien eines Patienten und den Publikationen finnischer Autoren. Hauptsächlich wurden Patienten mit Lymphödem, resultierend durch Mammakarzinom mit Lymphknotenentfernung, therapiert. Studien an unfallchirurgischen Patienten mit postoperativen bzw. posttraumatischen Ödemen waren auch nach intensiver PubMed Central®-Recherche nicht auffindbar.

Zwei verschiedene Studien am Unterarm derselben gesunden Patienten betrachteten die Effekte der Unterdrucktherapie auf das Gewebe näher. Interessanterweise bezogen sich diese Studien auf die diagnostischen Möglichkeiten des PT-Gerätes. Durch einen integrierten Infrarot-Lichtsensor im PT-Aufsatz wurde die mechanische Antwort des Gewebes als Verformung der Haut durch den Unterdruck gemessen. Dies passierte an ödematösen Unterarmen, herbeigeführt durch venöse Okklusion. Zuvor erfolgten selbige Messungen an den ruhenden Unterarmen (Iivarinen et al. 2013). Basierend auf diesen Daten und mithilfe gewonnener geometrischer Dimensionen aus der Quantitativen Computertomographie konstruierten die Wissenschaftler vereinfachte 3D-Modelle, *fibril-reinforced hyperelastic finite element (FE) model*, des Unterarms. Aus diesen zogen sie Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Gewebes, besonders der Haut und des geschwollenen Gewebes im Falle von Ödemen. Elastizitätsmodule charakterisierten die mechanische Antwort auf den negativen Druck. Die errechneten Modelle deuteten an, dass PT besonders bei großen Spannungen die mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Gewebe sensitiv messen konnte. Ödematöses Gewebe reagierte außerdem mit weniger Deformation, also erhöhter Steifigkeit, auf den Sog als gesundes Gewebe (Iivarinen et al. 2013). Die Autoren schlussfolgerten, dass aufgrund charakteristischer schwellungsinduzierter Änderungen der Gewebesteifigkeit eine Anwendung von PT für diagnostische Zwecke im Hinblick auf Gewebe-

Pathologien – wie Ödeme – sinnvoll sei. Des Weiteren wurden verschiedene Behandlungsprotokolle für den Unterarm – der pulsierende und der kontinuierliche Unterdruck-Modus im Vergleich – angewendet, um die effektivste Stimulation des lymphatischen Abflusses zu bestimmen (Iivarinen et al. 2016). Es galt, die Fließeigenschaften der freien Flüssigkeit im Gewebe durch den Sog besser zu verstehen und einen optimalen Behandlungsplan zu ermitteln. So fanden die Autoren heraus, dass der kontinuierliche Sog höhere Flüssigkeitsdrücke und Fließgeschwindigkeiten erzielte. Die mittlere Geschwindigkeit war beim intermittierenden Unterdruck 96% geringer. Die kontinuierliche Sog-Methode erbrachte somit einen effektiveren Transport freier Flüssigkeit im Gewebe. Ein Problem dieser Studie stellte allerdings die Tatsache dar, dass lediglich der Fluss freier Flüssigkeit im Gewebe, nicht aber die Aufnahme und der Transport von Flüssigkeit durch das Lymphgefäßsystem in die Modelle einbezogen wurde. Wie sich der Unterdruck also im Detail auf die Aktivierung initialer Lymphkapillaren und den Weitertransport der Lymphe auswirkte, blieb noch unklar. Somit erlaubte die Studie höchstens für Bereiche mit defektem Lymphgefäßsystem therapeutische Schlussfolgerungen. Ob die kontinuierliche Methode verglichen mit dem intermittierenden Modus auch effektiver das Lymphgefäßsystem aktiviert, könnte Gegenstand zukünftiger Forschungen sein (Iivarinen et al. 2016).

Australische Studenten haben die Technik der Unterdruckmethode beschrieben und kamen zu dem Schluss, dass es sich um eine innovative Therapie handelt, die potentiell das Outcome komplexer Lymphödem Therapien verbessern kann und weiterer Validierung mittels Forschung und Erfahrung bedarf (Gott et al. 2018).

In einer finnischen klinischen Studie (Vuorinen et al. 2013) wurden 13 Mastektomie-Patientinnen mit Lymphknotenresektion und darauffolgendem Lymphödem des Armes untersucht. Sieben erhielten an zehn Arbeitstagen in zwei Wochen eine 60-minütige LymphaTouch®-Therapie während die anderen sechs Patientinnen mittels MLD nach der Vodder Methode behandelt wurden. Eine Kompressionstherapie des Armes bekamen alle Patienten zusätzlich. Die Studie bearbeitete die These, ob die Unterdrucktherapie sicher sei, welche die Forscher eindeutig mit Ja beantworteten. Keine der Patientinnen klagte über Beschwerden von der Therapie. Es stellte sich die zweite Frage, ob die Unterdrucktherapie die Schwellung effektiver als die MLD zurückdrängt. Um diese Frage zu beantworten, wurden verschiedene Messwerte erhoben – darunter die Umfangsmessung der Extremitäten – die Volumenbestimmung der Arme mittels MRT, die Hautfestigkeit sowie die Lebensqualität anhand eines speziellen Fragebogens. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass LymphaTouch® effektiver sei, da im MRT ödematöses Muskelgewebe um 7% abschwoll, nur 2% nach MLD. Das gesamte Armvolumen unterschied sich zwischen den beiden Methoden allerdings nicht. Anhand der Umfangsmessungen war zwar im Verlauf eine Verringerung erkennbar, allerdings gleiche Werte bei beiden Methoden. Nach der Unterdrucktherapie war die Haut elastischer, 2% MLD versus 9% LymphaTouch®. Die Patienten, die man mit Unterdruck behandelte, gewannen laut Fragebögen 14% an Lebensqua-

lität, während der Wert bei MLD-Patientinnen nur 5% stieg (Vuorinen et al. 2013). Insgesamt handelte es sich um eine äußerst geringe Patientenzahl in den Gruppen und die Ergebnisse nach MLD und LymphaTouch® zeigten sehr ähnliche Werte. Offensichtlich braucht es größere randomisiert kontrollierte Studien, um einen Unterschied zwischen den Therapiemethoden festzustellen.

Autoren einer ebenfalls kleinen finnischen klinischen Studie, in der 15 Patienten je nach Bedarf zwei bis sechs 20-minütige Behandlungen mit PT bekamen, schlussfolgerten, dass PT eine gut kombinierbare Methode zu aktiver Physiotherapie sei und für eine Vielzahl unterschiedlicher Beschwerden zur Schmerz- und Schwellungsreduktion eingesetzt werden könne. Als Vorteile der PT-Therapie stellten sie das Eindringen der Wirkung in tiefere Schichten ohne Verursachung zusätzlicher Schäden und die Möglichkeit der Therapie früher Phasen akuter Traumen mit geschädigtem Gewebe heraus (Airaksinen et al. 2011). Davon insgesamt 66 Therapieeinheiten nur nach drei Einheiten subjektive Schmerzanstiege zu verzeichnen waren und das Schmerzlevel anhand der VAS gleich blieb oder sank, resümierten die Autoren einen signifikanten Vorzug der Therapie. Außerdem beschrieben sie eine subjektiv beobachtete Schwellungsreduktion durch Inspektion und Palpation nach allen Einheiten.

Eine weitere Einzelfallstudie (Osborne und Newell 2015), die auf dem 25. Welt-Kongress der Lymphologie 2015 vorgestellt wurde, zeigte mittels Umfangsmessung und Bioimpedanz-Messung eine Reduktion eines sekundären Lymphödems nach Mammakarzinom um 50% nach sechsmonatiger PT-Behandlung.

4.3 Limitationen der Arbeit

Jede klinische Studie ist mit Einschränkungen gegenüber der Realität verbunden. Die Limitationen dieser Arbeit werden hier aufgezeigt.

4.3.1 Allgemeingültigkeit der Studie

Mit 146 Patienten handelte es sich um ein ausreichend großes Patientenkollektiv mit einer breiten Altersverteilung und ungefähr gleicher Anzahl an Männern und Frauen, um als Qualitätssicherungsstudie zu gelten. Das Setting der Studie war klinikalltagsnah. Es handelte sich um Patienten mit verschiedensten Verletzungen und unfallchirurgischen sowie endoprothetischen Operationen.

Betrachtete man allerdings die Aufteilung der Patienten nach spezieller Lokalisation, entstanden viele kleine Patientenkollektive, die kaum genügend *Power* für eine statistische Auswertung boten. Allerdings wurde dieser Fakt bei der statistischen Auswertung insofern berücksichtigt, dass die Anzahl der Faktoren im LMM begrenzt wurde, um ein *Overfitting* zu vermeiden. Zudem erfolgten in zahlreichen bereits genannten Publikationen statistische

Auswertungen aus Daten ähnlich kleiner Patientenkollektive (Airaksinen et al. 2011; Iivari-
nen et al. 2013; Vuorinen et al. 2013).

Zudem erhielten nicht alle Patienten die volle Anzahl an Therapien. Wie in Abbildung 50
ersichtlich ist, streuten die Werte am fünften Untersuchungstag am meisten. Das lag an der
geringen Patientenzahl, die an der letzten Untersuchung teilnahm (Tabelle 15, Tabelle
17). Bei der Gruppe der oberen Gliedmaßen waren es nur noch sieben Patienten und noch
22 Patienten mit Verletzungen an den Beinen, die fünfmal mit PhysioTouch® behandelt
wurden (Abbildung 15, Abbildung 17). Somit war das Patientenkollektiv an Untersu-
chungstag 5 deutlich reduziert. Da das Konfidenzintervall die Präzision der Lageschätzung
eines Parameters darstellt, ist die Signifikanz direkt ablesbar. Ein breites Intervall, wie es
besonders an Untersuchungstag 5 der Fall war, spiegelte somit den geringen Stichproben-
umfang wider. Auch eine große Variabilität der Grundgesamtheit könnte Grund für breite
Konfidenzintervalle sein (Andreß 2001a). Somit sollte bei der Interpretation des Schwel-
lungsverlaufs darauf geachtet werden, dass die Werte am fünften Untersuchungstag eine
geringere Signifikanz aufwiesen und eher tendenzielle Entwicklungen anzeigten. Um ein-
deutigere Ergebnisse zu erzielen, wären mehr Patienten mit fünf Messungen nötig gewesen,
was aus organisatorischen Gründen wie vorzeitiger Entlassung allerdings nicht umsetzbar
war.

4.3.2 Datenverteilung und Homogenität der Ergebnisse

Anhand des Shapiro-Wilk-Quotienten stellte sich heraus, dass nur ein Teil der Daten nor-
malverteilt war. Diese Tatsache wurde bei der Testung berücksichtigt. Die daraufhin
durchgeführten t-Tests bzw. der Wilcoxon-Test als nicht parametrischer Test zeigten nicht
bei allen Mittelwerten der Paare signifikante Unterschiede. Die größten messbaren Unter-
schiede gab es zwischen dem ersten und dem zweiten Untersuchungstag. Sowohl am Ober-
schenkel und am Knie als auch am Unterarm gab es demnach bereits nach der ersten Be-
handlung einen großen messbaren Erfolg in Form einer Schwellungsreduktion. Dies ent-
sprach Beobachtungen aus der Produktinformation, die einen direkt messbaren Behand-
lungserfolg nach nur einer Therapieeinheit versprechen (Airaksinen et al. 2011; proxo-
med® Medizintechnik GmbH 2015) und ist anhand der Wirkungsweise von PT nachvoll-
ziehbar.

Nicht zu vernachlässigen ist auch die Tatsache, dass die verschiedenen Messpunkte unter-
schiedliche Varianzen zeigten. So streuten besonders Werte der Messpunkte OS20Diff
(Tabelle 3, Tabelle 4, Tabelle 7) und U15OArmDiff (Tabelle 9, Tabelle 10). Eine Erklärung
für die scheinbare Ungenauigkeit könnte das vermehrte Vorkommen von subkutanem
Gewebe und Muskeln an diesen Stellen im Vergleich zu den anderen Messpunkten sein.
Hier erschwerten Störfaktoren auf den Umfang – wie Hämatome und Muskelatrophie –
präzise Messungen und Aussagen.

4.3.3 Umfangsmessung als verlässliche Methode zur Bestimmung des Ausmaßes der Schwellung

In der Literatur werden zahlreiche Methoden der Ödembestimmung vorgestellt und verwendet. Laut Preston et al. gibt es drei verschiedene Arten der Volumenmessung: Wasser-Verdrängung, elektronische Volumeter oder Berechnungen aufgrund oberflächlicher Messungen wie der Umfangsmessung. Umfangsmessungen alleine wären nicht ausreichend und umstritten (Kretschmer et al. 2008), außer sie würden in maximal vier-Zentimeter-Abständen bestimmt und durch die Formel Umfang zum Quadrat geteilt durch Pi in ein Volumen konvertiert (Preston et al. 2008). Die Umfangsmessung an mehreren Stellen – wie auch in „Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie“ (Haeger 2006) vorgeschlagen – wurde dennoch in vielen Studien zur Evaluation von Ödemen verwendet (Eisenhart et al. 2003; Caschman et al. 2004; Holm et al. 2010; Fotiadis et al. 2011; Murdaca et al. 2012; Ebert et al. 2013). Allerdings gilt es, diese Methode kritisch zu hinterfragen. Das Anlegen und Ablesen des Maßbandes bedarf größter Sorgfalt. Vorteilhaft ist, dass die Methode auch bei Patienten mit Fixateuren und offenen Wunden anwendbar ist. Die Durchführung gestaltet sich einfach, lediglich ein Maßband ist notwendig. Dies waren auch die Gründe für die Verwendung der Technik in dieser Studie. Eine Publikation von 1996 bestätigte die Reliabilität der Umfangsmessung an den unteren Extremitäten nach anteriorer Kreuzbandrekonstruktion an neun Patienten. Die Autoren kamen anhand ihrer wiederholten Messergebnisse zu dem Schluss, dass die Umfangsmessung mit einer hohen *Interrater*-Reliabilität sowie *Retest*-Reliabilität einherging. Die Validität wurde angenommen. Zuverlässig und unkompliziert, dennoch sei die Umfangsmessung mit Einschränkungen verbunden, besonders an den Gelenken sei eine akkurate Messung wichtig (Soderberg et al. 1996). Die Werte werden durch Muskelatrophie, wie sie z. B. nach Knie-TEP auftritt (Meier et al. 2008), und durch chirurgische Verbände beeinflusst (Pichonnaz et al. 2015) und korrelieren kaum mit anhand der körperlichen Untersuchung diagnostizierten Schwellungen (Kretschmer et al. 2008). Dennoch zeigte der Umfang des Knöchels allein die größte Korrelation mit dem klinischen Ausmaß der durch Knöchelfrakturen bedingten Weichteilgewebeschwellung in einer britischen Studie (Caschman et al. 2004). So benutzen Caschman et al. die Umfangsmessung, da das Eintauchen der Füße mit instabilen Frakturen und offenen Wunden in ein wassergefülltes Gefäß zur Volumenbestimmung keine Option war (Caschman et al. 2004). Allerdings bestand laut anderen Autoren keine Korrelation zwischen der Umfangsmessung und der Volumenbestimmung. Die Umfangsmaße waren insignifikant und unzuverlässig, es gab eine hohe intra- und interobserver Variabilität (Thordarson et al. 1997). Bei der Volumenbestimmung durch Wasserverdrängung wird das überlaufende Wasser in Milliliter nach Eintauchen der Extremitäten in das bis zum Überlaufen gefüllte Wasserbecken im Seitenvergleich bestimmt (Thordarson et al. 1997). Für den klinischen Alltag und besonders im postoperativen Management ist die Methode impraktikabel.

Sowohl die Umfangsmessung als auch die Eintauchmethode messen das gesamte Gliedmaßenvolumen und nicht die extrazelluläre Flüssigkeit (Cornish et al. 1996). Beispielsweise ist es ein Trugschluss, dass sich das Volumen der Extremität verdoppelt, wenn sich die Menge der extrazellulären Flüssigkeit verdoppelt (Pichonnaz et al. 2015). So lassen sich auch mit der photo-optischen Volumenmessung mithilfe von Referenzmuster-Strümpfen, Messplattform und kalibrierter Videokamera – sogenannte „Image 3D“ Technik (Kretschmer und Pratsch 2012; Pratsch und Kretschmer 2012) – nur das Gesamtvolumen bzw. Volumina bestimmter Abschnitte der Extremität sowie Umfänge kalkulieren. Eine Methode zur Bestimmung der extrazellulären Flüssigkeit bei postoperativen Schwellungen stellt die Bioimpedanz-Messung mittels Elektroden und Strom dar. Sie scheint äußerst valide, reliabel sowie effizient für die postoperative Nachsorge (Pichonnaz et al. 2015). Dennoch gaben Pichonnaz et al. zu bedenken, dass die Werte der Umfangsmessung, Volumenmessung und Bioimpedanz-Messung insgesamt gut korrelierten und somit die Frage blieb, warum derartige Fluktuationen der Messungen im Verlauf zu sehen waren. Denn zwischen dem Tag vor der OP und zwei Tage postoperativ gab es noch signifikante Unterschiede aller Messmethoden. Erst für Tag 8 nach OP zeigte nur noch die Bioimpedanz-Messmethode signifikante Unterschiede.

Sicherlich ist die Messung der Umfänge mit einem herkömmlichen Maßband nicht die exakteste Methode zur Bestimmung postoperativer Ödeme, lediglich das gesamte Extremitätenvolumen wird bei akkurater Messung geschätzt, ein Schluss auf die Menge der extrazellulären Flüssigkeit ist nur indirekt möglich (Cornish et al. 1996). Trotz dessen hat sich die Methode bewährt und wurde vielfach angewendet (Fu-qiang et al. 2011; Holm et al. 2011; Murdaca et al. 2012; Brock et al. 2015; Kluga et al. 2019). Insgesamt fehlt es nach wie vor an einer methodisch standardisierten Erfassung der Quantifizierung von Lymphödemen (Pratsch und Kretschmer 2012). Weitere Studien sollten den Einfluss von PhysioTouch® auf die Verteilung der Flüssigkeit mit genaueren Messmethoden wie der Bioimpedanz-Messung untersuchen.

4.3.4 Beeinflussung von Ödemen durch andere Faktoren

Ödeme entstehen durch dynamische komplexe Prozesse, die von vielen Faktoren beeinflusst werden. Nicht nur die Funktionen der Organe – z. B. Herz und Niere (siehe Abbildung 3) – haben einen wesentlichen Einfluss, sondern auch zahlreiche äußere Faktoren (Kasseroller 1999; Szczesny und Olszewski 2002; Szczesny und Olszewski 2003; Földi 2015). In anderen Studien nachgewiesene Risikofaktoren für ein erhöhtes Auftreten von Schwellungen – wie Adipositas ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) oder das Auftreten von Seromen (Kretschmer und Pratsch 2012) – wurden in dieser Arbeit vernachlässigt. Alle der nachfolgend genannten Faktoren können die Entwicklung von Ödemen wesentlich beeinflussen. Ob oder wie stark die Patienten in dieser Studie den Faktoren ausgesetzt waren, bleibt offen.

So gilt zu beachten, dass der Verlauf der Schwellung möglicherweise nicht allein auf die PT-Therapie zurück zu führen ist.

4.3.4.1 Einfluss der Temperatur

Bei Wärme reagiert lymphostatisches Ödemgewebe viel stärker hyperämisch als nicht ödematöses Gewebe. Die Durchblutungserhöhung hat einen erhöhten Blutkapillardruck zur Folge, der einen weiteren Flüssigkeitseinstrom in das Gewebe fördert. Mit einer Unterkühlung dagegen kann ein lymphomotorischer Stillstand verursacht werden. Das Kapillarsystem reagiert sehr empfindlich auf Körpertemperaturschwankungen. Ist die Außentemperatur gering, kommt es zu einer Zentralisierung des Blutkreislaufs, ist die Temperatur dagegen hoch, wird die Peripherie verstärkt durchblutet, somit auch die Haut, der kapillare Filtrationsdruck steigt (Kasseroller 1999). Je nach Temperatur können sich Ödeme also verstärken oder abschwellen.

4.3.4.2 Einfluss durch Medikamente

Cumarine wie Marcumar fördern den Abbau der lymphpflichtigen Last, indem sie die proteolytische Aktivität von Makrophagen steigern. Der Effekt war allerdings gering, die hepatotoxische Wirkung überwog (Waśko et al. 2016). Mineralisches Selen soll unterstützend auf Entödematisierung wirken, da es bei Stoffwechselprozessen von Enzymen benötigt wird und antiinflammatorisch ist. Diuretika sorgen zwar für eine erhöhte Flüssigkeitsausscheidung über die Niere, beeinflussen Lymphödeme mit ihrem hohen Eiweißgehalt allerdings nur gering, da das Wasser sofort nachströmt (Waśko et al. 2016). pH-neutrale Cremes mit Glykosaminyglykanen regen die Lymphmotorik an, da sie positiv vasomotorisch auf die kleinen Gefäße der Haut wirken (Kasseroller 1999). Für die Therapie mit hydrolytischen Enzymen wie Phlogenzym konnte kein eindeutiger Vorteil in Studien in Bezug auf eine Schwellungsreduktion gezeigt werden (Kerkhoffs et al. 2004). Gleiches galt für Venotonika (Fotiadis et al. 2011).

4.3.4.3 Einfluss durch die Ernährung und das Körpergewicht

Kochsalzarme Diäten könnten eine Ödemreduktion erzielen, auch eiweißarme Diäten wurden diskutiert. Allerdings fördert eine Hypoproteinämie wiederum durch Abnahme des onkotischen Drucks den Ausstrom von Flüssigkeit ins Gewebe. Zudem zeigten übergewichtige und adipöse Patienten in einigen Studien eine erhöhte Neigung zur Ödementwicklung (Kasseroller 1999; Kretschmer und Pratsch 2012; Bertelli et al. 2013; Greene et al. 2015). Ein Zusammenhang zwischen erhöhten BMI-Werten $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ und verstärkter Schwellung wurde bei Knie-TEP-Patienten gefunden (Fu-qiang et al. 2011). Gerade im endoprothetischen Bereich ist ein Großteil der Patienten übergewichtig (Mehrotra et al. 2005). Somit kann eine erhöhte Inzidenz postoperativer Ödeme nach Endoprothesen vermutet werden.

4.3.4.4 Einfluss der Atmung

Atemgymnastik kann als unterstützende abschwellende Maßnahme genutzt werden. Tiefe Zwerchfellatmungen erzeugen einen negativen Druck im Thorax. Der negative Druck sorgt für einen erhöhten Einstrom von Lymphe in den *Ductus thoracicus* bzw. *Truncus lymphaticus dexter*, wodurch die Lymphdrainage effektiver erfolgen kann (Kasseroller 1999).

4.3.4.5 Einfluss durch Bewegung und Lagerung

Aktive Muskelkontraktionen fördern sowohl den venösen als auch den lymphatischen Abfluss von Gewebsflüssigkeit – als natürliche Muskelpumpe wird dieses Phänomen häufig bezeichnet. Auch passive Bewegungen können die Motorik des Lymphgefäßsystems anregen (Kasseroller 1999). Dass die Lagerung der betroffenen Extremität eine große Rolle spielt, wurde bereits in Kapitel 1.5.1, Seite 7 besprochen. So fördert eine Hochlagerung den Abfluss, während ein Herabhängen der Extremität ein weiteres Anschwellen zur Folge haben kann.

4.3.4.6 Einfluss durch die Zeit

Natürlich spielt auch der Faktor Zeit bei der Entstehung und Rückbildung von Ödemen eine entscheidende Rolle. Eine Schwellung tritt allgemein nach fast jeder OP auf (Fu-qiang et al. 2011), da jede Operation einer Körperverletzung entspricht und Entzündungsprozesse verursacht (Szczeny und Olszewski 2002; Keel und Wagner 2008). Schwellung ist ein Zeichen für diese postoperative Entzündungsreaktion. Klingt die Entzündung ab, bildet sich normalerweise auch die Schwellung zurück. Die Phase der Exsudation lässt sich nicht vermeiden, Ziel der effektiven Schwellungsreduktion ist lediglich eine schnellere Reduktion bestehender Ödeme bzw. das Ausmaß möglichst gering zu halten (Fu-qiang et al. 2011; Kluga et al. 2019). So sollte der postoperative Zeitpunkt des Beginns der Therapie in dieser Arbeit berücksichtigt werden. Wie in Abbildung 13 und Abbildung 14 zu sehen ist, variierte der Therapiebeginn stark, doch im LMM war kaum ein signifikanter Einfluss des postoperativen Tages nachweisbar. Es schien somit doch eine untergeordnete Rolle zu spielen, zu welchem Zeitpunkt die Therapie begonnen wurde. Wichtiger war, wie lange sie durchgeführt wurde, denn die Untersuchungsnummer war in mehreren LMM (Tabelle 21, Tabelle 23, Tabelle 28, Tabelle 30, Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 39, Tabelle 40, Tabelle 41 und Tabelle 43) signifikant. Umso mehr Behandlungen, desto größer war der Erfolg.

4.4 Manuelle Lymphdrainage und PhysioTouch® im Vergleich

Insgesamt ließen sich viele Parallelen zwischen PT und MLD finden, somit konnte PT durchaus als eine Art der Lymphdrainage angesehen und behandelt werden. Ergebnisse und Effekte beider Therapien waren somit vergleichbar.

4.4.1 Gemeinsamkeiten der Therapien

Die Kontraindikationen (siehe Ausschlusskriterien der Studie in Kapitel 2.1.1, S. 14) beider Therapien unterschieden sich nicht.

Beide Therapien beginnen im sogenannten Terminusgebiet, um das Einflussgebiet der Lymphe zu leeren und zu aktivieren. Die Massage wird dann von proximal nach distal fortgeführt, stehende Lymphe wird weiter geleitet und die „Pumpen des Lymphgefäßsystems“, die Lymphangione, werden angeregt (Majewski-Schrage und Snyder 2016). Dabei wird auf das Gebiet der Schwellung ein besonderes Augenmerk gelegt. Das gesamte Lymphgefäßsystem wird aktiviert, vor allem die Abfluswege der geschwollenen Region gilt es freizulegen. Die Therapien können jeweils individuell durch Anpassung von Technik, Druck, Intensität und Dauer modifiziert werden. Beide Behandlungen wirken durch insgesamt kleinere Drücke und zarte Berührungen eher beruhigend auf den Patienten, was eine Vagotonisierung zur Folge hat (Kasseroller 1999).

4.4.2 Unterschiede der Behandlungsmethoden

Die größten Unterschiede stellen die Art der Behandlung und die Applikation der Druckform dar. Während die MLD manuell mit dem positivem Druck geübter Hände eines speziell dafür ausgebildeten Physiotherapeuten durchgeführt wird, basiert PhysioTouch® maschinell auf Unterdruck (Gott et al. 2018). Die Benutzung kann in kürzester Zeit erlernt werden. Das Medizingerät stellt einen Kostenfaktor von ca. 5000 Euro exklusive Steuern pro Gerät (Preisanfrage bei Tiina Smeds der Firma LymphaTouch® Inc.) dar, den es zu decken gilt. Das Behandlungsschema von PT gibt vor, nachdem den Lymphbahnen von proximal nach distal gefolgt wurde, die Behandlung mit dem Fluss der Lymphe zurück von distal zur Körpermitte durchzuführen. Zwar gibt es keine festgelegten Behandlungszeiten, dennoch benötigte eine PT-Behandlung im Schnitt weniger Zeit als eine MLD, für die unteren Extremitäten ca. 30 Minuten, für oberen Extremitäten sogar nur 20 Minuten, während sich die Behandlungszeiten der MLD laut Physiotherapeuten der UMG eher auf 40 bis 50 Minuten belaufen. PT sieht nach der Therapie nicht zwingend eine Ruhepause vor, welche allerdings genau wie bei der MLD sinnvoll ist, um dem Lymphgefäßsystem die nötige Zeit zu gewährleisten, die Flüssigkeit aus dem Gewebe aufzunehmen und zu transportieren (Majewski-Schrage und Snyder 2016).

4.4.3 Mögliche Vor- und Nachteile von PhysioTouch®

PhysioTouch® ist ein kleines, handliches Gerät, was sich durchaus für die Benutzung im ambulanten Bereich bzw. direkt im häuslichen Bereich des Patienten eignet. Gerade fitten Patienten stünde die Möglichkeit offen, das Gerät nach kurzer Einweisung selbst zu Hause anzuwenden, was eine Ersparnis an Zeit und Arbeitskraft und somit auch Kosten bedeuten könnte. Auf der anderen Seite müssen natürlich auch die Kosten für das Medizingerät getragen werden, z. B. im Sinne einer Leihgebühr für Patienten. Zudem ist PT vielseitig ein-

setzbar, z. B. für die Therapie von sowohl primären als auch sekundären Lymphödemen im Rahmen von Krebserkrankungen, Narben, für die Aufrechterhaltung von Muskelkraft und Muskelfunktionen, Muskelverspannungen, kleineren Sportverletzungen, zur Erhaltung der Gelenkbeweglichkeit sowie im neurologischen Bereich für das Schmerzmanagement (LymphaTouch® Inc. 2018).

Nachteile ergeben sich aus dem Fakt, dass es sich um ein Gerät handelt und kein direkter Hautkontakt zum Patienten besteht: Physiotherapeuten der UMG merkten an, dass sie während der MLD ihre Hände nutzen, um Verhärtungen und Schwellungen im Gewebe gezielt zu ertasten und direkt darauf reagieren, indem sie Griffe entsprechend anpassen. An dieser Stelle muss auch erwähnt werden, dass die Qualität einer MLD von Therapeut zu Therapeut sehr variieren kann und schwer vergleichbar ist. Die Behandlung mit dem Gerät dagegen ist standardisiert und somit auch interpersonell vergleichbar, wenn sich der Behandelnde an das vorgegebene Schema (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47) hält.

4.4.4 Nebenwirkungen der Lymphdrainage

Leidet ein Patient an chronischen Entzündungen, können diese sowohl durch die manuelle Lymphdrainage als auch durch PhysioTouch® in eine akute Phase übergehen (Kasseroller 1999). Übersehene oder beginnende Infektionen können sich über das aktivierte Lymphgefäßsystem ausbreiten oder verschlimmern, ebenso Zellen maligner Tumoren. Durch die Manipulation am Gewebe kommt es durchaus auch zu einer Hyperämisierung, welche die bereits bestehende Schwellung noch verstärken kann. Nur vereinzelte Patienten berichteten über Schmerzen bzw. ein Spannungsgefühl während der Behandlung oder danach (Airaksinen et al. 2011), vor allem im Bereich von Operationsnarben und Wunden. Diese können durch den Zug auf das Gewebe, bedingt durch den Unterdruck, unter Spannung geraten bzw. aufgedehnt werden, was derartige Schmerzen verursachen kann. Zu beobachten war bei einigen Patienten, dass am Tag nach der Behandlung vermehrt Hämatome sichtbar waren, die höchstwahrscheinlich auf die Manipulation der Haut durch das Gerät zurückzuführen waren (siehe z. B. Abbildung 32).

4.5 Ausblick und Chancen für die Therapie mit PhysioTouch®

Mit nur 1,2 kg ist das Gerät sowohl für den klinischen Alltag als auch im ambulanten Bereich einsetzbar (Gott et al. 2018). Kliniken könnten durch eine effektivere Abschwellung aufgrund der Kombination von PT mit anderen abschwellenden Maßnahmen mit einer frühzeitigen Entlassung von Patienten profitieren. Eine Therapie durch den Patienten selbst zu Hause wäre in der postoperativen Phase zur längerfristigen Unterstützung über die Liegezeit im Krankenhaus hinaus und zur Verbesserung des Outcomes denkbar. In ambulanten Physiotherapie-Praxen könnte eine Anschaffung von PT dank kompakter Bauweise und vielfältiger Einsetzbarkeit von Nutzen sein.

Die Chancen der apparativen Therapie sind vielfältig im Hinblick auf Arbeitserleichterung und Zeitersparnis. Laut einer Studie von Girbig et al. – die berufliche Belastungen deutscher Physiotherapeuten ermittelte – gaben viele Befragte als Hauptprobleme im muskuloskelettalen Bereich eine belastende Fehlhaltung während Behandlungen sowie eine Druckbelastung, besonders der Hände und Finger, an, die später zu Finger- und Handgelenkerkrankungen führten. An psychosozialen Belastungen beklagten sie unter anderem Zeitdruck (Girbig et al. 2017). Unter diesen Gesichtspunkten kann eine apparative Maßnahme wie PT die fingerbelastenden Massagen ergänzen oder sogar ersetzen, Finger und Hände der Therapeuten schonen und Zeit im Arbeitsalltag einsparen.

Zwar stellen infektiöse Übertragungen durch die Haut des Patienten und die Absorption von Toxinen im Bereich der Krankengymnastik eher eine untergeordnete Rolle im Vergleich zur Pflege (Girbig et al. 2017) dar, jedoch ist ein weiterer Vorteil der PT-Therapie ein nicht notwendiger Hautkontakt während einer Therapieeinheit, der das Risiko potentieller Gefahren bei direktem Hautkontakt erniedrigt (Gott et al. 2018).

Gerade im Hinblick auf die Therapie länger bestehender Lymphödeme – die bereits zu pathologischen Gewebeeränderungen wie Inflammation mit erhöhter Einwanderung von Entzündungszellen, vermehrter Fetteinlagerung und Fibrose sowie Wassereinlagerungen unterhalb der Muskelfasziolen geführt haben (Zampell et al. 2012) – kann negative Drucktherapie besonders schonend in tiefer liegende Schichten eindringen, ohne dort weitere Entzündungen oder Schmerzen auszulösen. Zusätzlich können bereits sklerosierte verengte Lymphgefäße durch die Wirkungsweise des Unterdrucks tendenziell geweitet werden, wodurch ein erhöhter Lymphfluss resultiert (Gott et al. 2018).

Für Forschungszwecke kann PT insofern relevant sein, als dass der Unterdruck exakt quantifizierbar und Therapien durch standardisierte Behandlungsprotokolle direkt vergleichbar sind. Anders als bei Studien zur Effektivität der MLD (Weiss 1998; Kessler et al. 2003; Mehrotra et al. 2005; Preston et al. 2008; Knygsand-Roehoej und Maribo 2011; Bertelli et al. 2013; Majewski-Schrage und Snyder 2016; Pichonnaz et al. 2016) könnten somit gleiche Bedingungen für optimale Behandlungserfolge ermittelt werden.

5 Zusammenfassung

Sowohl posttraumatische als auch postoperative Ödeme stellen eine Herausforderung in der Therapie, Nachsorge und Rehabilitation unfallchirurgischer Patienten dar. Entstanden durch ein Missverhältnis des An- und Abtransports von Flüssigkeit im Gewebe, bedingt durch Entzündungsprozesse im geschädigten Gewebe und auch durch direkte Schädigung des Lymphgefäßsystems während der Operation können Ödeme den Heilungsprozess beeinflussen. Sie können ihn verzögern und somit die Liegezeit im Krankenhaus verlängern, aber auch langfristige Schmerzen und Funktionseinschränkungen verursachen. Maßnahmen zur Schwellungsreduktion gibt es zahlreiche: Hochlagerung, Kompression, Kühlen und manuelle Lymphdrainage, einzeln angewendet oder in Kombination. Ob das Medizingerät PhysioTouch® der finnischen Firma LymphaTouch® Inc. mithilfe von Unterdruck effektiv zur Schwellungsreduktion beiträgt, sollte in dieser Arbeit überprüft werden. Eine Einordnung und ein Vergleich von PhysioTouch® mit anderen abschwellenden Maßnahmen erfolgte.

An dieser Qualitätssicherungsstudie nahmen 146 Patienten, davon 101 Patienten mit Traumen der unteren Extremitäten sowie 45 Patienten mit Verletzungen an den oberen Gliedmaßen, teil. Insgesamt 523 Behandlungen mit einer durchschnittlichen Dauer von einer halben Stunde fanden postoperativ und posttraumatisch an zwei bis fünf aufeinanderfolgenden Tagen pro Patient statt. Der Therapieerfolg wurde mittels Umfangsmessung und Fotodokumentation erfasst.

PhysioTouch® aktiviert das Lymphgefäßsystem, indem es durch den negativen Druck Faszien und Gewebe aufdehnt, woraufhin sich das Endothel der Lymphkapillaren weitet und kontraktile Einheiten mit einer erhöhten Pumpfrequenz reagieren. Aufnahme und Transport der Lymphflüssigkeit werden durch diese Mechanismen angeregt.

Gemessen an den Umfangsdifferenzen, reduzierte sich die Schwellung beim Patientenkollektiv der unteren Extremität durchschnittlich um 6,4% nach dem ersten Behandlungstag, um 12,2% nach dem vierten Tag und um 11,2%, wenn man den ersten mit dem fünften Untersuchungstag verglich. Für die oberen Gliedmaßen ergaben sich Reduktionen der Schwellung von 8,8% nach einer Behandlung, 18,8% am vierten Tag und 10,8% am fünften Tag. Kein Patient erlitt Komplikationen durch die Therapie, lediglich ein Ziehen der Operationsnarbe beschrieben wenige Patienten. Die Behandlung wurde als angenehm und spannungslindernd charakterisiert. Bis auf die Untergruppen „Knie“ (48) und „Schulter“ (16) – wo vom ersten zum vierten Tag eine Zunahme der Schwellung zu verzeichnen war – konnten auch in den Gruppen „Hüfte“ (19), „Oberarm“ (16), „Unterschenkel“ (12) sowie „oberes Sprunggelenk“ (11) Abnahmen verzeichnet werden. Risikofaktoren für ausgeprägtere Schwellungen waren weibliches Geschlecht und fortgeschrittenes Alter.

Vorzeitige Entlassungen bedingten eine geringe Patientenbeteiligung an der fünften Untersuchung trotz eines insgesamt ausreichend großem Patientenkollektivs, was eine Schwäche der Studie darstellt. Zudem bezweifeln Autoren teils die hier verwendete vielfach bewährte Methode der Umfangsbestimmung als valide Messung des Ödems. Diese Messmethode schätze nur das gesamte Extremitätenvolumen, nicht das Volumen der extrazellulären Flüssigkeit.

In der Literatur einigten sich die meisten Autoren auf einen positiven Beitrag sowohl der MLD als auch der Unterdrucktherapie mittels PhysioTouch® zum effektiven postoperativen Ödem-Management. Eine Kombination mehrerer Methoden, wie der Kompressionstherapie verbunden mit einer aktivierenden Therapie wie PT, sei am sinnvollsten.

PhysioTouch® konnte in der hier präsentierten Studie signifikante Reduktionen posttraumatischer und postoperativer Schwellungen erzielen und kann in Zukunft sowohl im ambulanten als auch stationären Bereich für diagnostische und therapeutische Zwecke empfohlen werden. Zukünftige randomisierte kontrollierte Studien mit ausgeglichenen Patientenzahlen, bezogen auf die Lokalisation des Traumas sowie auf die Verteilung der Untersuchungen, könnten mehr Beweise für die Effektivität von PhysioTouch® liefern.

6 Anhang

6.1 Medizingerät PhysioTouch® – Auswahl des passenden Aufsatzes

Tabelle 44: Auswahl des Aufsatzes für PhysioTouch®

Größe des Aufsatzes (Durchmesser)	Anwendung	Foto
35 mm	kleinere Gebiete wie Narben, Adhäsionen oder im Gesicht, am Fuß, an der Hand	
50 mm		
60 mm	größere Gebiete wie Torso, Extremitäten	
80 mm		
		

Abbildung 38: PT – kleiner Aufsatz

Abbildung 39: PT – mittlerer Aufsatz

Abbildung 40: PT – großer Aufsatz

6.2 Operationen – Aufschlüsselung nach Art

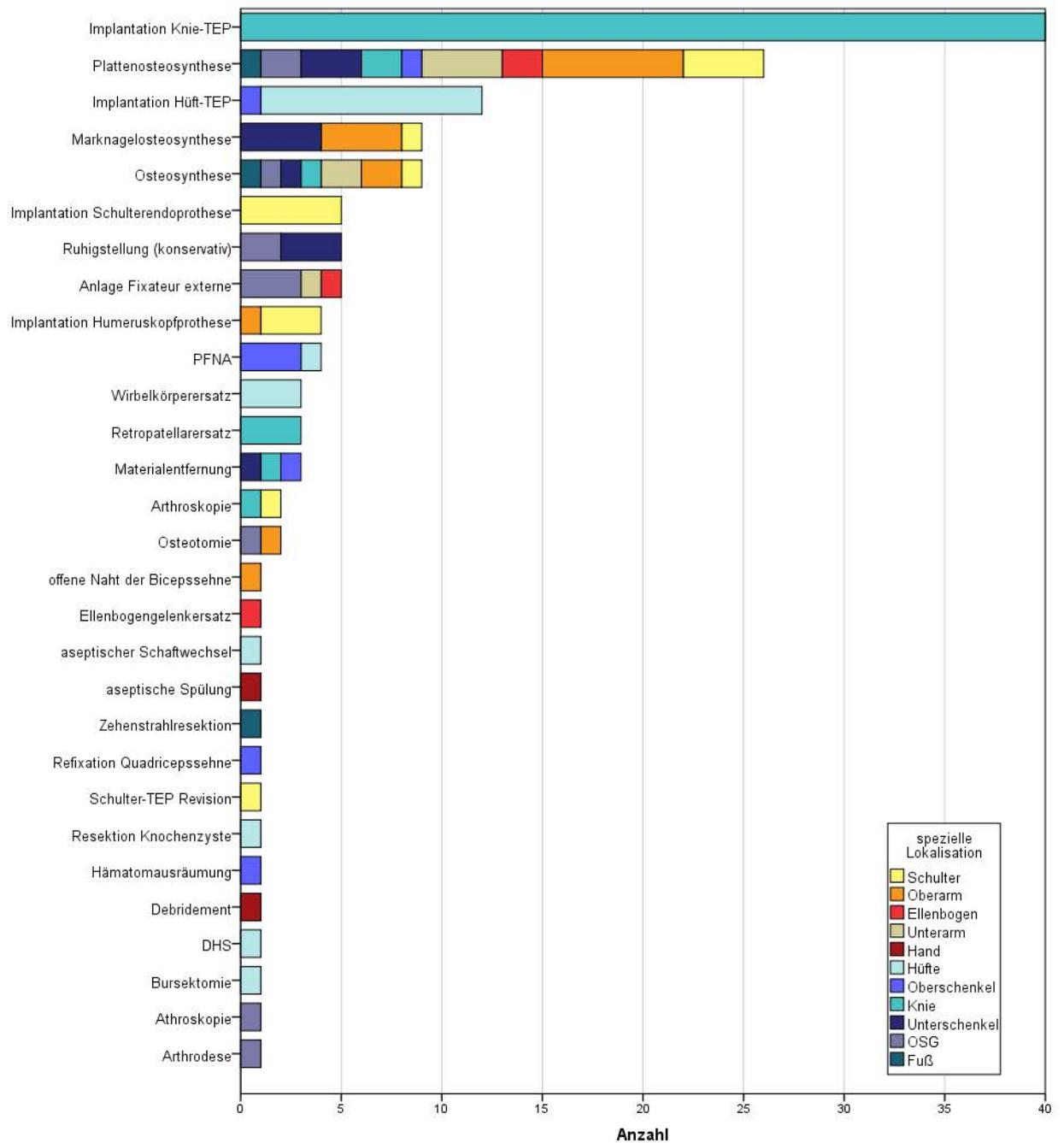


Abbildung 41: Balkendiagramm zur Aufschlüsselung der durchgeführten Operationen nach Lokalisation, Abk.: TEP = totale Endoprothese, PFNA = proximaler Femurnagel Antiroation, DHS = dynamische Hüftschraube

6.3 Aufklärungsbogen für teilnehmende Patienten

UNIVERSITÄTSMEDIZIN : UMG
GÖTTINGEN

Universitätsmedizin Göttingen • 37099 Göttingen
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie & Plastische Chirurgie

**Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie
und Plastische Chirurgie**
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Lehmann
SAV-Klinik • Schwerstverletzungsartenverfahren der DGUV
Überregionales Traumazentrum im TraumaNetzwerk DGU®

**Prof. Dr. Klaus Dresing
Leitender Oberarzt**

Robert-Koch-Straße 40, 37075 Göttingen
Briefpost: 37099 Göttingen
Tel. direkt: 0551 3966986
D-Arzt-Büro: 0551-39-66114
Oberarzt-Sekretariat: 0551-39-66108
Telefax: 0551-39-8981
Notaufnahme: 0551-39-66105
Leitstelle Notaufnahme: 0551-39-8601
Sekretariat Notaufnahme: 0551-39-8717
Spezialsprechstunden: 0551-39-8787

E-Mail: klaus.dresing@med.uni-goettingen.de
Homepage: www.unfallchirurgie-goettingen.de

Datum: _____

- Einverständniserklärung -

Patient: _____
Geburtsdatum: _____

Ich,, wurde vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Maßnahme aufgeklärt. Ich habe den Inhalt verstanden. Ich hatte die Möglichkeit Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Ich wurde über die mit der Teilnahme an der Therapiemaßnahme verbundenen Gegebenheiten und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser *Untersuchung und Therapie* **freiwillig** ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss nachteilig auf die spätere Behandlung durch meinen Arzt auswirken wird.

Universitätsmedizin Göttingen, Georg-August-Universität Stiftung Öffentlichen Rechts Vorstand Prof. Dr. Heyo K. Kroemer (Forschung & Lehre, Sprecher des Vorstands)
Dr. Martin Siess (Krankenversorgung) Dr. Sebastian Freytag (Wirtschaftsführung & Administration) Sparkasse Göttingen (260 500 01) Kto: 448

Abbildung 42: Aufklärungsbogen für Patienten, Seite 1

UNIVERSITÄTSMEDIZIN : UMG
 GÖTTINGEN

Pat.: Schreiben vom 06.04.2016

Mir ist bekannt, dass **meine persönlichen Daten in verschlüsselter Form gespeichert** werden. Eine **Weitergabe dieser Daten an Dritte wird nicht erfolgen**. Die **Grundsätze der ärztlichen Schweigepflicht** bleiben gewahrt.

Ihre Daten werden am Ende der Akquise vollständig anonymisiert, so dass man später nicht zurückverfolgen kann, von wem die Daten sind. Bis zur Komplettierung der Datensätze werden die Datensätze pseudonymisiert. Dies bedeutet, dass die Daten mit einer Verschlüsselung ohne Namensnennung nur mit Nummern versehen werden. Die Zuordnung der Daten ist nur möglich, wenn hierfür der Schlüssel eingesetzt wird, mit dem die Daten pseudoanonymisiert wurden. Die Personen bezogenen Daten werden unter besonderen Schutzvorkehrungen getrennt von den pseudoanonymisierten Daten aufbewahrt. Eine Entschlüsselung ist nur durch den verantwortlichen Studienarzt möglich. Dritte erhalten keinen Einblick in die Originalunterlagen.

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir gemachten Fotos für eine Veröffentlichung in Medien verwendet werden dürfen. Die Rechte übertrage ich auf Prof. Dresing.

Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser Qualitätssicherungs-Studie.

Göttingen, den

.....

 Unterschrift des Patienten Unterschrift des Arztes

2/2

Universitätsmedizin Göttingen, Georg-August-Universität Stiftung Öffentlichen Rechts Vorstand Prof. Dr. Heyo K. Kroemer (Forschung & Lehre, Sprecher des Vorstands)
 Dr. Martin Siess (Krankenversorgung) Dr. Sebastian Freytag (Wirtschaftsführung & Administration) Sparkasse Göttingen (260 500 01) Kto: 448

Abbildung 43: Aufklärungsbogen für Patienten, Seite 2

6.4 Messblätter der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

6.4.1 Messblatt untere Extremität

Name: _____ Aktenzeichen: _____

Untersuchungstag: _____

Standbein: rechts links

Messblatt für untere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode)

	Rechts	Links
Hüftgelenke:		
Streckung / Beugung (Abb.1 a und 1 b)		
Abspreizen / Anführen (Abb. 2)		
Drehung auswärts / einwärts (Hüftgelenk, 90° gebeugt) (Abb. 3)		
Drehung auswärts / einwärts (Hüftgelenk gestreckt) (Abb. 4)		
Kniegelenke:		
Streckung / Beugung (Abb. 5)		
Obere Sprunggelenke:		
Heben / Senken des Fußes (Abb. 6)		
Untere Sprunggelenke:		
Gesamte Beweglichkeit (Fußaußenrand heben Abb. 7 a / senken Abb. 7 b) (in Bruchteilen der normalen Beweglichkeit)		
Zehengelenke:		
(in Bruchteilen der normalen Beweglichkeit)		
Umfangmaße in cm:		
20 cm ob. innerer Knie-Gelenkspalt		
10 cm ob. innerer Knie-Gelenkspalt		
Kniescheibenmitte		
15 cm unterhalb innerer Gelenkspalt		
Unterschenkel, kleinster Umfang		
Knöchel		
Rist über Kahnbein		
Vorfußballen		
Beinlänge in cm:		
Vorderer oberer Darmbeinstachel - Außenknöchelspitze		
Stumpflänge in cm:		
Sitzbein - Stumpfende		
Innerer Knie-Gelenkspalt - Stumpfende		

F 4224 0816 Messblatt untere Gliedmaßen

Abbildung 44: Messblatt untere Gliedmaßen, F4224, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4224/f4224.pdf (DGUV 2016)

6.4.2 Messblatt obere Extremität

Name: _____ Aktenzeichen: _____

Untersuchungstag: _____

Rechtshänder Linkshänder

Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode)

	Rechts	Links
Schultergelenke:		
Arm seitwärts / körperwärts (Abb. 1)		
Arm rückwärts / vorwärts (Abb. 2)		
Arm auswärts / einwärts drehen (Oberarm anliegend) (Abb. 3)		
Arm kopfwärts / fußwärts (Oberarm 90° seitwärts abgehoben) (Abb. 4)		
Ellenbogengelenke:		
Streckung / Beugung (Abb. 5)		
Unterarmdrehung:		
auswärts / einwärts (Abb. 6)		
Handgelenke:		
handrückenwärts / hohlhandwärts (Abb. 7)		
speichenwärts / ellenwärts (Abb. 8)		
Fingergelenke:		
Abstände in cm:		
Fingerkuppe von der queren Hohlhandbeugefalte (Abb. 9)		
Fingerkuppe von der verlängerten Handrückenebene (Abb. 10)		
Daumengelenke:		
Streckung / Beugung:		
Grundgelenk		
Endgelenk		
Abspreizung (Winkel zwischen 1. und 2. Mittelhandknochen)		
In der Handebene (Abb. 11)	0	0
Rechtwinklig zur Handebene (Abb. 12)	0	0
Ankreuzen, welche Langfingerkuppen mit der Daumenspitze erreicht werden können	II III IV V II III IV V	
Handspanne:		
Größter Abstand in cm zwischen Daumen- und Kleinfingerkuppe		
Umfangmaße in cm:		
(Hängender Arm)		
15 cm oberhalb äußerem Oberarmknorren		
Ellenbogengelenk		
10 cm unterhalb äußerem Oberarmknorren		
Handgelenk		
Mittelhand (ohne Daumen)		
Armlänge in cm:		
Schulterhöhe / Speichenende		
Stumpflängen in cm:		
Schulterhöhe / Stumpfende		
Äußerer Oberarmknorren / Stumpfende		

seitw./körperw.
Abb. 1

rückw./vorw.
Abb. 2

Drehg. ausw./einw.
Abb. 3

Drehg. kopf-/fußwärts.
Abb. 4

Streck./Beugg.
Abb. 5

Drehg. ausw./einw.
Abb. 6

handrückenw./hohlhandw.
Abb. 7

speichenw./ellenw.
Abb. 8

Abb. 9

Abb. 10

Abb. 11

Abb. 12

F 4222 0117 Messblatt obere Gliedmaßen

Abbildung 45: Messblatt obere Gliedmaßen, F4222, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4222/f4222.pdf (DGUV 2017)

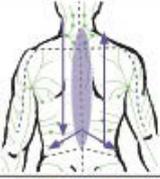
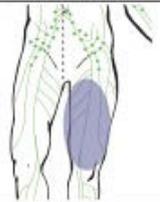
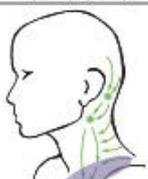
6.5 Behandlungsprotokolle PhysioTouch®

6.5.1 Behandlungsprotokoll für Ödeme an den unteren Extremitäten



PHYSIOTOUCH®

Preoperative and postoperative treatment guideline
lower limb, 15 -20 Minutes

1.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 50-80mmHg  2.0s/50%  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> </div>									
2.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 100-180mmHg  2.0s/50%  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↺</div> </div>									
3.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 50-100mmHg  2.0s/50%  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> </div>									
4.		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Preoperative</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Postoperative</th> <th style="padding: 5px;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 80-200mmHg  2.0s/50%  </td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 50-150mmHg  2.0s/50%  </td> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> Do not treat over open wounds or scars Treat around the operation site Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations Treat around the operation site so that stiches don't move </td> </tr> <tr> <td style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div> </td> <td style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div> </td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Preoperative	Postoperative		80-200mmHg  2.0s/50% 	50-150mmHg  2.0s/50% 	<ul style="list-style-type: none"> Do not treat over open wounds or scars Treat around the operation site Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations Treat around the operation site so that stiches don't move 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div>	
Preoperative	Postoperative										
80-200mmHg  2.0s/50% 	50-150mmHg  2.0s/50% 	<ul style="list-style-type: none"> Do not treat over open wounds or scars Treat around the operation site Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations Treat around the operation site so that stiches don't move 									
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">↔</div>										
5.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 50-100mmHg  2.0s/50%  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> </div>									
6.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #003366; color: white;"> 50-80mmHg  2.0s/50%  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">60,80</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #003366; color: white; font-size: 8px;">-</div> </div>									

www.physiotouch.com v1.0 30-1135_EN

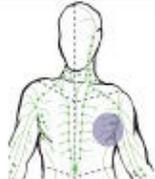
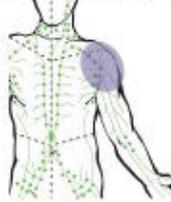
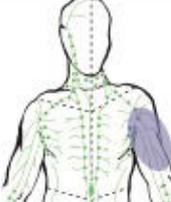
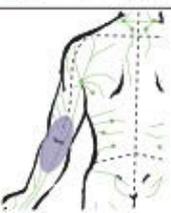
Abbildung 46: Leitfaden zur PhysioTouch®-Therapie, untere Extremität, Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma LymphaTouch® Inc.

6.5.2 Behandlungsprotokoll für Ödeme an den oberen Extremitäten



PHYSIOTOUCH[®]

Preoperative and postoperative treatment guideline
upper limb, 20 Minutes

1.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>50-80mmHg 2.0s/50%</p>  </div> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> • Treat the supraclavicular fossa region • Treat both left and right side. 3 pulsations at one spot and a total of 5 spots /side. 						
2.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>50-80mmHg 2.0s/50%</p>  </div> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> • Treat the armpit 						
3.		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Preoperative</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Postoperative</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>80-180mmHg 2.0s/50%</p>  </td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>50-150mmHg 2.0s/50%</p>  </td> </tr> <tr> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">    </td> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">    </td> </tr> </tbody> </table>	Preoperative	Postoperative	<p>80-180mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 	  	  	<ul style="list-style-type: none"> • Treat around the shoulder area and deltoid muscle • Do not treat over open wounds or scars • Treat around the operation site • Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations • Treat around the operation site so that stitches don't move
Preoperative	Postoperative								
<p>80-180mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 								
  	  								
4.		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Preoperative</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Postoperative</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>80-180mmHg 2.0s/50%</p>  </td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>50-150mmHg 2.0s/50%</p>  </td> </tr> <tr> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">    </td> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">    </td> </tr> </tbody> </table>	Preoperative	Postoperative	<p>80-180mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 	  	  	<ul style="list-style-type: none"> • Treat the entire upper arm • Do not treat over open wounds or scars • Treat around the operation site • Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations • Treat around the operation site so that stitches don't move
Preoperative	Postoperative								
<p>80-180mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 								
  	  								
5.		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Preoperative</th> <th style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Postoperative</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>80-200mmHg 2.0s/50%</p>  </td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>50-150mmHg 2.0s/50%</p>  </td> </tr> <tr> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">   </td> <td style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px; margin-top: 5px;">   </td> </tr> </tbody> </table>	Preoperative	Postoperative	<p>80-200mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 	 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Treat the elbow area. Change the position of the elbow to reach different joint interspaces • Do not treat over open wounds or scars • Treat around the operation site • Regulate the amount of negative pressure to the tissue features and patient sensations • Treat around the operation site so that stitches don't move
Preoperative	Postoperative								
<p>80-200mmHg 2.0s/50%</p> 	<p>50-150mmHg 2.0s/50%</p> 								
 	 								

www.physiotouch.com

Abbildung 47: Leitfaden zur PhysioTouch[®]-Therapie, obere Extremität, Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma LymphaTouch[®] Inc.

6.6 Test auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Quotienten

Tabelle 45: Test auf Normalverteilung, Shapiro-Wilk-Quotient

Messpunkte untere Extrem.	Shapiro-Wilk			Messpunkte obere Extrem.	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz		Statistik	df	Signifikanz
OS20Diff	0,967	18	0,744	GrAbst1u5Diff	0,824	6	0,096
OS20Diff1	0,930	18	0,195	GrAbst1u5Diff1	0,847	6	0,149
OS20Diff2	0,942	18	0,318	GrAbst1u5Diff2	0,771	6	0,032*
OS20Diff3	0,946	18	0,362	GrAbst1u5Diff3	0,905	6	0,404
OS20Diff4	0,932	18	0,213	GrAbst1u5Diff4	0,823	6	0,094
OS10Diff	0,949	18	0,404	U15OArmDiff	0,810	6	0,072
OS10Diff1	0,907	18	0,077	U15OArmDiff1	0,925	6	0,542
OS10Diff2	0,925	18	0,157	U15OArmDiff2	0,837	6	0,124
OS10Diff3	0,909	18	0,084	U15OArmDiff3	0,769	6	0,031*
OS10Diff4	0,908	18	0,079	U15OArmDiff4	0,803	6	0,063
KnieDiff	0,923	18	0,147	ElleDiff	0,957	6	0,798
KnieDiff1	0,927	18	0,170	ElleDiff1	0,924	6	0,532
KnieDiff2	0,912	18	0,093	ElleDiff2	0,934	6	0,611
KnieDiff3	0,979	18	0,937	ElleDiff3	0,992	6	0,994
KnieDiff4	0,957	18	0,552	ElleDiff4	0,883	6	0,284
US15Diff	0,925	18	0,162	U10OArmDiff	0,871	6	0,231
US15Diff1	0,918	18	0,120	U10OArmDiff1	0,852	6	0,164
US15Diff2	0,850	18	0,009*	U10OArmDiff2	0,786	6	0,044*
US15Diff3	0,867	18	0,016*	U10OArmDiff3	0,749	6	0,020*
US15Diff4	0,934	18	0,231	U10OArmDiff4	0,904	6	0,395
USklUDiff	0,798	18	0,001*	UHandGDiff	0,983	6	0,964
USklUDiff1	0,845	18	0,007*	UHandGDiff1	0,850	6	0,158
USklUDiff2	0,880	18	0,026*	UHandGDiff2	0,640	6	0,001*
USklUDiff3	0,901	18	0,060	UHandGDiff3	0,916	6	0,480
USklUDiff4	0,898	18	0,054	UHandGDiff4	0,788	6	0,045*
KnöchelDiff	0,762	18	0,000*	UMHandDiff	0,908	6	0,425
KnöchelDiff1	0,781	18	0,001*	UMHandDiff1	0,913	6	0,456
KnöchelDiff2	0,753	18	0,000*	UMHandDiff2	0,960	6	0,820
KnöchelDiff3	0,803	18	0,002*	UMHandDiff3	0,824	6	0,096
KnöchelDiff4	0,805	18	0,002*	UMHandDiff4	0,809	6	0,070
RistDiff	0,799	18	0,001*				
RistDiff1	0,857	18	0,011*				
RistDiff2	0,737	18	0,000*				
RistDiff3	0,784	18	0,001*				
RistDiff4	0,786	18	0,001*				
VorfußDiff	0,826	18	0,004*				
VorfußDiff1	0,824	18	0,003*				
VorfußDiff2	0,761	18	0,000*				
VorfußDiff3	0,792	18	0,001*				
VorfußDiff4	0,786	18	0,001*				

6.7 Wilcoxon-Rangtests bei verbundenen Stichproben

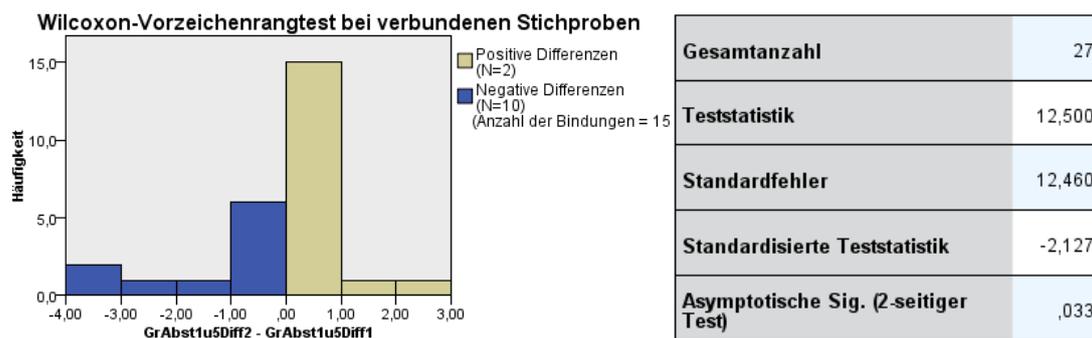


Abbildung 48: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben, Vergleich von GrAbst1u5Diff2 und GrAbst1u5Diff1

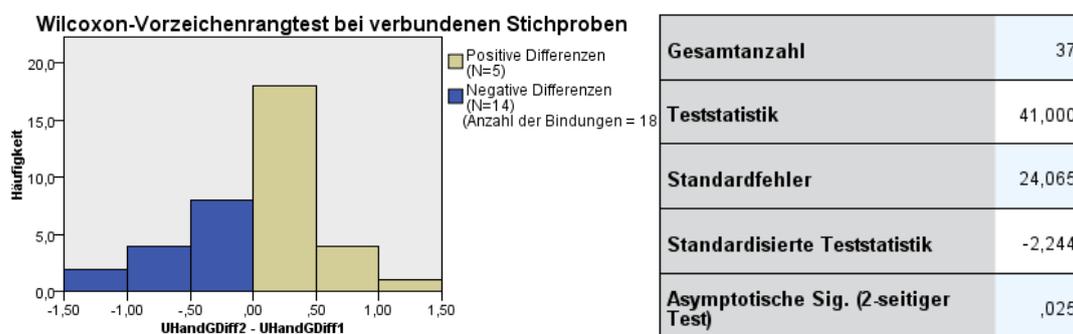


Abbildung 49: Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben, Vergleich von UHandGDiff2 und UHandGDiff1

6.8 Schwellungsverlauf – Liniendiagramme mit Fehlerbalken

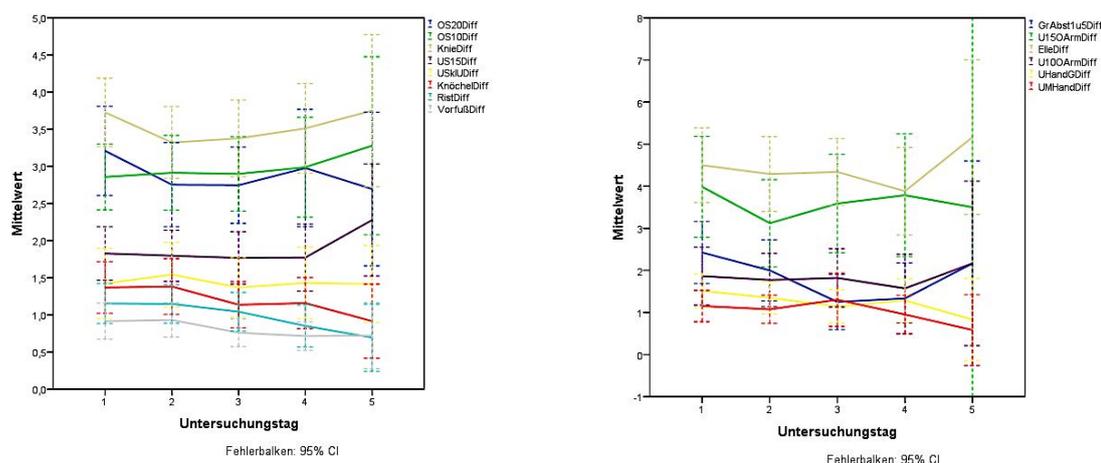


Abbildung 50: Liniendiagramme mit Fehlerbalken, Verlauf der Schwellung an den unteren (links) und oberen (rechts) Extremitäten (M in cm), größte Fehlerbalken bei Tag 5

7 Literaturverzeichnis

- Airaksinen O, Vuorinen V-P, Raittila S: Influence of LymphaTouch®-treatment method for pain and edema in context of active physiotherapy. In: LymphaTouch® Inc. (Hrsg.): Internal Research Report. Helsinki, 2011, 1–2
- Andreß PDH-J 2001a: Konfidenzintervall, <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/node146.html>; Zugriff am 09.10.2018
- Andreß PDH-J 2001b: Teststärke (Macht), <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/node154.html>; Zugriff am 09.10.2018
- Andreß PDH-J 2001c: T-Test, <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/node155.html>; Zugriff am 09.10.2018
- Aschenbrenner I, Biberthaler PDP: Schenkelhalsfraktur (= Oberschenkelhalsbruch). DGU Patienteninformation. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Berlin 2012
- AWMF 2017: Diagnostik und Therapie der Lymphödeme. S2k Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V., Reg.-Nr. 058-001
- Aydin U, Gorur A, Findik O, Yildirim A, Kocogullari CU (2015): Therapeutic efficacy of vacuum-assisted-closure therapy in the treatment of lymphatic complications following peripheral vascular interventions and surgeries. *Vascular* 23, 41–46
- Bertelli DF, de Oliveira P, Gimenes AS, Moreno MA (2013): Postural Drainage and Manual Lymphatic Drainage for Lower Limb Edema in Women with Morbid Obesity After Bariatric Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Am J Phys Med Rehabil* 92, 697–703
- Bierman W (1955): Therapeutic Use of Cold. *J Am Med Assoc* 157, 1189-1192
- Bleakley C, McDonough S, MacAuley D (2004): The Use of Ice in the Treatment of Acute Soft-Tissue Injury: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med* 32, 251–261
- Boris M, Weindorf S, Lasinski B, Boris G (1994): Lymphedema reduction by noninvasive complex lymphedema therapy. *Oncology (Williston Park)* 8, 95–106; discussion 109-110
- Breslin JW (2014): Mechanical Forces and Lymphatic Transport. *Microvasc Res* 96, 46–54
- Brock TM, Sprowson AP, Muller S, Reed MR (2015): Short-stretch inelastic compression bandage in knee swelling following total knee arthroplasty study (STICKS): study protocol for a randomised controlled feasibility study. *Trials* 16, 1-7

- Brunner U: Das Lymphödem der Beine: Diagnose, Therapie und Einsatz der intermittierenden Kompression. In: Brunner U, Schrey A (Hrsg.): Die intermittierende Kompression. 1. Auflage; Klaus Schwarz Verlag, Essen 1983, 22-31
- Büsch H-G: Orthopädische Hilfsmittel und Verbände. In: Fleischhauer M, Heinmann D, Hinkelmann U (Hrsg.): Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie. 2. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2006, 279-281
- Caschman J, Blagg S, Bishay M (2004): The Efficacy of the A-V Impulse System in the Treatment of Posttraumatic Swelling Following Ankle Fracture: A Prospective Randomized Controlled Study. *J Orthop Trauma* 18, 596–601
- Chikly B (1997): Who discovered the lymphatic system. *Lymphology* 30, 186–193
- Chikly BJ (2005): Manual Techniques Addressing the Lymphatic System: Origins and Development. *J Am Osteopath Assoc* 105, 457–464
- Cina-Tschumi B (2007): Evidenz-basierte Pflege am Beispiel von Kälteanwendungen nach ausgewählten orthopädischen Eingriffen – eine Literaturstudie. *Pflege* 20, 258–267
- Clinical Research on LymphaTouch® - Peer Reviewed Conference and Journal Publications. published by LymphaTouch® Inc. 2018: https://www.performancehealth.com/amfile/file/download/file_id/9640/product_id/135120/; Zugriff am 12.09.2018
- Cornish BH, Bunce IH, Ward LC, Jones LC, Thomas BJ (1996): Bioelectrical impedance for monitoring the efficacy of lymphoedema treatment programmes. *Breast Cancer Res Treat* 38, 169–176
- Dery MA, Yonuschot G, Winterson BJ (2000): The effects of manually applied intermittent pulsation pressure to rat ventral thorax on lymph transport. *Lymphology* 33, 58–61
- DGUV 2016: http://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4224/f4224.pdf; Zugriff am 06.08.2018
- DGUV 2017: http://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4222/f4222.pdf; Zugriff am 24.09.2018
- Ebert JR, Joss B, Jardine B, Wood DJ (2013): Randomized Trial Investigating the Efficacy of Manual Lymphatic Drainage to Improve Early Outcome After Total Knee Arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil* 94, 2103–2111
- Eisenhart AW, Gaeta TJ, Yens DP (2003): Osteopathic manipulative treatment in the emergency department for patients with acute ankle injuries. *J Am Osteopath Assoc* 103, 417–421
- EU-Medizinprodukte-Verordnung 2017: Verordnung (EU) 2017/745 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 05.04.2017 über Medizinprodukte. Amtsblatt der Europäischen Union L117, 60. Jahrgang, Berlin 05.05.2017, 1-176
- Földi M (2015): Das Lymphödem: Grundlagen, Diagnostik und Therapie. *Vasomed* 5, 255–262

- Fotiadis E, Kenanidis E, Samoladas E, Chytas A, Lyrtzis C, Koimtzis M, Chalidis B (2011): Are venotonic drugs effective for decreasing acute posttraumatic oedema following ankle sprain? A prospective randomized clinical trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 131, 389–392
- Fu-qiang G, Zi-jian L, Ke Z, Huang D, Zhong-jun L (2011): Risk factors for lower limb swelling after primary total knee arthroplasty. *Chin Med J (Engl)* 124, 3896–3899
- Girbig M, Freiberg A, Deckert S, Druschke D, Kopkow C, Nienhaus A, Seidler A (2017): Work-related exposures and disorders among physical therapists: experiences and beliefs of professional representatives assessed using a qualitative approach. *J Occup Med Toxicol Lond Engl* 12, 1–9
- Gott FH, Kathleen Ly, Neil Piller, Andrea Mangion (2018): Negative pressure therapy in the management of lymphoedema. 13, 43–48
- Greene AK, Grant FD, Slavin SA, Maclellan RA (2015): Obesity-Induced Lymphedema: Clinical and Lymphoscintigraphic Features. *Plast Reconstr Surg* 135, 1715–1719
- Haeger U: Physiotherapeutische Behandlungsgrundlagen. In: Fleischhauer M, Heinmann D, Hinkelmann U (Hrsg.): *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*. 2. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2006, 10–11
- Härén K, Backman C, Wiberg M (2000): Effect of Manual Lymph Drainage as described by Vodder on Oedema of the Hand after Fracture of the distal Radius: A prospective clinical study. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 34, 367–372
- Hargens AR, Zweifach BW (1977): Contractile stimuli in collecting lymph vessels. *Am J Physiol-Heart Circ Physiol* 233, H57–H65
- Herpertz U: *Ödeme und Lymphdrainage: Diagnose und Therapie von Ödemkrankheiten; mit 36 Tabellen*. 4. Auflage; Schattauer Verlag, Stuttgart 2010
- Hirsch T, Wahl U (2017): Das praktische Vorgehen beim postoperativen und posttraumatischen Lymphödem. *Zentralblatt Für Chir - Z Für Allg Visz Thorax- Gefäßchirurgie* 142, 287–296
- Hodge LM, King HH, Williams AG, Reder SJ, Belavadi T, Simecka JW, Stoll ST, Downey HF (2007): Abdominal Lymphatic Pump Treatment Increases Leukocyte Count and Flux in Thoracic Duct Lymph. *Lymphat Res Biol* 5, 127–134
- Holm B, Kristensen MT, Bencke J, Husted H, Kehlet H, Bandholm T (2010): Loss of Knee-Extension Strength Is Related to Knee Swelling After Total Knee Arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil* 91, 1770–1776
- Holm B, Kristensen MT, Husted H, Kehlet H, Bandholm T (2011): Thigh and Knee Circumference, Knee-Extension Strength, and Functional Performance After Fast-Track Total Hip Arthroplasty. *PM&R* 3, 117–124
- Huck K: Teil B Angiologie - 7 Arteriovenöse Erkrankungen und Erkrankungen der Lymphgefäße. In: Arastéh K (Hrsg.): *Innere Medizin: 643 Tabellen*. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl; Thieme, Stuttgart 2009, 313-317

- Iivarinen JT, Korhonen RK, Julkunen P, Jurvelin JS (2013): Experimental and computational analysis of soft tissue mechanical response under negative pressure in forearm. *Skin Res Technol* 19, e356–e365
- Iivarinen JT, Korhonen RK, Jurvelin JS (2016): Modeling of interstitial fluid movement in soft tissue under negative pressure – relevance to treatment of tissue swelling. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 19, 1089–1098
- Kasseroller R: Kompendium der Manuellen Lymphdrainage nach Dr. Vodder. 2. Auflage; Karl. F. Haug Verlag, Heidelberg 1999
- Keel M, Wagner GA: Die systemische Traumareaktion. In: Bruch H-P, Trentz O (Hrsg.): *Berchold Chirurgie*. 6. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2008, 63–75
- Kerkhoffs G, Struijs P, de Wit C, Rahlfs V, Zwipp H, van Dijk CN (2004): A double blind, randomised, parallel group study on the efficacy and safety of treating acute lateral ankle sprain with oral hydrolytic enzymes. *Br J Sports Med* 38, 431–435
- Kessler T, Bruin E de, Brunner F, Vienne P, Kissling R (2003): Effect of manual lymph drainage after hindfoot operations. *Physiother Res Int* 8, 101–110
- Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie 2018: <http://cuop-umg.de/>; Zugriff am 03.05.2019
- Klipstein A, Michel BA: Physio-/Ergotherapeutische Nachsorge und Rehabilitation. In: Bruch H-P, Trentz O (Hrsg.): *Berchold Chirurgie*. 6. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2008, 228–250
- Kluga KL, Weber Buchholz S, Semanik PA (2019): Improving Orthopedic-Related Postoperative Edema Management in a Rehabilitative Nursing Setting; *Rehabil Nurs* 44, 151-160
- Knott EM, Tune JD, Stoll ST, Downey HF (2005): Increased Lymphatic Flow in the Thoracic Duct During Manipulative Intervention. *J Am Osteopath Assoc* 105, 447–456
- Knygsand-Roehoej K, Maribo T (2011): A Randomized Clinical Controlled Study Comparing the Effect of Modified Manual Edema Mobilization Treatment with Traditional Edema Technique in Patients with a Fracture of the Distal Radius. *J Hand Ther* 24, 184–194
- Kretschmer L, Pratsch AL (2012): Leg swelling after inguinal sentinel lymph node biopsy and primary melanoma excision with a safety margin. *JDDG J Dtsch Dermatol Ges* 10, 733–738
- Kretschmer L, Thoms K-M, Peeters S, Haenssle H, Bertsch H-P, Emmert S (2008): Postoperative morbidity of lymph node excision for cutaneous melanoma-sentinel lymphonodectomy versus complete regional lymph node dissection: *Melanoma Res* 18, 16–21
- Leak LV (1968): Ultrastructural Studies on the lymphatic anchoring Filaments. *J Cell Biol* 36, 129–149
- Leak LV, Burke JF (1966): Fine structure of the lymphatic capillary and the adjoining connective tissue area. *Am J Anat* 118, 785–809

- LymphaTouch® Inc.: <https://www.lymphatouch.com/treatment-areas/orthopedics/>; Zugriff am 03.07.2018
- Majewski-Schrage T, Snyder K (2016): The Effectiveness of Manual Lymphatic Drainage in Patients with Orthopedic Injuries. *J Sport Rehabil* 25, 91–97
- Malicka I, Rosseger A, Hanuszkiewicz J, Woźniewski M (2014): Kinesiology Taping reduces lymphedema of the upper extremity in women after breast cancer treatment: a pilot study. *Przegląd Menopauzalny Menopause Rev* 13, 221–226
- Mehrotra C, Remington PL, Naimi TS, Washington W, Miller R (2005): Trends in total knee replacement surgeries and implications for public health, 1990-2000. *Public Health Rep* 120, 278–282
- Meier W, Mizner R, Marcus R, Dibble L, Peters C, Lastayo PC (2008): Total Knee Arthroplasty: Muscle Impairments, Functional Limitations, and Recommended Rehabilitation Approaches. *J Orthop Sports Phys Ther* 38, 246–256
- Moffatt CJ, Franks PJ, Doherty DC, Williams AF, Badger C, Jeffs E, Bosanquet N, Mortimer PS (2003): Lymphoedema: an underestimated health problem. *QJM Mon J Assoc Physicians* 96, 731–738
- Moorahrend U, Glöckler-Lang G: Physiotherapie. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg.): *Unfallchirurgie*. 2. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2004, 453–461
- Mosti GB, Mattaliano V (2007): Simultaneous Changes of Leg Circumference and Interface Pressure Under Different Compression Bandages. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 33, 476–482
- Munk S, Jensen NJF, Andersen I, Kehlet H, Hansen TB (2013): Effect of compression therapy on knee swelling and pain after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21, 388–392
- Murdaca G, Cagnati P, Gulli R, Spanò F, Puppo F, Campisi C, Boccardo F (2012): Current Views on Diagnostic Approach and Treatment of Lymphedema. *Am J Med* 125, 134–140
- Myerson MS, Henderson MR (1993): Clinical applications of a pneumatic intermittent impulse compression device after trauma and major surgery to the foot and ankle. *Foot Ankle* 14, 198–203
- Neuhüttler S, Brenner E (2006): Beitrag zur Epidemiologie des Lymphödems. *Phlebologie* 35, 181–187
- Nipper ME, Dixon JB (2011): Engineering the Lymphatic System. *Cardiovasc Eng Technol* 2, 296–308
- Osborne JC, Newell A: Can early intervention with PhysioTouch®'s mechanical leverage in the functioning of initial lymphatic vessels help promote long term physiological homeostasis as well as fluid volume reduction in a locally impacted lymphatic territory. 25th World Congress of Lymphology, San Francisco, 07.11.2015

- Partsch H (2012): Compression Therapy: Clinical and Experimental Evidence. *Ann Vasc Dis* 5, 416–422
- Pichonnaz C, Bassin J-P, Lécureux E, Currat D, Jolles BM (2015): Bioimpedance spectroscopy for swelling evaluation following total knee arthroplasty: a validation study. *BMC Musculoskeletal Disord* 16, 1–8
- Pichonnaz C, Bassin J-P, Lécureux E, Christe G, Currat D, Aminian K, Jolles BM (2016): Effect of Manual Lymphatic Drainage After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 97, 674–682
- Pratsch A, Kretschmer L (2012): Beinschwellungen nach inguinale und ilioinguinale Dissektion von Melanometastasen. *Zentralblatt Für Chir - Z Für Allg Visz Thorax- Gefäßchirurgie* 139, e83–e89
- Preston NJ, Seers K, Mortimer PS (2008): Physical therapies for reducing and controlling lymphoedema of the limbs. *Cochrane Libr* 3, 1–38
- proxomed® Medizintechnik GmbH 2015: https://www.proxomed.com/de/pdf/broschueren/2015_03_physiotouch_flyer.pdf; Zugriff am 30.07.2018
- Rohner-Spengler M, Frotzler A, Honigmann P, Babst R (2014): Effective Treatment of Posttraumatic and Postoperative Edema in Patients with Ankle and Hindfoot Fractures. *J Bone Jt Surg Am* 96, 1263–1271
- Schaser K-D, Disch AC, Stover JF, Lauffer A, Bail HJ, Mittlmeier T (2007): Prolonged Superficial Local Cryotherapy Attenuates Microcirculatory Impairment, Regional Inflammation, and Muscle Necrosis after Closed Soft Tissue Injury in Rats. *Am J Sports Med* 35, 93–102
- Soderberg GL, Ballantyne BT, Kestel LL (1996): Reliability of lower extremity girth measurements after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiother Res Int* 1, 7–16
- Stöckle U, Hoffmann R, Schütz M, von Fournier C, Südkamp NP, Haas N (1997): Fastest Reduction of Posttraumatic Edema: Continuous Cryotherapy or Intermittent Impulse Compression? *Foot Ankle Int* 18, 432–438
- Stolldorf DP, Dietrich MS, Ridner SH (2016): A comparison of the quality of life in patients with primary and secondary lower-limb lymphedema: A mixed-methods study. *West J Nurs Res* 38, 1313–1334
- Szczesny G, Olszewski WL (2002): The Pathomechanism of Posttraumatic Edema of Lower Limbs: I. The Effect of Extravasated Blood, Bone Marrow Cells, and Bacterial Colonization on Tissues, Lymphatics, and Lymph Nodes: *J Trauma Acute Care Surg* 52, 315–322
- Szczesny G, Olszewski WL (2003): The Pathomechanism of Posttraumatic Edema of the Lower Limbs: II-Changes in the Lymphatic System: *J Trauma Inj Infect Crit Care* 55, 350–354
- Szczesny G, Olszewski WL, Deszczyński J (2000): [Posttraumatic lymphatic and venous drainage changes in persistent edema of lower extremities]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* 65, 315–325

- Thordarson DBM, Ghalambor NM, Perlman MM (1997): Intermittent Pneumatic Pedal Compression and Edema Resolution After Acute Ankle Fracture: A Prospective, Randomized Study. *Foot Ankle Int* 18, 347–350
- Vairo GL, Miller SJ, McBrier NM, Buckley WE (2009): Systematic Review of Efficacy for Manual Lymphatic Drainage Techniques in Sports Medicine and Rehabilitation: An Evidence-Based Practice Approach. *J Man Manip Ther* 17, e80–e89
- Vorbrodt T, Behnke T: Massage- und Reflexzonentherapie. In: Fleischhauer M, Heinmann D, Hinkelmann U (Hrsg.): *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*. 2. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2006a, 178-184
- Vorbrodt T, Behnke T: Physikalische Therapie. In: Fleischhauer M, Heinmann D, Hinkelmann U (Hrsg.): *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*. 2. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer Verlag, München 2006b, 236-239
- Vuorinen V-P, Iivarinen J, Jurvelin J, Airaksinen O (2013): Lymphatic therapy using negative pressure. TEKES Finnish Funding Agency for Technology and Innovation Report 5320003/221
- Waśko M, Langner M, Pomianowski S (2016): Posttraumatic Oedema in Lower Limbs. Advances in Understanding Etiopathogenesis and Treatment. Review Article. *Ortop Traumatol Rehabil* 18, 519–526
- Weiss JM (1998): Treatment of Leg Edema and Wounds in a Patient With Severe Musculoskeletal Injuries. *Phys Ther* 78, 1104–1113
- Whatley JM, Lalonde JA, Greene CC, Riche KB, Tatum DM (2017): Effect of Lymphedema Treatment for Management of Acute Pilon Fractures. *Orthopedics* 40, e668–e674
- Zampell JC, Aschen S, Weitman ES, Yan A, Elhadad S, De Brot Andrade M, Mehrara BJ (2012): Regulation of Adipogenesis by Lymphatic Fluid Stasis Part I: Adipogenesis, Fibrosis, and Inflammation. *Plast Reconstr Surg* 129, 825–834

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Prof. Klaus Dresing, für die Bereitstellung des spannenden Themas und seine tatkräftige Unterstützung sowie motivierende Beratung bedanken, ebenso bei meinem Zweitbetreuer, Prof. Lutz Kretschmer, für die wertvollen Hinweise bei der Bearbeitung des Themas. Mein Dank gilt zudem Dr. Dominik Saul für die Unterstützung beim Einschluss der Patienten.

Danken möchte ich auch den engagierten Stationsärzten, dem lieben Pflergeteam und den Physiotherapeuten der unfallchirurgischen Stationen der UMG für ihre Hilfsbereitschaft bei der Rekrutierung von Patienten.

Weiterhin möchte ich der Medizinischen Statistik ein großes Dankeschön aussprechen. Bei der Datenauswertung standen mir zahlreiche Mitarbeiter, insbesondere die studentischen Hilfskräfte Heiko und Alejandra sowie die Doktoranden Christoph und Markus, geduldig zur Seite und gaben mir kompetente Hilfestellung bei den statistischen Berechnungen und Auswertungen.