

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Universität zu Köln  
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

**„Postoperative Schwellung nach Knieendoprothetik–  
Einfluss einer Unterdrückanwendung (LymphaTouch®)  
im Vergleich zur manuellen Lymphdrainage – Eine  
randomisierte kontrollierte Studie“**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Christine Alexandra Lummer  
aus Köln

promoviert am 02. September 2024

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2024

Dekan:                            Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink  
1. Gutachter:                Privatdozent Dr. med. J. Oppermann  
2. Gutachter:                Privatdozent Dr. rer. nat. J. Zange

#### Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die in dieser Arbeit angegebenen Experimente sind nach entsprechender Anleitung durch Frau Mira Väyrynen (Firma LymphaTouch®) von mir selbst ausgeführt worden.

#### Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 02.09.2024

Unterschrift: .....

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Privatdozent PD Dr. med. Johannes Oppermann, für die hilfsbereite und freundliche Unterstützung.

Auch danke ich Dr. Maximilian Weber für jederzeit abrufbare Hilfe bei aufkommenden Fragen.

Ferner danke ich der Firma LymphaTouch® für die Bereitstellung des Gerätes.

Außerdem danke ich meiner Familie, die mich bei der Erstellung meiner Promotionsarbeit unterstützt haben.

Meiner Mutter gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>7</b>
<b>1. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>8</b>
<b>2. EINLEITUNG</b> .....	<b>10</b>
2.1    DAS KNIEGELENK.....	10
2.2    GONARTHROSE .....	10
2.3    INDIKATION ZUR KNIEGELENKSENDOPROTHESENIMPLANTATION.....	12
2.4    ENDOPROTHETIK DES KNIES.....	12
2.4.1.    Unikondyläre Schlittenprothese.....	13
2.4.2.    Bikondyläre Knieendoprothese .....	13
2.5    ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DES LYMPHGEFÄßSYSTEMS .....	14
2.5.1.    Lymphsystem der unteren Extremitäten.....	16
2.6    DAS LYMPHÖDEM .....	16
2.6.1.    Definition und Klassifikation .....	16
2.6.2.    Primäres und sekundäres Lymphödem.....	17
2.6.2.1. Primäres Lymphödem .....	17
2.6.2.2. Sekundäres Lymphödem .....	17
2.6.3.    Das postoperative Ödem.....	17
2.7    THERAPIE (BEHANDLUNGSSYSTEMATIK) DES LYMPHÖDEMS .....	18
2.7.1.    Manuelle Lymphdrainage .....	18
2.7.2.    Apparative Lymphdrainage .....	20
2.7.2.1. Unterdrucktherapie .....	20
2.7.2.2. Funktion und Wirkung von LymphaTouch®.....	21
2.7.2.3. Wirksamkeit der Unterdrucktherapie – Studienüberblick .....	26
2.8    ÜBERBLICK ENTSTAUENDER MAßNAHMEN.....	27
2.8.1.    Lokale Kälteanwendung .....	27
2.8.2.    Kompressionstherapie.....	28
2.8.3.    Hochlagerung .....	29
2.8.4.    Entstauungstherapien und Gymnastik .....	29
2.8.5.    Passive Bewegungsschiene.....	30
2.9    BEDEUTUNG DER PHYSIOTHERAPIE.....	31
<b>3. MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>32</b>
3.1    PATIENTEN-/PATIENTINNENKOLLEKTIV UND RANDOMISIERUNG DER PATIENTEN/PATIENTINNEN.....	32
3.2    EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN.....	32
3.3    DOKUMENTATION UND MESSUNGEN .....	33
3.3.1.    Messung der Bewegungsfreiheit.....	33
3.4    METHODEN .....	34
3.5    DURCHFÜHRUNG DER MANUELLEN LYMPHDRAINAGE .....	34
3.6    ANWENDUNG UND DURCHFÜHRUNG VON LYMPHATOUCH® .....	37
3.7    WEITERE THERAPEUTISCHE MAßNAHME .....	38

3.8	STATISTISCHE AUSWERTUNG UND RANDOMISIERUNG DER PATIENTEN/PATIENTINNEN.....	40
3.9	ETHIKANTRAG.....	42
3.10	ZIEL DER ARBEIT.....	42
<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>42</b>
4.1	PATIENTEN-/PATIENTINNENDATEN.....	42
4.2	BEUGUNG DES KNIEGELENKS.....	44
4.3	STRECKUNG DES KNIEGELENKS.....	49
4.4	UMFANGMESSUNGEN DER OPERIERTEN EXTREMITÄT.....	52
4.4.1.	Zirkumferenz am Vorfußballen.....	52
4.4.2.	Zirkumferenz am Fuß auf Höhe des Kahnbeins.....	53
4.4.3.	Zirkumferenz am Bein auf Höhe des oberen Sprunggelenks.....	54
4.4.4.	Zirkumferenz am Unterschenkel 15 cm distal des Kniegelenks.....	55
4.4.5.	Zirkumferenz am Bein auf Höhe des Kniegelenks.....	55
4.4.6.	Zirkumferenz am Oberschenkel 10 cm proximal des Kniegelenks.....	56
4.4.7.	Zirkumferenz am Oberschenkel 20 cm proximal des Kniegelenks.....	57
4.5	POSTOPERATIVE SCHMERZEN.....	58
4.6	PATIENTEN/PATIENTINNEN MIT LÄNGERER VERWEILDUER IM KRANKENHAUS.....	65
4.7	LIEGEZEIT.....	70
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>71</b>
5.1	FORSCHUNGSFRAGE.....	71
5.2	LIMITATION.....	72
5.3	EINORDNUNG IN DEN FORSCHUNGSSTAND.....	74
5.3.1.	Patienten-/Patientinnendaten.....	74
5.3.2.	BMI.....	75
5.3.3.	Schmerzen.....	76
5.3.4.	Schwellung.....	78
5.3.5.	Beugung und Streckung.....	81
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>84</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>92</b>
7.1	LYMPHATOUGH® BEHANDLUNGSPROTOKOLL FÜR ÖDEME AN DEN UNTEREN EXTREMITÄTEN.....	92
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	95
7.3	TABELLENVERZEICHNIS.....	97

## Abkürzungsverzeichnis

°C .....	Grad Celsius
ASA .....	American Society of Anesthesiologists
AWMF ..	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BMI .....	Body-Mass-Index
CPM .....	Kontinuierliche Passive Bewegungstherapie
GEDA .....	Gesundheit in Deutschland aktuell
KPE .....	Komplexe physikalisch Entstauungstherapie
MLD .....	Manuelle Lymphdrainage
US .....	United States
VTE .....	venöse Thromboembolie
WHO .....	World Health Organization

## 1. Zusammenfassung

Sekundäre Lymphödeme in der unteren Extremität nach der Implantation einer Knieendoprothese stellen in der postoperativen Rehabilitation eine Herausforderung beim Erreichen eines möglichst schnellen Outcomes dar. Zur Reduzierung der Schwellung hat sich in der unmittelbar postoperativen Frühphase die manuelle Lymphdrainage, die Hochlagerung, das Kühlen und die Kompression bewährt. Ein neues apparatives Verfahren mittels Unterdrucktherapie, genannt LymphaTouch®, steht ebenfalls zur Behandlung von Lymphödemem zur Verfügung. Ziel der vorliegenden Studie ist über die Wirksamkeit von LymphaTouch® in der Behandlung des postoperativen Lymphödems nach Knieendoprothesenimplantation Aussagen treffen zu können.

Dazu wurden in einer randomisierten nicht-verblindeten Studie 50 Patienten/Patientinnen in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Kontrollgruppe erhielt täglich eine Behandlung mittels manueller Lymphdrainage, während in der Interventionsgruppe eine Therapie mittels apparativen Unterdrucks durchgeführt wurde.

Das Ziel war festzustellen, ob die Anwendung von LymphaTouch® vergleichbare Ergebnisse zur manuellen Lymphdrainage in Bezug auf die Reduktion des Umfangs, der Mobilität des Kniegelenks sowie zu einer Verringerung der Krankenhausaufenthaltsdauer und der postoperativen Schmerzen liefert.

In der LymphaTouch®-Gruppe konnte ein signifikant besseres Ergebnis in der Schmerzreduktion bereits ab dem zweiten Tag nach der Operation beobachtet werden ( $p = 0,008$ ). Auch in der Wiederherstellung der Funktion des Kniegelenks zeigte sich die LymphaTouch® -Gruppe überlegen. Während nach der Behandlung mit LymphaTouch® das präoperative Streckdefizit von  $3,8^\circ$  ( $SD \pm 2,99$ ) am 4. Tag postoperativ auf  $2,2^\circ$  ( $SD \pm 3,25$ ) sank, änderte sich der Wert durch die manuelle Lymphdrainage nur gering (präoperative Streckung  $MW = 3,88^\circ$   $SD \pm 4,58$ , 4. postoperativer Tag  $MW = 4,4^\circ$ ,  $SD \pm 3,63$ ).

Eine Zunahme der Schwellung war postoperativ zu verzeichnen und reduzierte sich in beiden Gruppen bis zum Entlassungstag vergleichbar. Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Die analgesierende Wirkung von LymphaTouch®, zu der es noch keine gesicherten Studien gibt, kann auf mehrere Mechanismen basieren. Durch die Reduzierung des Ödems erfolgt in den Gelenken eine Druckentlastung, was zu einer Linderung der Beschwerden führt [1]. Die Normalisierung des Säure-Basen-Haushaltes im Interstitium könnte sich genauso wie die Stimulierung der Mechanorezeptoren, die die Schmerzleitung hemmen, positiv auf die Linderung von Schmerzen auswirken [2]. Auch ein Einfluss auf das muskulär-faszialen System

sollte weiter untersucht werden. Weitere Studien zur genauen Wirkung durch die LymphaTouch® Anwendung sind notwendig.

Die abschwellende Wirkung der manuellen Lymphdrainage nach Knie-TEP-Implantation wurde in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Vielfalt der Resultate ergibt sich aus der Tatsache, dass keine klaren Maßstäbe für die erforderliche Intensität bei der Durchführung der Behandlung existieren. Die subjektive Griffintensität und Druckstärke der einzelnen Physiotherapeuten kann variieren und führt zu wenig objektiven Druckverhältnissen auf das Gewebe. Ein zu kräftiger Druck zerstört Ankerfilamente und verursacht Muskelkrämpfe in den Lymphgefäßwänden, insbesondere in den aktiv pumpenden Kollektoren. Ein zu geringer Druck führt dagegen nicht zur Entstauung der Extremität.

Durch geeignete Einstellungen kann das Druckverhältnis von LymphaTouch® unabhängig vom Therapeuten immer den jeweiligen Arealen angepasst und konstant gehalten werden. Die postoperative Behandlung kann so von einem standardisierten Behandlungsverlauf profitieren und die Qualität der entstauenden Maßnahmen in der postoperativen Rehabilitation verbessern. Aufgrund seiner kompakten Bauweise kann sich der Einsatzbereich von LymphaTouch® auch auf die anschließende Rehabilitation oder im häuslichen Umfeld erstrecken.

Zukünftige Studien haben die Aufgabe, die Behandlungsabläufe mit LymphaTouch® je nach Indikation zu standardisieren. Dadurch wird die Anwendung von LymphaTouch® optimiert, um das volle Potenzial auszuschöpfen und gleichzeitig die Grenzen nicht zu überschreiten, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen.

## 2. Einleitung

### 2.1 Das Kniegelenk

Das Kniegelenk stellt das größte und am stärksten beanspruchte Gelenk des menschlichen Körpers dar. Es ist eine komplexe Struktur, die aus dem Oberschenkelknochen (Femur), dem Schienbein (Tibia) und der Kniescheibe (Patella) besteht und eine polyzentrische Bewegungsebene ermöglicht. Diese Ebene kann in sechs Freiheitsgrade unterteilt werden: anterior/posterior, medial/lateral und superior/inferior, Flexion/Extension, Innenrotation/Außenrotation und Abduktion/Adduktion. Die Grenzen dieser Bewegung werden im Wesentlichen durch die zwei Kreuz- und Kollateralbänder, sowie durch die Gelenkflächen des Femurs und der Tibia gebildet. Im Alter kann die Beweglichkeit des Kniegelenkes häufig durch die Entstehung einer Arthrose, der sogenannten Gonarthrose, eingeschränkt werden [3-5].

### 2.2 Gonarthrose

Gelenkarthrosen sind multifaktoriell bedingte progrediente, degenerative Erkrankungen, bei denen ein gestörtes Gleichgewicht des Knorpelstoffwechsels besteht. In Folge tritt eine Zerstörung des Gelenkknorpels sowie Knochenschädigungen auf, die zu schmerzhaften Funktionseinschränkungen im Knie führen [6].

Die Osteoarthrosen sind weltweit die häufigsten Erkrankungen bei Erwachsenen. Die Prävalenzrate in der erwachsenen Bevölkerung liegt zwischen 0,8% und 1,2% [7]. Mit steigendem Alter ist das Risiko eine Arthrose zu entwickeln höher. Sie liegt bei den >70-jährigen bei 40%. Dabei zeigte sich in der Ulmer Osteoarthrosestudie, dass Frauen eine höhere Prävalenz haben [5, 8].

Während bei einer primären Arthrose eine biologische Minderwertigkeit des Knorpelgewebes oder auch eine nicht erkennbare Ursache vorliegen kann, sind bei einer sekundären Arthrose mehrere Risikofaktoren ursächlich. Bei diesen handelt es sich um eine erhöhte Druckbelastung, wiederholende Mikro- und Makrotraumen, altersbedingte Veränderungen, metabolische Faktoren oder entzündliche Prozesse [9, 10].

Leitbefunde der Arthrose sind im frühen Stadium: Anlaufschmerz, Belastungsschmerz mit einem abendlichen Schmerzmaximum sowie Ermüdungsschmerz. Erst in späteren Stadien kommt es dann auch in Ruhe zu einem Dauer- und Nachtschmerz. Schwellung und Steifheit sind weitere klinische Zeichen einer Arthrose, wodurch die betroffenen Gelenke eine deutliche Ermüdbarkeit zeigen und ihre Flexibilität verlieren [11, 12]. Durch die Ausbildung von Gelenknötchen entstehen verdickte und schmerzhafte Gelenke [9, 10].

Die Schweregradeinteilung der Arthrose basiert auf verschiedene Kriterien, darunter die Schwere der Knorpelschäden. Folgende Merkmale können zur Beurteilung der Schwere der Knorpelschäden herangezogen werden:

1. Osteophyten: Es handelt sich um knöcherne Auswüchse, die bei einer Arthrose häufig an den Knochenränder im Bereich des Gelenks auftreten. Je größer und zahlreicher die Osteophyten sind, desto schwerwiegender ist der Knorpelschaden.

2. Verschmälerung des Gelenkspaltes: Bei einer Arthrose kommt es oft zu einer Verengung des Gelenkspaltes, da der Knorpel abgenutzt ist. Je stärker die Verschmälerung ausgeprägt ist, desto fortgeschrittener ist die Arthrose.

3. Sklerose: Die Sklerose bezeichnet eine Verdichtung des Knochens. Sie tritt bei einer Arthrose auf, wenn der Knochen aufgrund des Knorpelabbaus verstärkt belastet wird. Eine ausgeprägte Sklerose deutet auf einen fortgeschrittenen Knorpelschaden hin.

4. Deformierung: Bei einer Arthrose kann es zu einer Verformung des Gelenkes kommen. Eine ausgeprägte Deformierung zeigt an, dass der Knorpelschaden bereits fortgeschritten ist.

Je nach Ausprägung dieser Kriterien wird die Arthrose in verschiedene Schweregrade eingeteilt, die dann auch für die Wahl der Therapie von Bedeutung sein können.

Die Klassifikation der Gonarthrose kann radiologisch nach Kellgren und Lawrence erfolgen [6]. Zur Verlaufsbeurteilung und zur Erstellung von Therapien sind die Einteilungen und Klassifikationen von großer Bedeutung [9].

Im Stadium I liegen bis auf eine subchondrale Sklerosierung eine noch intakte Knorpeloberfläche vor.

Im Stadium II sind erste Osteophyten sichtbar. An den Gelenkflächen zeigen sich beginnende Unregelmäßigkeiten mit einer geringen Gelenkspaltverschmälerung.

Stadium III dominiert durch deutliche Knorpelschäden mit erkennbaren Substanzverlusten in allen Schichten, die bis an den Knochen heranreichen. Begleitet werden diese Veränderungen durch Gelenkspaltverschmälerung und ausgeprägter Osteophytenbildung.

Stadium IV zeigt sich durch eine vollständige Knorpelzerstörung, ausgeprägten Gelenkspaltverschmälerung bis zur vollständigen Destruktion mit Nekrose in den Gelenkflächen [6, 13].

Die Prävalenz der Gonarthrose tritt in 87,4% der Fälle beidseitig auf. Es lässt sich eine geschlechterspezifische Prävalenz erkennen. Eine radiologisch definierte Gonarthrose findet man bei Frauen ab dem 55. Lebensjahr häufiger als bei den Männern. Mit zunehmender Bewegungseinschränkung durch die Gonarthrose erhöht sich das Sturzrisiko bei älteren

Patienten/ Patientinnen. Konservative Therapiemaßnahmen führen im fortgeschrittenen Stadium zu keiner Besserung der Beschwerden. Der damit verbundene Leidensdruck und die Immobilisation stellen eine Indikation zur Knie-TEP Implantation dar [8, 14, 15].

### **2.3 Indikation zur Kniegelenksendoprothesenimplantation**

Die Indikation zur Implantation einer Knieendoprothese wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Die AWMF-Hauptkriterien umfassen Knieschmerzen, das Vorhandensein von Strukturschäden (wie Arthrose oder Osteonekrose), mangelnde Wirksamkeit konservativer Therapiemaßnahmen, Einschränkungen der Lebensqualität und den subjektiver Leidensdruck des/der Patienten/Patientin. Diese Kriterien sind unverzichtbar für die Indikationsstellung zur Operation [12].

Eine Operation sollte nur in Erwägung gezogen werden, wenn klinische Beschwerden aufgetreten sind und die oben genannten radiologische Kriterien vorliegen. Der individuelle Leidensdruck und die Wünsche der Patienten/Patientinnen müssen berücksichtigt werden. Daher ist die Indikation zur Endoprothesenimplantation nicht zu empfehlen, wenn radiologisch Arthrosezeichen vorliegen, der/die Patient/Patientin jedoch keine Arthrosesymptomatik aufweist [16].

Absolute Kontraindikationen, wie eine Kniegelenkinfektion, eine Osteomyelitis, systemische Infektionen oder Hautinfektionen, müssen zuvor ausgeschlossen werden. Als relative Kontraindikationen für einen geplanten operativen Eingriff gelten junges Patienten-/Patientinnenalter, ein BMI >40kg/m<sup>2</sup>, ein hohes Aktivitätsniveau und ein ASA-Score >3 [10].

### **2.4 Endoprothetik des Knies**

Die Endoprothetik des Kniegelenkes erlangt in Deutschland aufgrund der alternden Bevölkerung und den damit verbundenen altersbedingten Grunderkrankungen zunehmend an Bedeutung. In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich eine deutliche Zunahme der Knie-TEP Primärimplantationen ergeben. Die Entwicklung ist auf die steigende Lebenserwartung und die damit verbundene höhere Anzahl älterer Menschen zurückzuführen [17].

Während im Jahr 1990 nur etwa 70.000 Eingriffe erfolgten, steigerte sich die Zahl in den letzten Jahren zunehmend. Laut Statistischem Bundesamt haben 2018 insgesamt 190.427 Patienten/Patientinnen, davon 61,45% Frauen, die Implantation einer Endoprothese am Kniegelenk erhalten. Bei 84-96% der Patienten/Patientinnen konnte eine Arthrose als Ursache nachgewiesen werden [18].

In der Endoprothetik stehen für die Knieprothesen eine Vielzahl an Implantationsmodellen zur Verfügung. Die Wahl des Verfahrens ist abhängig vom Ausmaß der Gelenkdestruktion, des Knorpelstatus der angrenzenden Kompartimente, der Stabilität des Bandapparates, und dem Ausmaß der Fehlstellungen [19]. Bezogen auf die ersetzten knöchernen Gelenkstrukturen werden unikondyläre, patellofemorale und bikondyläre (mit oder ohne Patellarrückflächenersatz), gekoppelte oder teilgekoppelte Knieendoprothesen unterschieden [15].

#### **2.4.1. Unikondyläre Schlittenprothese**

Unikondyläre Schlittenprothesen, zementiert oder zementfrei implantiert, werden bei der unikompartimentellen medialen oder lateralen Kniegelenksarthrose eingesetzt, wenn die aktiven und passiven Kniegelenksstabilisatoren weitgehend intakt sind. Das kontralaterale Gelenkkompartiment sollte ohne größere Knorpelschäden sein und die physiologischen Achsenverhältnisse erhalten sein. Weitere Indikationen sind die Osteonekrosen und große osteochondrale Defekte [20-22].

Ein Vorteil der unikondylären Schlittenprothese ist der Erhalt aller nichtbeschädigten Strukturen des Kniegelenkes und damit die natürliche Kniegelenksfunktion mit erhaltenem Bewegungsumfang. Minimale Implantationstechniken ermöglichen ein geringes Gewebetrauma mit niedrigem intraoperativem Blutverlust. Ein Nachteil kann die technisch anspruchsvolle Operationstechnik sein, die schon bei geringen Fehlern zu einem Misserfolg führt [22].

#### **2.4.2. Bikondyläre Knieendoprothese**

Eine ungekoppelte bikondyläre Oberflächenprothese ersetzt bei weitgehendem Erhalt des Kapselbandapparates nur die Gelenkflächen. Weitere Indikationen bestehen in der Korrektur schwerer Achselfehlstellungen und Kontrakturen. Die Empfehlungen der AWMF basieren auf den Befunden der radiologischen Diagnostik, der Funktion des Gelenkes sowie den Beschwerden des Patienten/der Patientin [12, 21]. Die bikondyläre Prothese ermöglicht eine normale Kniegelenksfunktion bei begrenzter Rotationsmöglichkeit. Die ligamentäre Stabilität durch intakte Kollateralbänder gewährleistet den Kraftschluss der Prothese. Das vordere Kreuzband wird bei den meisten Implantaten entfernt [22].

Klinische Erfahrungen zeigen, dass der Erfolg der Operation durch ein postoperatives effektives Rehabilitationsprogramm gefördert wird. Der postoperative Verlauf ist von Schmerzen, Knieschwellungen und Mobilisationseinschränkungen geprägt. Kühlung,

Schmerzmittelgabe, Mobilisation mittels elektrischer passiver Bewegungsschiene und die manuelle Lymphdrainage, sind die wichtigsten Maßnahmen zur Reduktion der Lymphödeme und der postoperativen Schmerzen. Die manuelle Lymphdrainage fördert die Regeneration des Lymphabflusses, begünstigt eine geringere Narbenbildung und die Normalisierung einer überschießenden Entzündungsreaktion [23, 24].

## **2.5 Anatomie und Physiologie des Lymphgefäßsystems**

Das Lymphgefäßsystem ist ein parallel zum Venensystem verlaufendes Drainagesystem und hat die Aufgaben der Lymphbildung und des Lymphtransportes. Die immunologische Aufgabe des Lymphsystems, die von den Lymphknoten ausgeübt wird, liegt in der Abwehr von schädlichen Stoffen z.B. in Form von Tumorzellen und Mikroorganismen, wie Viren, Pilze und Bakterien, die z.T. über Verletzungen in das Gewebe eindringen können [25].

Im menschlichen Körper gibt es zwei unterschiedlich große Lymphgefäßsysteme, von denen das größere System 90% der Lymphproduktion aus den beiden unteren und dem linken oberen Körperquadranten ableitet. Das kleinere System entsorgt den rechten oberen Quadranten und transportiert 10% der Lymphflüssigkeit. Dies führt zu zwei Einmündungsstellen in das Venensystem. Der Hauptteil des Lymphabflusses erfolgt über den Ductus thoracicus, während ein kleiner Teil über den Ductus lymphaticus abfließt [25, 26].

Die Lymphbildung findet in den Lymphkapillaren statt. Der Transport der lymphatischen Last erfolgt durch Präkollektoren, Kollektoren und Lymphstämme, wobei die Unterscheidung der Strukturen aufgrund ihrer Größe und Position im Körper definiert wird [27].

Die initialen Lymphgefäße bilden im interstitiellen Bindegewebe ein feinmaschiges, klappenloses Kapillarnetz. Der Durchmesser der Lymphkapillare ist größer als der eines roten Blutkörperchens und kann somit makromolekulare Substanzen, die Produkte des Zellstoffwechsels sind und lymphpflichtige Lasten aus dem Interstitium aufnehmen. Die Lymphkapillaren sind durch einschichtige Endothelzellen aufgebaut, die sich an den Rändern durch Ein- und Ausbuchtungen überlappen. Diese Überlappungszonen (sogenannte schwingende Zipfel) ermöglichen den Einstrom von Gewebsflüssigkeit in den Lymphsinus. Sie dienen damit der Lymphbildung. Um die Lymphkapillaren liegt ein Fasernetz aus Ankerfilamenten, die im umgebenen Gewebe an kollagene Fasern befestigt sind. Diese Ankerfilamente haben die Aufgabe, das Kollabieren der zarten Kapillaren zu verhindern, da der umliegende Gewebsdruck deutlich höher als der Innendruck des Lymphsinus ist [28, 29].

Bei einer Ödembildung im Gewebe kommt es zu einer Zunahme der interstitiellen Flüssigkeit und damit zu einem Druckanstieg im Interstitium. Scherkräfte im Bindegewebe führen durch

Zug an den Ankerfasern zu einer Öffnung der Lymphpforten („Open Junction“). Durch Sogkräfte tritt die interstitielle Flüssigkeit in die Lymphgefäße, der intravasale Druck steigt und die Fugen verschließen sich wieder. Dieser Vorgang, bei dem die interstitielle Flüssigkeit im Lymphsinus gesammelt wird, bezeichnet man als Lymphbildung [25, 30, 31].

Die Präkollektoren stellen die Verbindung zwischen dem initialen Lymphsinus und den Kollektoren da. Sie verlaufen senkrecht und bilden eine Verbindung von dem subkutanen Kapillarnetz und den parallel zur Haut verlaufenden Kollektoren.

Der Wandaufbau der Präkollektoren besteht aus einem einschichtigen Endothel mit vereinzelt elastischen Fasern und glatten Muskelzellen, das in unregelmäßigen Abständen Klappen aufweist. Offene Poren erlauben es noch Lymphflüssigkeit in geringen Mengen aus dem interstitiellen Raum aufzunehmen.

Die Hauptaufgabe der Präkollektoren ist der Transport der Lymphflüssigkeit von den initialen Lymphgefäßen zu den eigentlichen Kollektoren. Durch das inkomplette Klappensystem entsteht ein Pendelstrom, der überwiegend proximal gerichtet ist. Die Lage der Präkollektoren an den benachbarten Arterien ermöglicht ihnen, die Pulsationsenergie für den Transport der Lymphe zu nutzen. Der passive Transport der lymphatischen Last wird durch die Muskelkontraktionen, den Saugkräften aus dem Bereich der Kollektoren und der thorakalen Sogwirkung der Atmung unterstützt [25, 29-31].

Die nächstgrößeren Gefäße, die Lymphkollektoren, haben wie die venösen Gefäße, paarig angeordnete Klappen an den Innenwänden. Der Gefäßwandaufbau der Kollektoren ist dreischichtig bestehend aus einem Endothel (Tunica intima), einer Muskelschicht (Tunica media) und einer Adventitia (Tunica externa). Die glatten Muskelzellen haben eine längs gerichtete und zirkuläre Ausrichtung [30].

Durch eine peristaltikartige Kontraktion führen die Lymphangione zum Abtransport der Lymphe in die regionären Lymphknoten. Die Lymphangione, die Lymphgefäßsegmente zwischen zwei Klappenpaaren, sorgen so mit einer peristaltikartigen Kontraktion zum Abtransport der Lymphe in den Ductus. Die transportierte Flüssigkeitsmenge, das sogenannte Lymphzeitvolumen, steigt unter extremen Belastungen an [25, 32]. Die maximale Transportkapazität ist allerdings nicht unbegrenzt, wird sie überschritten, kommt es zur Ödembildung [25]. Bis zu 50-70 % der initialen Lymphflüssigkeit wird bei der Lymphknotenpassage über venöse Blutkapillaren resorbiert. Der Rest mündet über die beiden Hauptductus herznah in den venösen Blutkreislauf [32].

### **2.5.1. Lymphsystem der unteren Extremitäten**

Das Lymphsystem an den unteren Extremitäten besteht aus den oberflächlichen (*Vasa lymphatica superficialis*) und den tiefen Lymphgefäßen (*Vasa lymphatica profunda*). Die oberflächlichen Lymphbahnen, subkutan oder epifaszial gelegen, machen 80-90% des Lymphtransportes aus und bestehen aus zwei Hauptgefäßbündeln: dem ventromedialen und dem dorsolateralen Anteil.

Das ventromediale Lymphgefäßbündel ist das wichtigste Kollektorsystem und verläuft vom Fußrücken bis zum Innenknöchel und von dort an der vorderen Innenseite des Unterschenkels entlang bis zu der medialen Seite des Knies. Der Weg setzt sich entlang des ventromedialen Oberschenkels bis zur Leistenbeuge fort, wobei die Bündel parallel zur Vena saphena magna verlaufen.

Das dorsolaterale Lymphgefäßbündel zieht von der hinteren Hälfte des Fußes zum Außenknöchel und verläuft parallel zur Vena saphena magna bis zur Kniekehle. Es mündet hier zusammen mit den tieferliegenden subfazialen Lymphgefäßen aus dem Unterschenkel und dem Kniegelenkregion in die oberflächlichen Lymphknoten des Knies.

Die tiefen Lymphgefäße, auch als *Vasa lymphatica profunda* bezeichnet, liegen subfaszial oder intrafaszial und laufen am Unterschenkel in den Gefäßlogen der Arteria tibialis anterior und posterior sowie der Arteria fibularis. Sie haben eine geringere Transportkapazität als das oberflächliche Lymphsystem und entsorgen die Lymphe der Unterschenkelmuskulatur, der Vorderseite des Unterschenkels sowie des Fußrückens.

Die tiefen Lymphbahnen des Oberschenkels laufen parallel der tiefen Blutgefäße (Arteria und Vena femoralis) bis zu den tiefgelegenen Lymphknoten der Leistengegend, wobei einige Lymphbahnen dem Nervus ischiadicus folgen und direkt zu den Lymphknoten des Beckenbereiches ziehen. Die Gelenke und im Wesentlichen auch die Muskulatur des Beines werden über die tiefen Lymphgefäße drainiert. Anastomosen zwischen den oberflächlichen und den tiefen Lymphgefäßen durchbrechen die Muskelfaszie und stellen eine Verbindung zwischen den beiden Systemen her [28, 29, 32].

## **2.6 Das Lymphödem**

### **2.6.1. Definition und Klassifikation**

Beim Lymphödem handelt es sich um eine Weichteilschwellung, bei der durch eine ungenügende Transportkapazität von zu wenig oder nicht funktionierenden Lymphgefäßen die normale lymphpflichtige Last nicht aufgenommen und abtransportiert werden kann (mechanische Insuffizienz). Aufgrund der reduzierten Transportkapazität kommt es zu einer

Flüssigkeits- und Eiweißbelastung im Interstitium. Der hohe Proteinanteil im interstitiellen Raum kann zu einem Anstieg des kolloidosmotischen Drucks führen, wodurch wiederum vermehrte Flüssigkeitsansammlungen in den interstitiellen Raum gezogen wird.

Als Folge kommt es im Gewebe zu Umbauprozessen, die zu Verklebungen und zu einer sekundären Proteinfibrose führen können. Wegen den starken Verformungen der betroffenen Extremitäten kommt es langfristig zu Schäden an der Haut und zu orthopädischen Erkrankungen [30, 33, 34]. Die Lymphödeme lassen sich anhand der Ätiologie in primäre und in sekundäre Ödeme einteilen.

## **2.6.2. Primäres und sekundäres Lymphödem**

### **2.6.2.1. Primäres Lymphödem**

Das primäre Lymphödem ist eine angeborene Entwicklungsstörung, bei der das Lymphgefäßsystem nicht oder unzureichend anatomisch angelegt ist. Sie tritt laut Herpertz bei ca. 34% aller Lymphödemem auf. Es gibt verschiedene Ursachen des primären Lymphödems. Lymphangiodyplasien können als Hypoplasie, Hyperplasie oder als Aplasie der Lymphgefäße vorliegen. Diese anatomischen Anomalien mit Lymphklappeninsuffizienz führen zu einer verminderten Transportkapazität und können bei einer proximalen Hypoplasie mit einer Lymphknotenfibrose vergesellschaftet sein [28, 30, 35].

### **2.6.2.2. Sekundäres Lymphödem**

Sekundäre Lymphödeme entstehen als Folge einer Schädigung der wichtigsten Lymphgefäßbündel und ihrer Abflussgebiete. Im Vergleich zu den primären Lymphödemem treten sie etwa doppelt so häufig auf. Die häufigsten Ursachen sind onkologische Erkrankungen, die mit chirurgischen Eingriffen oder Strahlentherapien behandelt werden. Sie können aber auch als Folge von Infektionen, Traumata und postoperativen Entzündungen auftreten [30].

## **2.6.3. Das postoperative Ödem**

Das postoperative Ödem, das im Anschluss an Trauma und Operationen (Hüft-TEP, Knie-TEP) auftritt, ist eine Erhöhung der lymphatischen Last und eine vorübergehende Einschränkung der Transportkapazität der Lymphe. Ursachen sind Blut- und Lymphgefäßverletzungen, Gewebszerstörungen, Bewegungseinschränkung und Hyperämie. Diese Stauung der Flüssigkeit im Gewebe führt durch einen Angiospasmus zu Schmerzen und Bewegungseinschränkungen. Man spricht hier von einem akuten posttraumatischen Ödem

[25, 30]. Ein bereits präoperativ bestehendes Lymphödem erhöht das Revisions- und Infektionsrisiko nach Implantation einer Endoprothese im Knie- oder Hüftgelenk postoperativ signifikant [36, 37].

Die erste Phase der Wundheilung ist die Entzündungsreaktion, die unmittelbar nach der Zellschädigung oder -zerstörung des Gefäßbindegewebes auftritt und etwa bis zum siebten Tag posttraumatisch anhält. Ziel ist es durch eine frühzeitige postoperative Entstauungstherapie, günstige Bedingungen im Bereich des traumatisierten Gewebes zu schaffen, um die Reizzustände zu beseitigen und die Regenerationsvorgänge zu beschleunigen. Es folgt die Reparationsphase mit der Bildung von Granulationsgefäßen und Blutgefäßen, die ab dem 18. Tag in die Remodellierungsphase übergeht, die durch einen Kollagenumbau mit einer guten Geweberegeneration abschließt [2, 38, 39].

Fehlende Entstauungstherapie unmittelbar postoperativ kann zu einer verzögerten Regenerationsphase des Gewebes führen. Die Bildung von lympho-lymphatischen Anastomosen wird behindert, da sich eine gleichmäßige Ausrichtung der Bindegewebsfasern nicht ausbilden kann. Diese Vorgänge sind zu einem späteren Zeitpunkt kaum noch reversibel [38].

Obwohl die postoperative Entstauungstherapie eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung von Ödemen ist, kann sie jedoch langfristig nicht immer eine zufriedenstellende Wirkung erzielen. Bei einer operativen Entfernung der Lymphknoten aus der Achselhöhle bei Brustkrebs tritt eine dauerhafte Reduzierung der Transportkapazität der Lymphgefäße auf. Infolgedessen kann das Lymphsystem die Eiweißlast nicht mehr bewältigen, was bei ca. 20 % der Patientinnen zur Entwicklung eines sekundären Armlymphödems führen kann [1, 40, 41].

## **2.7 Therapie (Behandlungssystematik) des Lymphödems**

### **2.7.1. Manuelle Lymphdrainage**

Die manuelle Lymphdrainage geht auf das dänische Ehepaar Vodder aus den 1930er Jahren zurück. Mit seiner bekannten Lymphknotenmassage wollte Herr Dr. Vodder anfänglich die Immunitätslage seiner Patienten/Patientinnen verbessern. Der Essener Allgemeinmediziner Dr. Johannes Asdonk modifizierte 1963 von Vodder die ersten Grifftechniken der manuellen Lymphdrainage und etablierte sie in Deutschland. 1967 gründete Dr. Asdonk mit anderen Wissenschaftlern die Gesellschaft der manuellen Lymphdrainage nach Dr. Vodder [25, 42, 43].

Die manuelle Lymphdrainage findet bei einer Vielzahl von Indikationen, die mit einer Schwellung einhergehen, ihre Anwendung [42].

## **Indikationen der manuellen Lymphdrainage**

Die manuelle Lymphdrainage wird bei folgenden Krankheitsbildern eingesetzt:

- Lymphödem (primäre und sekundäre Form)
- Lipödem und benigne symmetrische Lipomatose
- Phlebo-lymphostatisches Ödem
- Posttraumatische und postoperative Ödeme
- Entzündliche Ödeme ohne Begleitung pathogener Keime
- Ödeme bei Lähmungen

## **Kontraindikationen der manuellen Lymphdrainage**

### **Absolute Kontraindikationen:**

- Akute Entzündung
- Akute Thrombose und Phlebitis
- Herzinsuffizienz
- Präeklampsie
- Lymphödeme durch maligne Erkrankungen

### **Relative Kontraindikationen**

- Diabetischer Fuß
- Hypotonie, vegetative Dystonie
- Schilddrüsenfunktionsstörung
- Schwangerschaft in ersten Monaten
- Asthma Bronchiale
- Chronischen Entzündungen [42, 43]

Ziel der manuellen Lymphdrainage ist die mechanische Ödembeförderung und die Steigerung des Lymphabflusses durch Anregung der Lymphgefäßmotorik. Dabei werden die Bewegungsabläufe in eine Schub- und eine Entspannungsphase unterschieden.

In der Schubphase können die Druck- und Schöpfgriffe nur langsam, rhythmisch und kreisförmig entlang der Lymphgefäße ausgeführt werden. Die speziellen Griffe, die die Lymphangiomotorik steigern und die Lymphbildung verbessern, werden nur mit geringer Intensität ausgeführt. Dadurch wird eine Überlastung der initialen Lymphgefäße vermieden, die aufgrund ihres Durchmessers von weniger als einem Millimeter einen hohen Strömungswiderstand aufweisen. In der Entspannungsphase können sich die Gefäße aus der Peripherie dann wieder füllen. Dieser rhythmische Wechsel zwischen Kompression und erneuter Ausdehnung der Gefäße begünstigt die Aufnahme der Flüssigkeiten in die initialen

Lymphgefäße. Durch die erhöhte Flüssigkeitsansammlung in den Lymphgefäßen und durch die manuelle Lymphdrainage werden die Wände der Lymphangione gedehnt und regen dadurch einen beschleunigten Lymphabtransport an. Neben der Steigerung der Lymphangiomotorik und der Dehnung der Lymphangione führt auch die Lockerung des fibrosklerotischen Bindegewebes zu einer Reduktion der Lymphödeme [31, 44]. Um eine optimale Wirkung zu erzielen, sollte die MLD in den zentralen Bereichen des Körpers beginnen. Das Entleeren der proximalen Lymphkolektoren dient als Vorbereitungsmaßnahme, um den Abfluss von Flüssigkeiten aus den distalen Bereichen zu ermöglichen. Bei der folgenden Aktivierung der nächstgelegenen freien Lymphknoten an der zu behandelnde Extremität führen nur mehrmalige Wiederholungssequenzen zu einer erhöhten Durchflussrate. Es schließt sich die Entstauung der Extremität von proximal nach distal an. Die Druckrichtung ist dabei der Lymphabflussrichtung der Gefäße in der Haut angepasst. Die Druckstärke sollte bei 30-40 Torr liegen [31, 45].

Die schmerzreduzierende Wirkung der manuellen Lymphdrainage basiert auf mehreren Mechanismen. Erstens normalisiert sie den Säure-Basen-Haushalt im Interstitium, was zu einer Linderung von Schmerzen beiträgt. Zweitens stimuliert sie Mechanorezeptoren, die die Schmerzleitung hemmen können [2]. Die manuelle Lymphdrainage ermöglicht zudem die Aktivierung von Lymphgefäßen, die auf andere Weise nicht erreicht werden können, wodurch sie die einzige wirksame Methode zur Reduzierung des Eiweißgehalts in einem Ödem darstellt. Es ist anzunehmen, dass die entstauende Wirkung der manuellen Lymphdrainage die Konzentration von entzündlichen und schmerzauslösenden Mechanismen verringert. Besonders bei schmerzhaften Gelenkschwellungen könnte ein weiterer schmerzmindernder Mechanismus wirken: Durch die Reduzierung des Ödems erfolgt eine Druckentlastung, was wiederum zu einer Linderung der Beschwerden führt [1].

## **2.7.2. Apparative Lymphdrainage**

### **2.7.2.1. Unterdrucktherapie**

Die Unterdrucktherapie wurde 1920 erstmalig von dem US-Amerikanischen Ingenieur Philip Drinker bei Polio Patienten/Patientinnen eingesetzt um sie mittels der „Eisernen Lunge“ vor dem Erstickungstod zu retten. Weiteren Einsatz fand die Behandlung mit negativem Druck in der Raumfahrtmedizin. Seit 1972 dient die Unterdruckkammer während der Raumfahrt zur venösen Entstauung der unteren Extremitäten, die aufgrund der fehlenden Muskelpumpe in der Schwerelosigkeit entstehen [46].

Über positive Effekte der intermittierenden Unterdrucktherapie bei der Wundheilung, in der Rehabilitation von Sportlern, bei der Narbenregeneration und bei der kosmetischen Lymphbehandlung berichten Orletskiy und Timtschenko [24].

#### **2.7.2.2. Funktion und Wirkung von LymphaTouch®**

Operative Eingriffe führen situationsbedingt zu einer Durchtrennung von Blutgefäßen, kleineren Nerven und Lymphgefäßen. Bei Eingriffen im Bereich der Extremitäten beobachtet man deshalb postoperativ in fast allen Fällen ein Lymphödem. Die herabgesetzte Transportkapazität der Lymphgefäße und die Erhöhung der lymphpflichtigen Last führen zu einer Schwellung im Bereich des Gelenkes. Immobilität und Schmerzen schränken die Muskelpumpe ein und führen zu einem verminderten venösen und lymphatischen Rückfluss [24].

Für den Erfolg einer Knie-TEP ist die postoperative physiotherapeutische Betreuung von entscheidender Bedeutung. Neben Schmerzminderung und Mobilisationsschiene stellt die manuelle Lymphdrainage eine wichtige Säule der Rehabilitationsphase dar. Die speziellen Druck- und Schöpfgriffe reduzieren die Schwellung der Extremität und erleichtern die Mobilisation [44].

Ein neues Verfahren der Lymphdrainage ist LymphaTouch®.

LymphaTouch® wurde 2009 als Alternative und zur Unterstützung der manuellen Lymphdrainage in Finnland entwickelt. Es arbeitet mit Unterdruck und Hochfrequenz Vibrationen, um die Lymphgefäße zu öffnen und den Lymphtransport anzuregen. Das Gerät erzeugt mittels eines Generators einen negativen Druck, der durch einen Schlauch fortgeleitet auf das Gewebe appliziert wird. Je nach Einsatzgebiet stehen verschiedene Endstücke zur Verfügung (Tabelle 1) [47-49].

Bereits mehrere Studien haben die Vorteile der LymphaTouch®-Therapie aufgezeigt, die darauf abzielt, Schwellungen durch eine apparative Lymphdrainage zu reduzieren. Eine Studie von Dresing et al. aus dem Jahr 2021 untersuchte die Anwendung von LymphaTouch® bei posttraumatischen Schwellungen. Hierbei wurde die betroffene Extremität mehrere Tage präoperativ behandelt, was zu einer deutlichen Abnahme der Schwellung führte und eine frühere Operation ermöglichte [49].

Neben der Reduktion von Schwellungen konnten verschiedene Studien weitere positive Effekte von LymphaTouch® nachweisen. Greenstein et al. zeigten in ihrer Studie, dass die Behandlung mit LymphaTouch® bei Patienten/Patientinnen mit lumbalen Rückenschmerzen, Schmerzen reduzieren und die Beweglichkeit signifikant verbessern kann [50]. Eine weitere

Studie aus Korea im Jahr 2018 ergab, dass regelmäßige Anwendungen von LymphaTouch® bei Patienten/Patientinnen mit Hemiplegie nach einem Schlaganfall zu einer signifikanten Zunahme des Muskeltonus sowie der Körperbalance und eine Abnahme der Muskelsteifheit im Vergleich zur Placebogruppe führten [51].

Eine Studie aus dem Jahr 2021 untersuchte die Auswirkungen von LymphaTouch® auf Patienten/Patientinnen mit Kniegelenksarthrose und zeigte eine Verbesserung von Knieschmerzen, Steifheit und funktionalen Beeinträchtigungen nach der Behandlung [52]. Auch im Bereich der Sportlerregeneration wurde LymphaTouch® erfolgreich eingesetzt, wobei eine Reduktion von Muskelsteifheit und -schmerzen bei American-Football-Spielern festgestellt wurde [53].

Weitere Studien haben gezeigt, dass die Wirkung der Lymphdrainage durch LymphaTouch® präziser und effektiver sein kann als herkömmliche manuelle Techniken. Die Untersuchungstechnik sollte daher weiterentwickelt werden, um eine optimale Behandlung für jede/n Patienten/Patientin zu ermöglichen. So wurde es bereits in den Studien von Airaksinen und Vuorinen 2011 sowie Hietanen und Puustinen 2014 beschrieben [54, 55].

Behandlungskopf	Bezeichnung	Größe	Körperregionen
	LT-0035	35mm	Kleine Gelenke Gesicht Kopf und Hals
	LT-0050	50mm	Gelenkregionen Gesicht Kopf und Hals Fuß- und Handfläche
	LT-0060	60mm	Ganzer Körper
	LT-0080	80mm	Torso Obere und untere Extremitäten

Tabelle 1: Größen der Behandlungsköpfe von LymphaTouch® und Einsatzbereich am Körper.

Der Unterdruck kann variabel zwischen 20-250mmHg und die Frequenz bei 70-90 Hz gewählt werden. Die Behandlungstechnik kann lokal stationär, in der „Lift und Twist Technik“ oder als Gleittechnik pulsierend oder kontinuierlich angewendet werden [49].

Die korrekte Platzierung des Applikators wird durch einen Infrarotsensor erkannt, bevor der Sog aktiviert wird. Die Lymphbildung findet in den Lymphkapillaren statt, die selbst keine Muskelfasern besitzen und deshalb nur passiv durch interstitiellen Druckabbau entleert werden können, der normalerweise durch körperliche Aktivität entsteht.

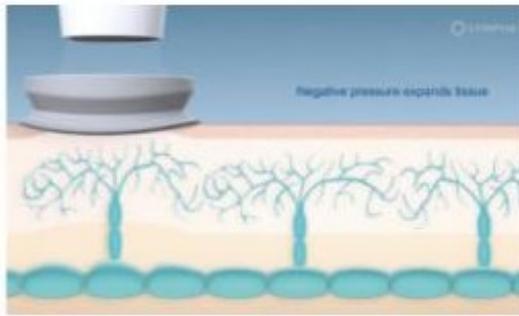
Bei körperlicher Einschränkung, bedingt durch Schmerz und Schwellung postoperativ, kann LymphaTouch® die Aufgabe der Muskelkontraktion und der Gewebedruckveränderung übernehmen, indem es durch Unterdruck eine Hautspannung erzeugt, die mittels Sogwirkung in den nachgeschalteten Lymphangionen den Ausstrom der Lymphe aus den Lymphkapillaren bewirkt.

Dadurch werden die Filamente gespannt und die schwingenden Zipfespalten zwischen den Endothelzellen öffnen sich. Diese deutlich verbreiterten Kanäle sind die Einlassventile, um die Gewebsflüssigkeit in die initialen Lymphgefäße abfließen zu lassen. Der Druck in den Gefäßen ist anfänglich niedriger als der Gewebedruck und steigt erst durch das Einfließen der Lymphflüssigkeit. Der Einsatz von LymphaTouch® bewirkt nun das Abströmen der Lymphe aus den Lymphkapillaren in die Präkollektoren [56].

Die Pulsation von LymphaTouch® führt wie die Vasomotion der Arteriolen durch eine rhythmische Änderung des Gewebedruckes zum vermehrten Abfluss der Lymphe in den tiefen Lymphgefäßen [28].

Die nachfolgende Gleittechnik, die der Schubphase der manuellen Lymphdrainage entspricht, gewährleistet dann, dass die Flüssigkeit in Richtung Lymphknoten transportiert werden [31].

Die Lymphknoten resorbieren durch ihren Blutstrom bis zu acht Liter Wasser aus den Lymphen. Um die Aufnahme der eiweißreichen Lymphe bei Lymphödemen in den Lymphknoten zu verbessern, wird oberhalb der Lymphknoten und den lymphknotennahen Zuflüssen mit der Pulsationstechnik gearbeitet. Die Pulsationstechnik erfolgt stationär im Bereich der Lymphknotenareale und ist ein Wechsel zwischen negativen und normalen Druck. Dadurch kommt es zu einer Erhöhung der durchströmten Lymphknotenanzahl und zu einer Strömungsbeschleunigung. Die Kapillardilatation und die arterielle Durchblutung verbessern sich durch den negativen Druck und die Wasserlast der Lymphe wird über die Kapillaren bis zu 50 % reduziert [24-26].



Unter negativem Druck dehnt sich das Gewebe aus



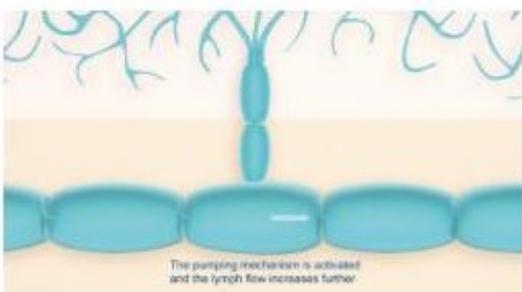
Unter negativem Druck bewegen sich die Ankerfilamente und die Endothelzellen dehnen sich aus



Metabolische Abfallprodukte gelangen in das lymphatische Kapillarnetzwerk



Lymphflüssigkeit wird durch die lymphatischen Kapillaren zu den Vorkollektoren transportiert



Und weiter zu den Kollektoren.

Der Pumpmechanismus wird aktiviert und der Lymphfluss weiter erhöht

Abbildung 1: Physiologischer Wirkmechanismus von LymphaTouch®



Abbildung 2: Das Gerät LymphaTouch®

### 2.7.2.3. Wirksamkeit der Unterdrucktherapie – Studienüberblick

Mit der Wirksamkeit der Unterdrucktherapie nach Knieendoprothesen haben sich einige aktuellere Studien auseinandergesetzt, die jedoch unterschiedliche Outcomes fokussierten und zu unterschiedlichen Ergebnissen führten. Helito et al. untersuchten 2020 die Effekte der Unterdrucktherapie auf das Risiko von Wundheilungskomplikationen bei Patienten/Patientinnen nach einer Knie-Totalendoprothese. Insgesamt wurden 296 Patienten/Patientinnen eingeschlossen, die in zwei Gruppen eingeteilt wurden: diejenigen, die in der postoperativen Phase sieben Tage lang ein Gerät zur Unterdruck-Wundtherapie verwendeten (Interventionsgruppe), und diejenigen, die herkömmliche Verbände verwendeten (Kontrollgruppe). Patienten/Patientinnen der Interventionsgruppe zeigten insgesamt eine geringere Komplikationsrate (28,5 % vs. 45,7 %,  $p = 0,001$ ), eine geringere Rate an erneuten Eingriffen im Operationssaal (2 % vs. 8,5 %,  $p = 0,001$ ), eine geringere Rate an Hyperämien (14,7 % vs. 40,2 %,  $p = 0,01$ ), Hautnekrosen (2,1 % vs. 8,5 %,  $p = 0,04$ ) und Wunddehiszenzen (3,1 % vs. 10,1 %,  $p = 0,03$ ) auf. Insgesamt reduzierte die Anwendung der Unterdruck-Wundtherapie das Komplikationsrisiko mit einem Odds Ratio von 0,36 [57]. Auch Song et al. konnten 2022 in einer Fall-Kontrollstudie mit 360 adipösen Patienten/Patientinnen nach totaler Knieendoprothetik bestätigen, dass Patienten/Patientinnen, die eine Unterdrucktherapie erhielten, eine um 50 % geringere Inzidenz von Wunddehiszenzen (3,33 % vs. 9,52 %;  $p < 0,05$ ) und eine signifikant geringere Inzidenz von Wundinfektionen an der Operationsstelle (11,33 % vs. 25,24 %;  $p < 0,05$ ) aufwiesen, einschließlich Infektion des Prothesengelenks (4,0 % vs. 10,0 %;  $p < 0,05$ ) und oberflächlicher Wundinfektionen (7,33 % vs. 15,24 %;  $p < 0,05$ ) [58]. In einer Studie mit 255 Patienten/Patientinnen nach Knieendoprothese zeigten Patienten/Patientinnen mit Unterdrucktherapie im Vergleich zur konventionellen Behandlung signifikant seltener Hautblasen an der Operationsstelle: 95,0 % vs. 87,4 %;  $p = 0,05$ ), aber

waren durch eine signifikant längere Liegezeit im Krankenhaus gekennzeichnet (5,18 Tage vs. 4,55 Tage;  $p = 0,01$ ) [59].

## **2.8 Überblick entstauernder Maßnahmen**

Es gibt viele therapeutisch konservative Maßnahmen, um Schwellungen zu reduzieren. Die Wirksamkeit dieser einzelnen Entstauungstherapien wird jedoch kontrovers diskutiert und es gibt keine eindeutige Empfehlung [60].

Die komplexe physikalische Entstauungstherapie (KPE) gilt als Standardtherapie bei der Lymphödembehandlung und beinhaltet manuelle Lymphdrainage, Kompression, entstauende Krankengymnastik und Hautpflege sowie Patientenaufklärung und -schulung [61]. In der akuten posttraumatischen und postoperativen Phase erfolgt eine abschwellende Behandlung nach dem ELCH Schema mit Eis, Lymphdrainage, Kompression und Hochlagerung [25].

### **2.8.1. Lokale Kälteanwendung**

Die Kältetherapie ist insbesondere in der Medizin bei der Erstversorgung von Verletzungen aufgrund ihrer schnellen schmerzlindernden Wirkung von großer Bedeutung. Dieser Effekt wird durch eine Veränderung der Depolarisationsschwelle freier Nervenendigungen und Synapsen aufgrund der Kälte erklärt. Durch die verringerte Gewebetemperatur wird der Stoffwechsel reduziert, was nach zehn Minuten zu einer Vasokonstriktion mit einer deutlichen Reduktion der Muskelperfusion führt [62, 63].

Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Reduktion der Hauttemperatur auf  $13,6^{\circ}\text{C}$  ausreicht, um eine lokale Analgesie zu erreichen. Allerdings wird der Benefit der Kältetherapie in der postoperativen Phase kontrovers diskutiert [64].

Während einige Autoren einen positiven Effekt bei der postoperativen Kühlung hinsichtlich der Reduktion der Schmerzmedikamente sahen, konnten andere diese Wirkung nicht nachweisen [65, 66].

In einer systematischen Übersichtsarbeit konnten Adie et al. in vier veröffentlichten Studien keine statistische signifikante Verringerung der Schmerzen durch Kältetherapie im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen [67].

Auch einen Zusammenhang zwischen postoperativer Kühlung und Schwellungsabnahme konnte Van Wingerden in seiner Arbeit nicht bestätigen. Er beobachtete nach längerer Kälteanwendung sogar eine Ödemzunahme. Die Ursache scheint eine Verringerung der Frequenz der Angionkontraktionen in den Lymphgefäßen zu sein. Eine Kälteeinwirkung,

länger als acht Minuten, führt zu einer unzureichenden Beseitigung der postoperativen eiweißreichen Last [63, 68].

Ob die Kältereize zu einem verbesserten Outcome nach einer Knie-TEP Implantation führt, konnte in Studien bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Einige Studien zeigen, dass kurze Kältereize die isometrische Maximalkraft vorübergehend steigern können, während längere Kältereize die Muskelkraft reduzieren können. Die Ergebnisse in Bezug auf die Auswirkungen der Kältetherapie auf die Muskelleistung sind jedoch widersprüchlich [67, 69].

### **2.8.2. Kompressionstherapie**

In der Leitlinie Diagnostik und Therapie des Lymphödems ist die „komplexe Physikalische Entstauungstherapie“ (KPE) als Goldstandard beschrieben [61, 70]. Sie findet sowohl beim primären wie auch beim sekundären Lymphödem Anwendung. Durch die Verkleinerung des Gefäßdurchmessers mittels des Kompressionsverbandes kommt es zu einer Strömungsbeschleunigung und einer Erhöhung des Lymphzeitvolumen. Sie dient dem Abtransport der lymphpflichtigen Last, der Reduktion des venösen Druckes und der stauungsbedingten entzündlichen Vorgänge [31, 71].

In der akuten Phase der postoperativen Initialbehandlung des Lymphödems sollte zur Entstauungs- und Volumenreduktion der Kompressionsverband eingesetzt werden. Dabei können Kompressionsbinden verschiedener Elastizitätsgrade Anwendung finden. Bei der Entstauung des primären postoperativen Lymphödems werden aus funktionellen Gesichtspunkten Kurzzeitbinden eingesetzt. Aufgrund ihrer geringen Elastizität erzeugen sie einen niedrigen Ruhe- und einen hohen Arbeitsdruck. Dieser bietet bei Bewegung einen hohen Widerstand von außen und fördert so den Rücktransport der Lymphe durch die Muskelpumpe. Der Kompressionsdruck kann zusätzlich durch die Zugstärke und die Anzahl übereinander gewickelten Bandagen variiert werden. Eine wirkungsvolle Extremitätenkompression erfordert das fachgerechte Anlegen eines zirkulären Kompressionsverbandes [72-74].

Bevor Baumwollschläuche, Zehenbandagen und Beinpolsterung angepasst werden, muss die Haut mit Cremes vorbereitet sein. Die Anlage des lymphologischen Kompressionsverbandes erfolgt dann nach festgelegten Regeln, bei denen von distal nach proximal der Druck abnehmen muss. Die Breite der Kurzzugbinden sollte im unteren Beinbereich dünner als am Oberschenkel sein und im gleichmäßigen Zug mit überlappender Tour gewickelt werden [27, 31, 75]. Studien bestätigen den Effekt des lymphologischen Kompressionsverbandes beim primären Lymphödem [76].

Ein starker Einfluss wurde auch bei Patienten/Patientinnen mit traumatisch bedingten Ödemen, wie z.B. bei einer Sprunggelenksfraktur beobachtet [77].

Durch die erzeugte Gewebedruckerhöhung nach Anlage des Kompressionsverbandes kann lediglich der Wasseranteil des Ödems, jedoch nicht der Eiweißgehalt reduziert werden. Deshalb bietet die ergänzende Behandlung mittels manueller Lymphdrainage ein zusätzlicher Nutzen bei der Ödemreduktion [78-80].

Bei stationären Aufenthalten nach Knie-TEP ist das fachgerechte Anlegen und das Wechseln der Bandagen zur Reduktion von postoperativen Schwellungen allerdings zu zeitintensiv. Auch die Leitlinie empfiehlt die Kompressionstherapie bei postoperativen Ödemen nur bei Bedarf anzuwenden, da der Kompressionsverband die ödembedingte, postoperative Bewegungseinschränkung der Extremität verstärkt [61, 81].

### **2.8.3. Hochlagerung**

Zu den postoperativen physiotherapeutischen Behandlungsstandards nach Knie-TEP gehört aufgrund der pathophysiologischen Gegebenheit eine entsprechende Lagerung [82].

Ziel ist zunächst eine Ruheposition, in der alle Strukturen des Beins und der periartikulären Weichteile möglichst entspannt sind. Die intravasalen Druckverhältnisse werden durch die Hochlagerung des Knies positiv beeinflusst. Schon eine Erhöhung von 10 cm mittels Keilkissen führt durch den erleichterten venösen Rückstrom und durch eine Blutdrucksenkung zu einer verbesserten Aufnahme der resorbierbaren Ödembestandteile. Die schwerkraftbedingte Filtration nimmt ab, was gleichzeitig zu einem geringeren Spannungsschmerz führt. Kontraindikationen stellen hier die fortgeschrittene Herzinsuffizienz und die pAVK ab Stadium II nach Fontaine dar [25, 83]. Deshalb ist während der Hochlagerung eine Kompression nicht erforderlich [25].

### **2.8.4. Entstauungstherapien und Gymnastik**

Das Ziel der physiotherapeutischen Therapie nach Knie-TEP ist die volle Extension und eine mindestens 90°C Flexion des Kniegelenkes zur Entlassung anzustreben. Am Operationstag erfolgt je nach individuellem Zustand des/der Patienten/Patientin eine Frühmobilisation zur Pneumonie- und VTE-Prophylaxe.

Ab dem ersten postoperativen Tag können die Patellamobilisation und kombinierte Knie-Hüftbeugeübungen in Rückenlage durchgeführt werden. Der Patient erhält eine Anleitung, um isometrische Übungen und achsengerechte Knieextensionen und -flexionen selbständig anzuwenden.

Es erfolgt das Aufstehen über die betroffene Seite, um mit Unterarmgehstützen einen vollbelastenden Dreipunktengang, auch beim Treppensteigen, zu trainieren. Die aktive Bewegung der unteren Extremitäten im schmerzarmen Bereich und ein Oberkörpertraining dienen der Rumpf- und Bewegungsstabilität.

Zur Entlassung am 5.-8. postoperativen Tag sollte zur Wiederherstellung der Selbstständigkeit eine Stabilisation der achsengerechten Ausgangsstellung mit einer guten neuromuskulären Kontrolle der Beinachse sowie eine ausreichende Rumpfstabilität erreicht werden [84, 85].

Die frühzeitige Mobilisierung kann den venösen Rückfluss durch Muskelpumpmechanismen fördern, hat jedoch keinen Einfluss auf die Reduktion der Eiweißlast des postoperativen Lymphödems aus dem extravasalen Raum [1].

Eine anschließende Rehabilitation führt durch eine Kräftigung des Quadricepsmuskels zu einer verbesserten funktionellen Leistung nach der Knie-TEP [86].

### **2.8.5. Passive Bewegungsschiene**

Um ein Gelenk passiv zu mobilisieren, kann die passive Bewegungsschiene (*Syn:* continuous passive motion Schiene) eingesetzt werden, die oft in Kombination mit anderen physiotherapeutischen Methoden bei der postoperativen Rehabilitation verwendet wird. Die Schiene bietet eine Führung, die eine gleichmäßige und langsame Bewegung des Knies ermöglicht. Durch den elektrischen Antrieb der passiven Bewegungsschiene wird das Gelenk des/der Patienten/Patientin kontrolliert durch bestimmte Bewegungsbereiche geführt. Nach der Implantation einer Knieendoprothese kann bereits früh mit der Mobilisation des Kniegelenks durch die passive Bewegungsschiene begonnen werden, ohne dass der Patient die Muskeln dafür aktiv anspannen muss, was zu einer schmerzarmen Anwendung führt. Ebenso wirkt die passive Bewegungsschiene einer Vernarbung des Gewebes und einer Versteifung des Gelenkes entgegen. Verschiedene Studien haben jedoch gezeigt, dass der Einsatz der passiven Bewegungsschiene nach Knieendoprothesen keinen positiven Effekt auf die Rehabilitation der Patienten/Patientinnen hat [87, 88].

Yang et al. fanden in einer Metaanalyse von 16 Studien keine signifikante Verbesserung der postoperativen Beweglichkeit des Knies, der Krankenhausverweildauer oder des Auftretens von Komplikationen [89]. In den Studien von Harvey et al. 2010 und 2014 wurde ebenfalls beschrieben, dass die CPM keine klinisch relevante Auswirkung auf die aktive Beweglichkeit des Knies, Schmerzen, Funktion oder Lebensqualität hatte und daher nicht routinemäßig eingesetzt werden sollte [90, 91].

Die CPM-Therapie zielt darauf ab, Gelenkverklebungen und Steifheit nach einer Operation zu reduzieren und gleichzeitig die Heilung von Weichteilen, Bändern und Sehnen zu verbessern sowie den Stoffwechsel zu fördern. Die tägliche Behandlungsdauer wurde auf 20 Minuten festgesetzt. Die Parameter der Behandlung wurden individuell für jede/n Patienten/Patientin fein abgestimmt und programmiert. Dies war erforderlich, da die Flexions- und Extensionsfähigkeit des Kniegelenks bei den Patienten/Patientinnen nach der Operation stark variierte [92].

Durch die Anwendung von CPM nach einer Knie-Totalendoprothese kann durch die Aktivierung des Muskeldrucks auf die Lymphgefäßwand eine Verbesserung des Lymphabtransports aus den tiefen Lymphgefäßen unterstützt werden. Im Gegensatz dazu zielt die manuelle Lymphdrainage durch spezielle Griffe darauf ab, Druck und Zugreiz von außen zu erzeugen, um die Entleerung der oberflächlichen Lymphknoten zu fördern [44].

Es wurde von den Physiotherapeuten nach der Behandlung dokumentiert, zu welcher Uhrzeit die Therapie stattgefunden hat und dass sie nach dem o.g. Standard erfolgt ist.

## **2.9 Bedeutung der Physiotherapie**

Ein Großteil der genannten Methoden zur Eindämmung von Lymphödemen findet im Rahmen von physiotherapeutischen Maßnahmen statt. Zu den Ansätzen für die konservative Behandlung von Lymphödemen gehören: manuelle Lymphdrainage, Lymphödem-Rehabilitationsübungen, Kompressionstherapie, Hautpflege, pneumatische Kompression, Hochlagerung der Extremitäten, Wärmetherapie, vollständig entstauende Physiotherapie (KPE), Taping und Aqua-Lymph-Therapie. Die Behandlung von Lymphödemen mit KPE, einer Kombination aus vier Methoden (manuelle Lymphdrainage, Lymphödem-Rehabilitationsübungen, Kompressionstherapie, Hautpflege), kann eine Verringerung des Lymphödemvolumens um 45-70 % erreichen [93]. Auch die Unterdrucktherapie kann zum Repertoire der Physiotherapie gehören, weswegen für die Beurteilung der Wirksamkeit zu berücksichtigen ist, dass die Anwendung unterschiedlich sein kann, was den Vergleich unterschiedlicher Studien mangels Standardisierung erschwert [94]. Da die Unterdrucktherapie in der Regel in Kombination zu anderen Verfahren der Physiotherapie angewendet wird, können diese grundsätzlich Einfluss auf die Wirksamkeit nehmen.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Patienten-/Patientinnenkollektiv und Randomisierung der Patienten/Patientinnen**

In die Studie wurden insgesamt 50 Patienten/Patientinnen, die an der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsklinik zu Köln in der Zeit zwischen Januar 2020 und September 2020 eine Knie-TEP erhalten haben, aufgenommen. Eingeschlossen in die Studie wurden nur Patienten/Patientinnen, die unter einer fortgeschrittenen Arthrose litten. Durch Briefumschlag-Randomisierung der Studienteilnehmer, also durch zufällige Zuweisung der Patienten/Patientinnen in die jeweilige Therapiegruppe, wurden zwei unabhängige Gruppen gebildet. Die Studienteilnehmer/-teilnehmerinnen erhielten eine ausführliche Aufklärung und willigten schriftlich ein. Postoperativ haben jeweils 25 Patienten/Patientinnen postoperative Anwendungen durch LymphaTouch® erhalten, bei den anderen 25 Probanden/Probandinnen wurde die manuelle Lymphdrainage durchgeführt. Die festgelegte Fallzahl beruht auf Einschätzung der folgenden externen Faktoren: Rekrutierungszeit des Patienten- / der Patientinnenkollektives, Durchführung der Operation durch das gleiche Operationsteam und somit standardisierte Versuchsbedingungen sowie zeitliche Limitierung durch Gewährleistung des gleichen LymphaTouch® -Anwenders.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden neben der Beugung und Streckung des Kniegelenkes, sowie die Umfangsmessungen der unteren Extremität weitere demografische und körperliche Parameter wie Geschlecht, Alter und der BMI erfasst und in die Auswertung der Messergebnisse integriert. Diese zusätzlichen Faktoren wurden sorgfältig berücksichtigt, um mögliche Einflussgrößen auf die erhobenen Messdaten adäquat zu erfassen und eine differenzierte Analyse der Ergebnisse zu gewährleisten. Die demographischen Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

#### **3.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Einschlusskriterien:

- Unmittelbarer stationärer Aufenthalt nach Knie-TEP
- Alter > 18 Jahre
- Schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie

Zusätzlich zu den Einschlusskriterien der Studie müssen die in Kapitel 2.3 genannten Kriterien berücksichtigt werden.

Ausschlusskriterien:

- Fehlende Einwilligung des/der Patienten/Patientin
- Schwangerschaft
- Nierenfunktionsstörung
- Akute Infektion der betroffenen Extremität
- Akute Thrombose
- Tumorerkrankung
- Kardiale Ödeme
- Periphere arterielle Verschlusskrankung > Grad II

Außerdem zählen die in Kapitle 2.7.1 beschriebenen absoluten Kontraindikationen wie eine Kniegelenksinfektion, eine Osteomyelitis, systemische Infektionen oder Hautinfektionen dazu.

Die Daten werden für 10 Jahre digital gespeichert. Ein Votum des Ethikrates wurde vor der Einwilligung eingeholt.

### **3.3 Dokumentation und Messungen**

Bei den Studienpatienten/-patientinnen wurden täglich die Umfänge an der operierten Extremität gemessen. Als Grundlage für die Messpunkte diente das Messblatt der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung F4224 [95]. Zur Messung wurde ein handelsübliches cm-Maßband mit mm-Genauigkeit verwendet. Dieses wurde dann an den zuvor exakt festgelegt markierten Stellen an der Extremität angelegt und mit Dezimalzahl abgelesen und dokumentiert. Diese Punkte waren standardisiert und wurden aus dem Messblatt der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung der unteren Gliedmaßen modifiziert in die Studie übernommen.

Messpunkte befanden sich 10 und 20 cm proximal des Kniegelenkspaltes, auf Höhe des Kniegelenkes sowie 15 cm distal des Knies, in Höhe des Sprunggelenkes, des Kahnbeins und am Vorfußballen. Die Dokumentation der Umfangsdifferenz wurden von präoperativ bis zum Entlassungstag dokumentiert.

Alle Messungen wurden täglich zur gleichen Tageszeit von derselben Person durchgeführt. Nach jeder Behandlung wurde der Ruheschmerz der Patienten/Patientinnen mittels VAS-Skala dokumentiert.

#### **3.3.1. Messung der Bewegungsfreiheit**

Nach der Lymphdrainage wurde bei den Patienten/Patientinnen zusätzlich zur Umfangsmessung der betroffenen unteren Extremität auch die maximal mögliche, aktive

Extension und Flexion des Kniegelenks nach der Neutral-Null-Methode („Range of Motion“ auf Englisch) gemessen. Die Messung wurde im liegenden Zustand des/der Patienten/Patientin durchgeführt, wobei das betroffene Kniegelenk in neutraler Position sein sollte. Der/Die Patient/in führt eigenständig eine maximale aktive Bewegung des Kniegelenks durch.

Zur Messung der Kniegelenkbeweglichkeit wurde ein universeller Winkelmesser verwendet, der speziell auf die Neutral-Null-Durchgangsmethode abgestimmt ist. Der Winkelmesser besteht aus zwei gleich langen Schenkeln, deren Enden verbunden sind und eine Skalierung zur Messung auf den Schenkeln aufweist.

### **3.4 Methoden**

In dieser Studie wurden insgesamt 50 Patienten/Patientinnen untersucht, die entweder mittels einer manuellen oder einer apparativen Lymphdrainage (LymphaTouch®) behandelt wurden. Die Kontrollgruppe erhielt eine 20-minütige manuelle Lymphdrainage pro Tag gemäß dem klinikinternen Standard. In der Interventionsgruppe wurde die LymphaTouch®-Anwendung täglich für 20 Minuten nach einem standardisierten Protokoll durchgeführt (Abbildungen 1-3 in der Anlage). Die Einweisung in die Anwendung erfolgte gemäß der EU-Medizinprodukteverordnung.

Die Patienten/Patientinnen wurden täglich für 5-8 Tage untersucht und der Umfang der betroffenen Extremität wurde als primärer Zielparameter gemessen. Die Messungen wurden an festgelegten markierten Stellen in cm durchgeführt. Sekundäre Zielkriterien waren die Hospitalisierungsdauer, der Schmerzmittelbedarf (gemessen mittels der VAS-Skala) und der Bewegungsradius der Extremität nach Neutral-Null-Methode. Eine Fotodokumentation des Verlaufs wurde nicht durchgeführt.

Die Patienten/Patientinnen wurden in der postoperativen Phase durch Physiotherapeuten/Physiotherapeutinnen mobilisiert und erhielten CPM, Krankengymnastik und Gangübungen. Kühlakkus wurden nur auf persönlichen Wunsch und für kurze Zeit (< 10 Minuten) eingesetzt.

### **3.5 Durchführung der manuellen Lymphdrainage**

Die manuelle Lymphdrainage ist eine spezifische Methode innerhalb der Physiotherapie, die eine spezielle Weiterbildung erfordert, um sie durchführen zu dürfen. Die Anwendung der MLD folgt einer festgelegten Systematik, die von Vodder und Asdonk mit charakteristischen Grifftechniken definiert wurde [28].

Ab dem ersten Tag nach der Operation wurde nach Ausschluss von Kontraindikationen die manuelle Lymphdrainage von verschiedenen Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen der physiotherapeutischen Abteilung im Universitätsklinikum Köln durchgeführt. Zuvor wurde den Physiotherapeuten/Physiotherapeutinnen, die eine spezielle Weiterbildung zum Lymphtherapeuten erhalten haben, ein standardisierter Behandlungsplan für die Durchführung der manuellen Lymphdrainage vorgelegt. Diese Therapie beginnt mit speziellen Grifftechniken (nach Vodder), um das zentrale Lymphgebiet zu entleeren. Während der Studie wurden jedoch nur Grundgriffe wie stehende Kreise, Pumpgriffe, Schöpfgrieffe und Drehgriffe angewendet. Sondergriffe wurden während der Behandlung nicht durchgeführt. Die Behandlung wird abschnittsweise von proximal nach distal durchgeführt, je nach Lage und Abflussströmung der Hauptlymphgefäße. Die Druckrichtung wird entsprechend der Lymphabflussrichtung der Lymphgefäße in der Haut bestimmt, um den richtigen Pumpeffekt aus dem Gewebe zu erzeugen. Während der postoperativen Blockade wird der Abfluss der lymphatischen Last durch die manuelle Lymphdrainage gefördert, indem Anastomosen gebildet werden.

Vor Durchführung der manuellen Lymphdrainage wurde zusammen mit den Physiotherapeuten der Uniklinik Köln ein standardisierter Behandlungsplan festgelegt. Im nachfolgenden wird der Ablauf des Plans erläutert.

Die manuelle Lymphdrainage startet immer am am „Terminus“, konkret in der medialen Supraklavikulargrube beidseits. Dies ist erforderlich, um zuerst das zentrale Lymphgebiet und die terminale Ampulle links zu entleeren. Dadurch wird während der Behandlung ein Nachfließen der peripheren Lymphflüssigkeit ermöglicht. Anschließend folgt eine Bauchbehandlung. Danach werden zur Behandlung der oberflächlichen inguinalen Lymphknoten stehende Kreise im Verlauf des Leistenbandes und proximal davon durchgeführt. Zur Behandlung der tieferliegenden inguinalen Lymphknoten werden stehende Kreise entlang des medialen Randes des M. sartorius angewendet. Auf dem ventralen Oberschenkel werden von distal nach proximal beidhändig im Wechsel Pumpgriffe angewendet, die dann in einem Kombinationsgriff (Pumpgriff und stehender Kreis) übergehen. Der Pumpgriff wird einhändig über das Knie fortgesetzt, wobei die Narbe ausgespart wird. Seitlich des Knies und in der Poplitearegion werden stehende Kreise fortgeführt, bevor dann am dorsalen Unterschenkel der Schöpfgriff beidhändig angewendet wird. Zusätzlich zum Schöpfgriff wurde der Pumpgriff im Wechsel über den gesamten Unterschenkel kombiniert. Zuletzt wird dann am ventralen Unterschenkel nur noch ein Pumpgriff und stehende Kreise vor allem medial und lateral angewendet. Am Sprunggelenk werden Daumenkreise im Wechsel durchgeführt. Danach kommt es zu stehenden Kreisen retromalleolär entlang der Achillessehne und anschließend wieder zu Daumenkreisen über dem Fußrücken sowie bis zu

den Zehen. Zuletzt erfolgt noch eine Behandlung der Fußsohle mit wechselweise Daumenkreise.

Nach der Behandlung des Fuß erfolgt die o.g. Behandlung erneut nach proximal bis hin zum Ausgangspunkt am Terminus. Der Therapeut passt dabei die Druckstärke individuell an das Gewebe an.

Um einer Standardisierung nachzukommen, wurde nach jeder Behandlung durch die Physiotherapeuten/-therapeutinnen dokumentiert, zu welcher Uhrzeit die Therapie stattgefunden hat und dass sie nach dem o.g. Standard erfolgt ist.



Abbildung 3: Behandlungsplan zum Ablauf der manuellen Lymphdrainage bei Lymphödemen des Beines

### 3.6 Anwendung und Durchführung von LymphaTouch®

Vor der Behandlung mit LymphaTouch® mussten die Kontraindikationen ausgeschlossen werden. In schmerzfrequer Rückenlage sollte der Patient 20 Minuten behandelt werden. Zunächst wird die Größe der Behandlungscups bestimmt. Die Behandlung erfolgt mit möglichst minimalem Kraftaufwand, wobei der negative Druck der Körperregion und dem Hautzustand des/der Patienten/-in angepasst wird. Die Operationswunde wird dabei ausgelassen, um das einliegende Nahtmaterial nicht zu manipulieren. LymphaTouch® bietet sowohl einen pulsierenden als auch einen kontinuierlichen Modus für die Unterdruckbehandlung an. Der pulsierende Modus wird genutzt, um die großen Lymphbahnen zu öffnen, während der kontinuierliche Modus die überschüssige Lymphflüssigkeit ablenkt und das Gewebe effektiv entlastet. Höhere Frequenzen wirken in oberflächlichen Geweben, während die tieferen Frequenzen in den unteren Schichten wirken.

Region	Gebiet	Art der Behandlung	Druck (mmHg)	Dauer (min)
1. Hals	Beidseits supraclaviculäre Lymphknoten in Richtung der Einmündung der Termini in den Venenwinkel	3 Pulsationen/5 Stellen auf jeder Seite	50-80	1
2. Leistenregion	Trig. Femorale mit dem Nil. Inguinales	Lokal stationäre 3-5-malige Pulsation auf mehrere Stellen unterhalb des Lig. Inguinale und bis zu 1 cm oberhalb des Lig. Inguinale	50-100	1
3. Oberschenkel (Vorder- und Rückseite)	d) dorsolaterales Oberschenkelterritorium e) Territorium des ventromedialen Bündels c) dorsomediales Oberschenkelterritorium	Lokale stationäre 3-5-malige Pulsation Danach gleitende Technik von distal nach proximal in Richtung der inguinalen Lymphknoten	50-150	4
4. Knie (Vorder- und Rückseite)	e) Territorium des ventromedialen Bündels f) Territorium des dorsolateralen Bündels	Lokal stationäre 3-5-malige Pulsation aller Bündel	50-150	2
5. Unterschenkel	e) Territorium des ventromedialen Bündels	Lokal stationäre 3-5-	50-150	3

(Vorder- und Rückseite)	f) Territorium des dorsolateralen Bündels	malige Pulsation aller Bündel Danach gleitende Technik von distal nach proximal in Richtung der inguinalen Lymphknoten		
6. Fuß (Vorder- und Rückseite)	e) Territorium des ventromedialen Bündels f) Territorium des dorsolateralen Bündels	Lokal stationäre 3-5-malige Pulsation aller Bündel	50-180	2
7. Untere Extremität (Vorder- und Rückseite)	d) dorsolaterales Oberschenkelterritorium e) Territorium des ventromedialen Bündels c) dorsomediales Oberschenkelterritorium f) Territorium des dorsolateralen Bündels	Gleitende Technik von distal nach proximal	50-150	5
8. Leistenregion	Trig. Femorale mit dem Nll. Inguinales	Lokal stationäre 3-5-malige Pulsation auf mehrere Stellen unterhalb des Lig. Inguinale und bis zu 1 cm oberhalb des Lig. Inguinale	50-100	1
9. Hals	Beidseits supraclaviculäre Lymphknoten in Richtung der Einmündung der Termini in den Venenwinkel	3 Pulsationen/5 Stellen auf jeder Seite	50-80	1

Tabelle 2: Behandlungsplan für die Anwendung von LymphaTouch®.

### 3.7 Weitere therapeutische Maßnahme

Nach der Operation wurden die Patienten/Patientinnen durch die Physiotherapeuten/Physiotherapeutinnen aus dem Bett an Unterarm-Gehstützen mobilisiert. Ebenso wurde bei allen Patienten/Patientinnen, unabhängig davon in welcher Gruppe sie sich befanden, Physiotherapie und Gangübungen durch die Mitarbeiter der Physiotherapie durchgeführt. Im Anschluss erhielten die Patienten/Patientinnen einmal täglich für 20 Minuten

eine Behandlung mit der CPM-Schiene. Der Bewegungswinkel wurde bis zum Entlassungstag bis auf mindestens 90 Grad erhöht.

Alle Patienten/Patientinnen erhielten zur Schmerztherapie eine bedarfsadaptierte Analgesie nach dem WHO-Stufenschema. Die Standardmedikation bestand somit aus Metamizol 4 x 1g oder Ibuprofen 3 x 600 mg und in den ersten postoperativen Tagen aus einem Opioid wie Oxycodon (Targin), welches später auf Tilidin reduziert wurde. Bei Bedarf konnten die Patienten/Patientinnen in den ersten postoperativen Tagen auch auf eine Zalviso®-Schmerzpumpe, welche mit einer Sufentanil-Sublingual Tablette bestückt war, zurückgreifen.

Die postoperativen Behandlungsmaßnahmen wurden vor Beginn der Studie standardisiert, sodass jeder Patient täglich zur selben Tageszeit dieselben Therapieansätze erhielt. Vormittags wurde entweder die manuelle Lymphdrainage oder eine Anwendung durch LymphaTouch® durchgeführt. Direkt im Anschluss an die Therapie erfolgte die Messung der Umfänge und des Bewegungsumfangs der betroffenen Extremität. Danach wurde das behandelte Bein in eine CPM-Schiene gelegt und für 20 Minuten passiv bewegt. Anschließend wurden die Patienten/Patientinnen von der Physiotherapie zum Gehen angeleitet. Ihnen wurden zudem Methoden vermittelt, um diese Übungen eigenständig am Nachmittag durchführen zu können.

Am ersten postoperativen Tag wurde der Patient auf die Bettkante oder bis ins Badezimmer zum Toilettengang mobilisiert. Bereits ab diesem Tag ist eine Vollbelastung der operierten Extremität mithilfe von Unterarmgehstützen oder eines Rollators möglich. Ab dem zweiten postoperativen Tag dürfen die Patienten/Patientinnen mit Hilfe der Physiotherapie zunehmend mobilisiert werden und an Unterarmgehstützen oder am Rollator auf Stationsebene gehen. Ebenfalls wurden zunehmend isometrische Übungen der Ober- und Unterschenkelmuskulatur gezeigt z.B. Bewegungsförderung in die Streckung (Gleit-, Traktions- und anguläre Techniken) oder eine aktive Fußbewegung zur Anregung der Muskelpumpe. Ab dem dritten Tag bis zur Entlassung wurden zusätzlich noch das Treppensteigen an Unterarmgehstützen erlernt und je nach individuellen Therapiefortschritt isometrische Übungen an die Leistung des/der Patienten/Patientin angepasst.

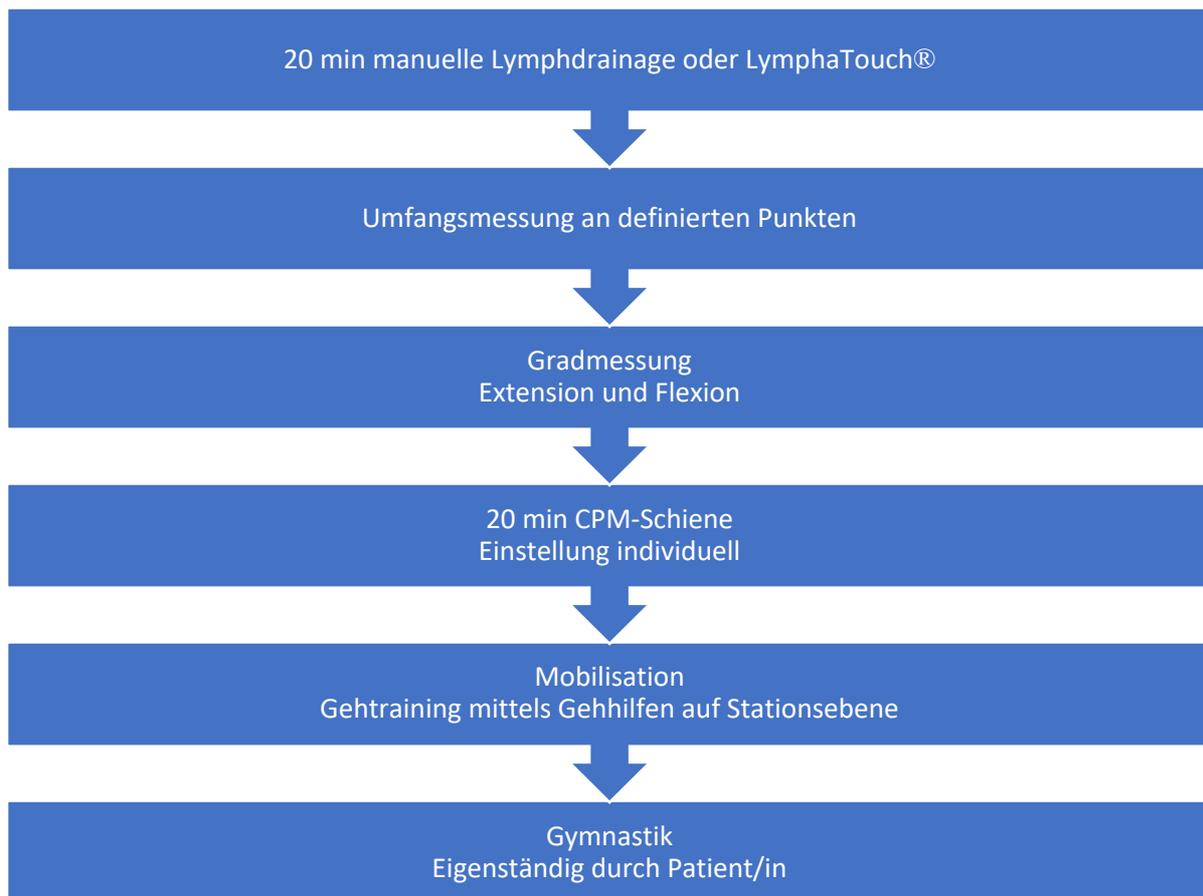


Abbildung 4: Behandlungsplan zum Ablauf der entstauenden Maßnahmen postoperativ

### 3.8 Statistische Auswertung und Randomisierung der Patienten/Patientinnen

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine nicht-verblindete Studie. Die Patienten wurden bei der stationären Aufnahme zufällig einer Behandlungsgruppe zugeteilt, noch bevor die Schmerzparameter erhoben oder die Umfänge sowie die Range of Motion gemessen wurden, was bedeutet, dass sowohl die Patienten/Patientinnen als auch die Untersucher/Untersucherinnen nicht wissen, welche Behandlung jeder Patient erhält.

Um die erforderliche Stichprobengröße zu ermitteln, wurde zunächst eine Power-/Leistungsanalyse durchgeführt, bei der der geschätzte mittlere Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf die Umfangsdifferenz des betroffenen Beins bei  $2 \pm 2$  cm lag. Die Analyse ergab, dass für eine Leistung von 0,95 bei einer statistischen Power von 0,8 eine Stichprobengröße von mindestens 24 Patienten/Patientinnen pro Gruppe erforderlich ist. Die Fallzahl wurde daher auf  $n = 25$  Probanden/Probandinnen je Gruppe festgelegt.

Die erhobenen Daten jedes/jeder Patienten/Patientin wurden mit dem Programm Microsoft Excel (Microsoft 365, Version 2304) gesammelt und gespeichert. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics (Version 28.0.1.0 (142)) und mit

der statistischen Analysesoftware JASP (Version 0.18.3.0). Die grafischen Darstellungen wurden mit der Software GraphpadPrism (Version 10.1.0 (316)) erstellt.

Die Daten wurden zunächst deskriptiv analysiert, indem Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SD) und die Anzahl der Probanden/Probandinnen in jeder Gruppe in SPSS und Excel registriert und zusammengefasst wurden. Diese Daten wurden dann in gruppierten Tabellen in Microsoft Excel eingetragen, wobei die Rohdaten durch Mittelwerte, Standardabweichungen und Anzahl der Probanden/Probandinnen ersetzt wurden.

Die Testung der Normalverteilung der Daten erfolgte mittels Shapiro-Wilk-Test. Für Proben, die nach dem Shapiro-Wilk-Test eine Abweichung von der Normalverteilung aufwiesen, wurde der Mann Whitney U-Test durchgeführt. Anschließend wurde als erste explorative Analyse und zur Testung der initialen Hypothese ein ungepaarter t-Test für jedes Datenpaar durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten von zwei unabhängigen Gruppen an einem bestimmten Tag zu ermitteln. Eine ANOVA mit Messwiederholungen wurde angewendet, wenn beim ungepaarten t-Test eine statistische Signifikanz aufgefallen ist, um die Unterschiede bei der Beugung und Streckung sowie bei den Schmerzen zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe über mehrere Zeitpunkte zu analysieren und zu untersuchen. Die ANOVA mit Messwiederholungen wurde nur bis zum 6. postoperativen Tag durchgeführt, da die Gruppen am 7. postoperativen Tag nur noch wenige Patienten beinhalteten und eine somit kleine Stichprobengröße resultieren würde.

Nach der ANOVA mit Messwiederholungen wurde ein Post-hoc-Vergleich mit Bonferroni Korrektur durchgeführt, um die spezifischen Gruppen oder Zeitpunkte zu identifizieren, zwischen denen signifikante Unterschiede bestehen.

Am 7. postoperativen Tag befanden sich nur noch 14 von 50 Patienten/Patientinnen aus beiden Gruppen in stationärer Behandlung. Um potenzielle Unterschiede in dieser kleinen Patientengruppe zu erkennen, wurde eine separate statistische Auswertung für diese Daten durchgeführt.

Die lineare Regressionsanalyse wurde durchgeführt, um einen Zusammenhang mit dem Alter, BMI oder dem Geschlecht auf die Variablen Beugung, Streckung und Schmerz zu untersuchen.

Wir legten das Signifikanzniveau auf  $p < 0,05$  fest, um die statistische Signifikanz zu bestimmen.

### **3.9 Ethikantrag**

Die von uns angewendeten Verfahren in der Studie mit Patienten/Patientinnen entsprachen den ethischen Standards des institutionellen Forschungsausschusses sowie der Helsinki-Erklärung von 1964 und ihren nachfolgenden Änderungen oder vergleichbaren ethischen Standards. Vor Beginn der Studie (19-1457) wurde die Genehmigung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln eingeholt. Des Weiteren wurde die Studie im zuständigen nationalen Register für klinische Studien (DRKS00018837) registriert.

### **3.10 Ziel der Arbeit**

Basierend auf eine Vielzahl von Studien zur Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage und der Unterdrucktherapie bei der Behandlung postoperativer Lymphödeme nach Mastektomie ist das Ziel der vorliegenden Arbeit die Effektivität der apparativen Lymphdrainage mittels einer neuartigen Unterdrucktherapie, bekannt als LymphaTouch®, zur Verminderung der postoperativen Schwellung bei einer Kohorte von 50 Patienten nach einer Knie-TEP-Implantation zu evaluieren. Die zentrale Fragestellung der Studie konzentriert sich auf die Eignung der manuellen Unterdrucktherapie LymphaTouch® als adäquate Methode zur Reduktion von Ödemen im Kontext postoperativer Schwellungen nach einer Knie-TEP.

Hierfür wurden die Studienteilnehmer zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt und anhand verschiedener Parameter wie der Bewegungsradius, der Umfangsdifferenz der operierten Extremität, der Krankenhausverweildauer und Schmerzen verglichen. Das Ziel war es zu ermitteln, ob die Anwendung von LymphaTouch® zu einer schnellen oder effektiven Reduktion des Umfangs, der postoperativen Schmerzen und einer besseren Mobilität des Kniegelenks führt.

## **4. Ergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie detailliert erläutert. Neben den grundlegenden Patientendaten werden die erhobenen Daten zum Bewegungsumfang und den Umfängen an verschiedenen Stellen des Beines aufgeführt. Darüber hinaus werden die Daten zur maximalen Gewebeswellung dargestellt. Zudem wurde die durchschnittliche Liegedauer in beiden Gruppen erfasst.

### **4.1 Patienten-/Patientinnendaten**

Die Studie umfasste insgesamt 50 Patienten/Patientinnen, darunter 24 Frauen und 26 Männer, von denen sich 13 Frauen und 12 Männer in der Kontrollgruppe und 11 Frauen und 14 Männer in der Interventionsgruppe befanden. Das Durchschnittsalter betrug 67,05 Jahre, wobei das jüngste Alter bei 52 Jahren und das höchste bei 85 Jahren lag, was eine Spannweite von 33

Jahren ergibt. Das Durchschnittsalter in der Gruppe mit manueller Lymphdrainage betrug 66,6 Jahre, während es in der LymphaTouch®-Gruppe bei 67,5 Jahren lag. Sowohl das Alter als auch das Geschlecht der Patienten/Patientinnen zeigten keine signifikanten Unterschiede (Alter:  $p > 0,05$ ; Geschlecht:  $p > 0,05$ ). Der durchschnittliche Body-Mass-Index (BMI) war vergleichbar und betrug 31,58 kg/m<sup>2</sup> in der Gruppe mit manueller Lymphdrainage und 31,81 kg/m<sup>2</sup> in der LymphaTouch®-Gruppe. Insgesamt wurden 28 Knieendoprothesen auf der rechten Seite und 22 auf der linken Seite implantiert. Eine Übersicht über das mittlere Alter, die Geschlechtsverteilung und den durchschnittlichen BMI ist in Tabelle 3 dargestellt. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Daten der Interventions- und Kontrollgruppe.

	ML	LT	Gesamt	p-Wert
<b>Alter (MW ± SD)</b>	66,6 ± 6,43	67,5 ± 5,72	67,05 ± 8,73	0,786
<b>BMI (Einheit)</b>	31,58 ± 5,73	31,81 ± 6,41	31,7 ± 6,68	0,698
<b>Geschlecht</b>				
<i>Weiblich</i>	13	11	24	0,321
<i>Männlich</i>	12	14	26	
<b>Postoperativer Tag 5</b>	n = 20	n = 21		
<b>Alter, Jahre (MW ± SD)</b>	67,0 ± 10,0	67,0 ± 8,5	67 ± 9,3	0,881
<b>BMI, kg/m<sup>2</sup> (MW ± SD)</b>	31,1 ± 6,0	32,0 ± 7,9	31,6 ± 6,9	0,835
<b>Geschlecht, n (%)</b>				
<b>Weiblich</b>	11 (55,0)	11 (52,5)	22 (51,2)	0,867
<b>Männlich</b>	9 (45,0)	10 (47,6)	19 (44,2)	
<b>Postoperativer Tag 6</b>	n = 15	n = 14		
<b>Alter, Jahre (MW ± SD)</b>	69,5 ± 9,4	67,2 ± 10,0	68,4 ± 9,3	0,523
<b>BMI, kg/m<sup>2</sup> (MW ± SD)</b>	29,7 ± 3,2	32,2 ± 9,6	30,8 ± 6,7	0,821
<b>Geschlecht, n (%)</b>				
<b>Weiblich</b>	8 (53,3)	5 (38,5)	13 (46,4)	0,431
<b>Männlich</b>	7 (46,7)	8 (61,5)	15 (53,6)	
<b>Postoperativer Tag 7</b>	n = 8	n = 6		
<b>Alter, Jahre (MW ± SD)</b>	68,6 ± 7,7	69,2 ± 11,1	69,3 ± 8,9	0,968
<b>BMI, kg/m<sup>2</sup> (MW ± SD)</b>	30,8 ± 4,5	28,9 ± 6,8	29,4 ± 4,9	0,762
<b>Geschlecht, n (%)</b>				
<b>Weiblich</b>	7 (87,5)	2 (33,3)	8 (57,1)	0,119
<b>Männlich</b>	1 (12,5)	4 (66,6)	5 (42,9)	

	ML	LT	Gesamt
<b>Rechts</b>	16	12	28
<b>Links</b>	9	13	22

Tabelle 3: Übersicht über die demographischen Daten der Patienten/Patientinnen aufgeteilt in Interventions- bzw. Kontrollgruppe. Es zeigt sich, dass beide Gruppen im Alter, in der Geschlechterverteilung sowie im BMI keine signifikanten Unterschiede zeigen. ML: Manuelle Lymphdrainage. LT: LymphaTouch®. BMI: Body-Mass-Index, MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. p-Wert: statistische Signifikanz ( $p < 0,05$ ).

Tabelle 4 zeigt die Entwicklung der Patientenzahl je Messzeitpunkt bzw. die jeweilige Dropout-Rate aufgrund von Entlassung. Bis einschließlich Tag 4 zeigte sich kein Dropout, es standen also jeweils Messergebnisse für n = 50 Patienten/Patientinnen zur Verfügung. Diese Anzahl reduzierte sich am 5. Tag auf n = 41, am 6. Tag n = 29 und am 7. Tag n = 14.

Messzeitpunkt	Patientenzahl
Präop	50
OP-Tag	50
1. postop	50
2. postop	50
3. postop	50
4. postop	50
5. postop	41
6. postop	29
7. postop	14

Tabelle 4: Entwicklung der Patientenzahl in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt

## 4.2 Beugung des Kniegelenks

Zur Bestimmung des Bewegungsumfangs wurde präoperativ und postoperativ an bis zu acht aufeinanderfolgenden Tagen die maximale Beugung des Kniegelenkes an der operierten Extremität in Grad bestimmt. In Tabelle 5 sind die Messergebnisse für die Kontroll- und Interventionsgruppe aufgeführt. Im ungepaarten t-Test zeigten sich signifikante Unterschiede, die in der nachfolgenden Tabelle aufgezeigt werden. Diese sind jedoch nur aussagekräftig, wenn sie ebenfalls in der weiterführenden ANOVA mit post-hoc Test und Bonferroni Korrektur beweisen lassen.

Zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ist die Beugefähigkeit bis zum 5. Tag postoperativ vergleichbar, zeigt aber einen besseren Wert in der Interventionsgruppe, welcher jedoch nicht statistisch signifikant war. Bereits am 6. Tag postoperativ wurde die 90 Grad Beugefähigkeit in der LympaTouch®-Gruppe erreicht.

Beugung des Kniegelenks							
	ML			LT			p-Wert
	MW [°]	SD	N	MW [°]	SD	N	
<b>Präop</b>	103,6	13,58	25	107	16,33	25	0,43
<b>OP-Tag</b>	42,6	21,22	25	47,2	19,42	25	0,43
<b>1. postop</b>	56,6	21,73	25	58,8	18,56	25	0,70
<b>2. postop</b>	64,8	20,54	25	69	16,33	25	0,43
<b>3. postop</b>	72,4	19,16	25	79,2	14,27	25	0,16
<b>4. postop</b>	79,2	15,12	25	85,6	13,41	25	0,12
<b>5. postop</b>	81	15,01	20	87,38	10,2	21	0,12
<b>6. postop</b>	82	13,99	15	92,5	9,35	14	0,02*
<b>7. postop</b>	85,63	10,16	8	97,5	8,8	6	0,04*

Tabelle 5: Übersicht über die Beugefähigkeit des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ im ungepaarten t-Test. Die Patienten wurden weiterhin aufgeteilt in die Interventions- bzw. Kontrollgruppe. Es zeigt sich bis zum 5. postoperativen Tag kein signifikanter Unterschied in der Beugefähigkeit zwischen den einzelnen Gruppen. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LympaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Flexionsfähigkeit zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ , was am 6. und 7. postoperativen Tag der Fall ist. \* signifikant bei  $p = < 0,05$ .

Um einen Überblick über die Veränderungen in der Kontroll- und der Interventionsgruppe zu geben, sind in der Abbildung die marginalen Mittelwerte der Beugefähigkeit (Grad) für jeden Tag dargestellt (Abbildung 5). Da die Anzahl der Patienten/Patientinnen, die am 7. postoperativen Tag gemessen wurden, deutlich geringer ist als die Messungen an den anderen postoperativen Tagen, wird für diese Patienten/Patientinnen eine separate statistische Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse hierzu werden in Kapitel 5.6 gezeigt.

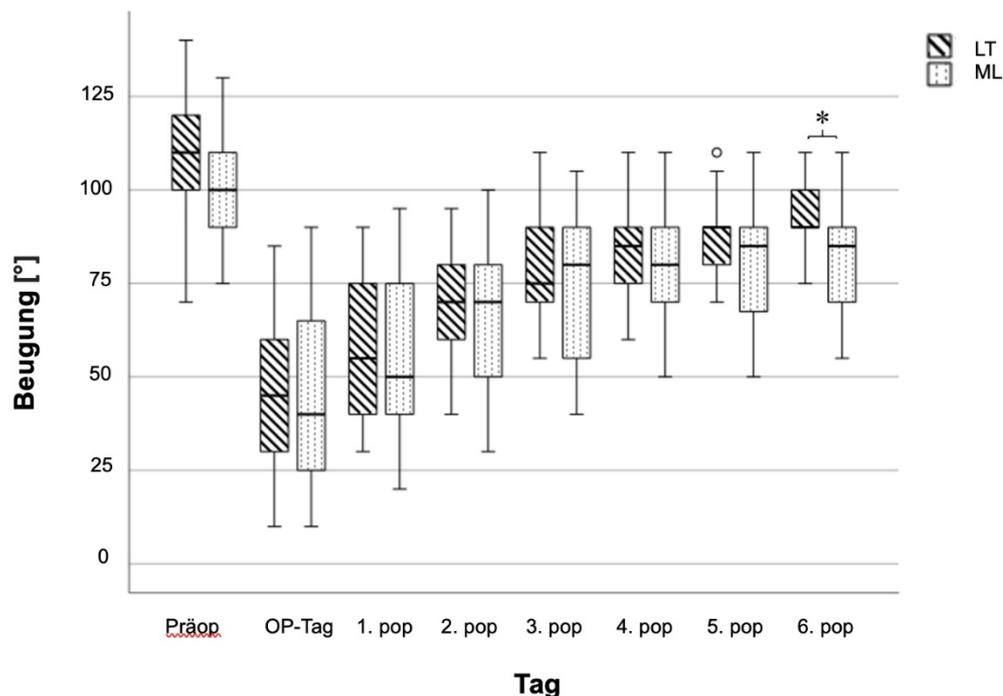


Abbildung 5: Maximal erreichbare Beugung gemessen in [°] vom präoperativen Tag bis zum 6. postoperativen Tag: Am Tag 6 wurden statistisch signifikante Unterschiede (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. Die horizontale Linie in der Mitte jeder Box zeigt den Median an; die oberen und unteren Ränder der Box markieren das 75. und 25. Perzentil, während die Whiskers (Striche) das Minimum und Maximum und die Kreise Ausreißer markieren. LT = LympaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

Die deskriptive Analyse zeigte eine homogene Varianz der Messwerte zwischen den Studiengruppen sowie innerhalb der Messtage (Abbildung 6).

## Deskriptive Statistiken

A Gruppen, Deskriptiv						B Prüfung auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk)			
Gruppe		N	Mittelwert	SD	Standardfehler			W	p
PräOP	LT	25	107.000	16.330	3.266	PräOP	LT	0.946	0.203
	ML	25	103.600	13.580	2.716		ML	0.957	0.363
OP-Tag	LT	25	47.200	19.423	3.885	OP-Tag	LT	0.965	0.520
	ML	25	42.600	21.219	4.244		ML	0.934	0.107
1.pop	LT	25	58.800	18.556	3.711	1.pop	LT	0.911	0.033
	ML	25	56.600	21.733	4.347		ML	0.948	0.225
2.pop	LT	25	69.000	16.330	3.266	2.pop	LT	0.954	0.307
	ML	25	64.800	20.539	4.108		ML	0.943	0.170
3.pop	LT	25	79.200	14.265	2.853	3.pop	LT	0.967	0.581
	ML	25	72.400	19.155	3.831		ML	0.940	0.144
4.pop	LT	25	85.600	13.410	2.682	4.pop	LT	0.954	0.302
	ML	25	79.200	15.116	3.023		ML	0.969	0.618
5.pop	LT	21	87.381	10.200	2.226	5.pop	LT	0.941	0.229
	ML	20	81.000	15.009	3.356		ML	0.948	0.333
6.pop	LT	14	92.500	9.354	2.500	6.pop	LT	0.966	0.819
	ML	15	82.000	13.990	3.612		ML	0.950	0.521

Tabelle 6: Täglich gemessene maximal erreichbare Beugung in Grad [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6: Deskriptive Statistiken in Bezug auf A) Gruppenstatistiken und B) Normalität durch Shapiro-Wilk-Test. LT = LympaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

Die deskriptive Statistik in Abbildung 6 zeigt die Homogenität der Varianz, die Normalverteilung sowie die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Studiengruppen. Auf der Grundlage dieser deskriptiven Statistiken wurde der statistische t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, der eine zu überprüfende signifikante Kniebeugefähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe am 6. Tag nach der Operation ergab ( $p < 0,05$ ), wie in Abbildung 7 dargestellt. Die Plots der marginalen Mittelwerte der Kniebeugefähigkeit zeigen jeden Tag nach der Operation leicht bessere Kniebewegungen in der LympaTouch®-Gruppe im Vergleich zur manuellen Lymphdrainage (Abbildung 7).

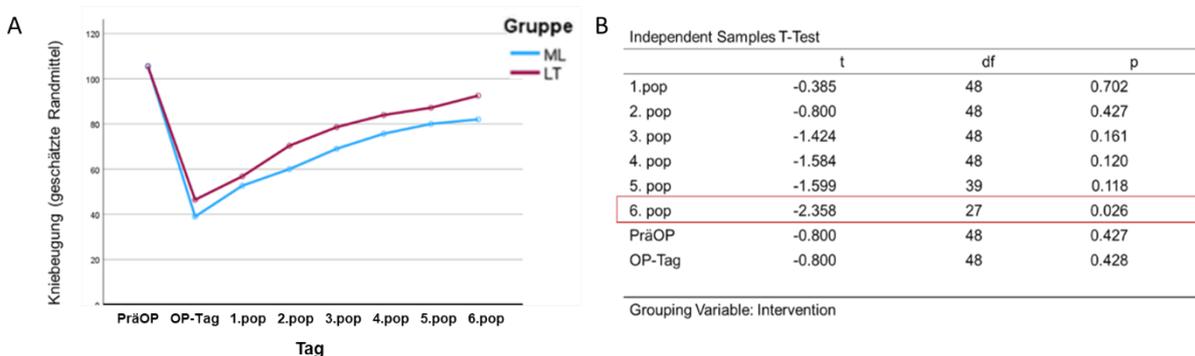


Abbildung 6: Täglich gemessene maximal erreichbare Flexion in Grad [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6: A) marginale Mittelwerte pro Tag; B) unabhängige t-Tests zwischen den beiden Gruppen für jeden Messtag. Es wurden statistisch signifikante Unterschiede (\*) zwischen den Untergruppen an Tag 6 festgestellt (im roten Kasten markiert). LT = LympaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

Die ANOVA mit wiederholten Messungen und Post-hoc-Test ergab jedoch an keinem der postoperativen Tage eine statistische Signifikanz zwischen den Studiengruppen (Abbildung 8). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass für die beiden Interventionen von den präoperativen und operativen Tagen bis zu 6 Tagen nach der Operation mehrere Vergleichsgruppen in den Post-hoc-Test einbezogen wurden, was die ANOVA-Ergebnisse stark beeinflusst.

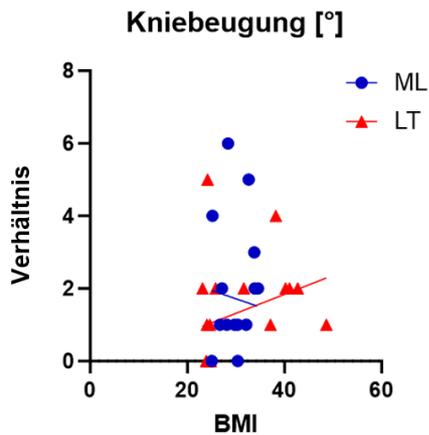
**Post Hoc Comparisons - Intervention \* Beugung**

		Mean Differenc e	SE	t	Cohen' s d	P <sub>tukey</sub>	P <sub>bonf</sub>	P <sub>holm</sub>
ML, PräOP	LT, PräOP	0.310	5.900	0.052	0.019	1.000	1.000	1.000
ML, OP-Tag	LT, OP-Tag	-7.429	5.900	-1.259	-0.468	0.996	1.000	1.000
ML, 1.POP	LT, 1.POP	-4.119	5.900	-0.698	-0.259	1.000	1.000	1.000
ML, 2. POP	LT, 2. POP	-10.357	5.900	-1.756	-0.652	0.924	1.000	1.000
ML, 3. POP	LT, 3. POP	-9.571	5.900	-1.622	-0.603	0.959	1.000	1.000
ML, 4. POP	LT, 4. POP	-8.262	5.900	-1.400	-0.520	0.989	1.000	1.000
ML, 5. POP	LT, 5. POP	-7.143	5.900	-1.211	-0.450	0.998	1.000	1.000
ML, 6. POP	LT, 6. POP	-10.500	5.900	-1.780	-0.661	0.916	1.000	1.000

Note. P-Wert angepasst für den Vergleich einer Familie von 120 für Mehrfachvergleiche

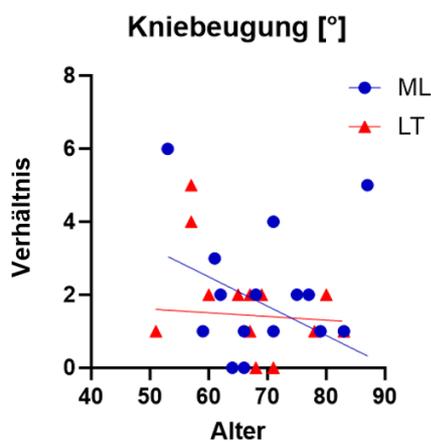
*Tabelle 7: Maximal erreichbare Flexion gemessen in [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6: Wiederholte ANOVA-Messungen mit Mehrfachvergleich mit post-hoc Vergleich und Bonferroni Korrektur. Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. ANOVA=Varianzanalyse. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.*

Das Ansprechen der Patienten/Patientinnen auf die beiden Therapien LymphaTouch® oder manuelle Lymphdrainage am sechsten Tag nach der Operation war unabhängig von Alter (Jahre) oder BMI, wobei jüngere Patienten/Patientinnen besser auf die manuelle Lymphdrainage ansprachen als ältere, jedoch ohne statistische Signifikanz (Abbildungen 9 und 10).



Simple linear regression Tabular results	A	B
	ML	LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.3517 to 0.2597	-0.01767 to 0.1225
Y-intercept	-6.021 to 12.22	-2.585 to 2.074
X-intercept	33.71 to +infinity	-infinity to 22.29
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.008078	0.1812
Sy.x	1.679	1.026
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	0.1059	2.655
DFn, DFd	1, 13	1, 12
P value	0.7501	0.1292
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = -0.04604 \cdot X + 3.100$	$Y = 0.05242 \cdot X - 0.2555$

Abbildung 7: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und Verbesserungen der Kniebeugung am 6. postoperativen Tag im Vergleich zum OP-Tag. Verhältnis bestimmt durch erreichbare Beugung  $[(6.\text{pop})-(\text{OP-Tag})]/(\text{OP-Tag})$ . Es wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. BMI= Body-Mass-Index. LT = Negative Drucktherapie®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP=Operation.



Simple linear regression Tabular results	A	B
	ML	LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.1718 to 0.01161	-0.08030 to 0.06007
Y-intercept	0.8724 to 13.72	-2.706 to 6.940
X-intercept	77.34 to +infinity	83.58 to +infinity
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.2150	0.008147
Sy.x	1.493	1.129
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	3.560	0.09857
DFn, DFd	1, 13	1, 12
P value	0.0817	0.7589
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = -0.08009 \cdot X + 7.297$	$Y = -0.01011 \cdot X + 2.117$

Abbildung 8: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) und Verbesserungen der Kniebeugung am 6. postoperativen Tag im Vergleich zum OP-Tag. Verhältnis bestimmt durch erreichbare Beugung  $[(6.\text{pop})-(\text{OP-Tag})]/(\text{OP-Tag})$ . Es wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. LT = Negative Drucktherapie®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP=Operation.

Es wurde keine statistische Signifikanz ( $p < 0,05$ ) in Bezug auf die Reaktionen der Patienten/Patientinnen auf die Therapien in Bezug auf das Geschlecht festgestellt (Abbildung 11). Die Fähigkeit zur Kniebeugung war 6 Tage nach der Operation im Vergleich zum Tag der OP bei Frauen in beiden Therapiegruppen etwas besser. Bei der manuellen Lymphdrainage zeigten Frauen im Vergleich zu Männern nach sechs Tagen eine konsistente Verbesserung der Kniebeugung, jedoch ohne statistische Signifikanz.

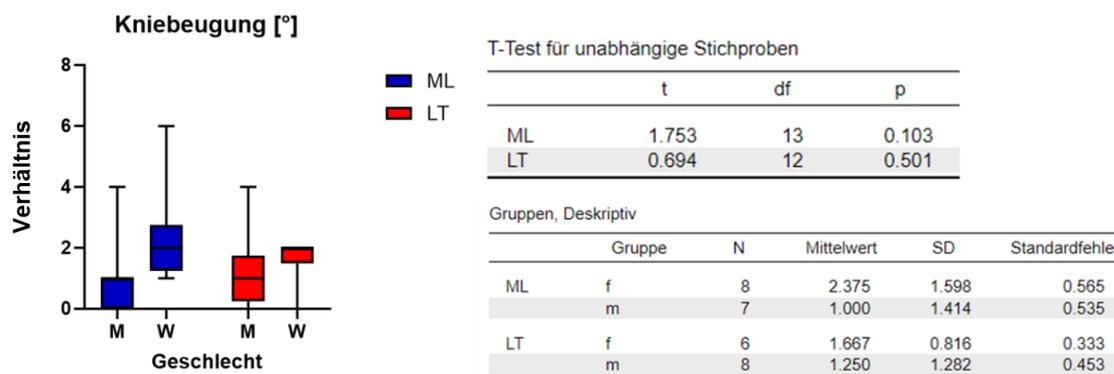


Abbildung 9: Vergleich der Verbesserungen der Kniebeugung am postoperativen Tag 6 im Vergleich zum OP-Tag in Bezug auf das Geschlecht der Patienten, ermittelt durch unabhängige t-Tests mit Gruppierung nach Geschlecht (M=männlich, W=weiblich). Verhältnis bestimmt durch die erreichbare Beugung  $[(6.pop)-(OP\text{-Tag})/(OP\text{-Tag})]$ . Linie in der Mitte jeder Box zeigt den Median an; die oberen und unteren Ränder der Box markieren das 75. und 25. Es wurde keine statistische Signifikanz (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. LT = Negative Drucktherapie®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP=Operation.

### 4.3 Streckung des Kniegelenks

Zur Bestimmung der Range of Motion, der die Bewegungsamplitude eines Gelenks beschreibt, wurde neben der maximalen Beugung auch die maximale Streckung des Kniegelenkes mittels Goniometer gemessen und dokumentiert. 0° bedeutet, dass eine vollständige Streckung des Kniegelenkes möglich war, was als optimal betrachtet wurde. In Tabelle 6, in dem die p-Werte des ungepaarten t-Tests dargestellt werden, erkennt man, dass es präoperativ, am Operationstag sowie am ersten postoperativen Tag zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe keinen Unterschied gab. Am 2.-5. postoperativen Tag zeigte sich im unabhängigen t-Test eine signifikante bessere Streckung ( $p=0,035$ ,  $p=0,002$ ,  $p=0,029$ ,  $p=0,025$ ). In der Gruppe, die mit LymphaTouch® behandelt wurde, ist der Streckungsgrad des Kniegelenkes mit einem MW° zwischen 3,8-1,67 an allen Tagen höher als in der Kontrollgruppe, mit einem Streckungsgrad des Kniegelenkes, der einen MW° von 3,2-3,75° aufweist. Patienten/Patientinnen in der Interventionsgruppe erzielten bereits am 3. postoperativen Tag eine Streckung bis 2° und konnten bis zum 7. postoperativen Tag das Streckdefizit bis 0,83° reduzieren, während die Kontrollgruppe dieses Ergebnis zu keinem Zeitpunkt erreichte.

Streckung							
	ML			LT			p-Wert
	MW [°]	SD	N	MW [°]	SD	N	
<b>Präop</b>	3,88	4,58	25	3,8	2,99	25	0,942
<b>OP-Tag</b>	8,4	5,35	25	7,28	4,18	25	0,414
<b>1. postop</b>	7,2	5,22	25	6	5	25	0,411
<b>2. postop</b>	6,2	4,4	25	3,8	3,32	25	0,035*
<b>3. postop</b>	5,2	3,38	25	2,2	2,92	25	0,002*
<b>4. postop</b>	4,4	3,63	25	2,2	3,25	25	0,029*
<b>5. postop</b>	3,75	3,19	20	1,67	2,42	21	0,025*
<b>6. postop</b>	3,33	3,09	15	1,43	2,34	14	0,072
<b>7. postop</b>	3,75	3,54	8	0,83	2,04	6	0,077

Tabelle 8: Übersicht über die Streckfähigkeit des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ im ungepaarten t-Test. Die Streckfähigkeit wurde weiterhin aufgeteilt in die Interventions- bzw. Kontrollgruppe. Es zeigt sich, dass die Streckung postoperativ in der Interventionsgruppe insgesamt besser und an einigen Tagen (2.-5. Postoperativer Tag) auch einen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe aufwies. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Extensionsfähigkeit zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ , was am 2., 3., 4., und 5. postoperativen Tag der Fall ist. \* signifikant bei  $p = < 0,05$ .

Die ANOVA mit multiplen Vergleichstest zeigte, dass die maximale Streckung der Kniegelenke der Patienten/Patientinnen in beiden Studiengruppen vor und am Tag der Operation ähnlich war. Darüber hinaus zeigte die Gruppe, die mit LymphaTouch® behandelt wurde, ab Tag 2 nach der Operation eine signifikante Verbesserung der Kniestreckung. Im Gegensatz dazu wurden signifikante Knieextensionen in der Gruppe mit manueller Therapie erst ab Tag 4 postoperativ gefunden (Abbildung 12).

Post-hoc-Vergleiche - Intervention \* Streckung

		Mittelwertsdifferenz	Standardfehler	t	P <sub>Bonf</sub>
LT, OP-Tag	LT, 2.pop	4.286	0.960	4.466	0.001
	LT, 3.pop	6.071	0.960	6.326	< .001
	LT, 4.pop	6.071	0.960	6.326	< .001
	ML, 4.pop	4.952	1.365	3.627	0.048
	LT, 5.pop	7.500	0.960	7.815	< .001
	ML, 5.pop	5.286	1.365	3.872	0.022
	LT, 6.pop	7.857	0.960	8.187	< .001
ML, OP-Tag	ML, 6.pop	5.952	1.365	4.360	0.004
	ML, 4.pop	3.667	0.927	3.955	0.010
	LT, 5.pop	6.214	1.365	4.552	0.002
	ML, 5.pop	4.000	0.927	4.314	0.003
LT, 1.pop	LT, 6.pop	6.571	1.365	4.813	< .001
	ML, 6.pop	4.667	0.927	5.033	< .001
	LT, 2.pop	3.929	0.960	4.094	0.006
	LT, 3.pop	5.714	0.960	5.954	< .001
	LT, 4.pop	5.714	0.960	5.954	< .001
	LT, 5.pop	7.143	0.960	7.443	< .001
ML, 1.pop	LT, 6.pop	7.500	0.960	7.815	< .001
	ML, 6.pop	5.595	1.365	4.098	0.010
	LT, 5.pop	5.548	1.365	4.063	0.011
	ML, 5.pop	3.333	0.927	3.595	0.039
	LT, 6.pop	5.905	1.365	4.325	0.004
LT, 2.pop	ML, 6.pop	4.000	0.927	4.314	0.003
	LT, 6.pop	3.571	0.960	3.721	0.025

Hinweis: P-Wert angepasst, um eine Familie von 91 zu vergleichen, nicht signifikante Werte nach Bonferroni,  $p \geq 0,05$  nicht gezeigt

Tabelle 9: Grad der Streckung des Kniegelenks in den beiden Studiengruppen für jeden Tag bis zum 6. Tag nach der Operation, analysiert durch ANOVA mit post-hoc-Mehrfachvergleichstests mit Bonferroni-Korrekturen. Die einzelnen Behandlungsgruppen wurden an jedem Tag mit jedem anderen Tag für beide Eingriffe verglichen. Es

werden nur die statistisch signifikanten Vergleiche ( $p < 0,05$ ) dargestellt. ANOVA=Varianzanalyse. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

Zusätzlich wurde der Grad der Streckung des Kniegelenks zwischen den beiden Studiengruppen für jeden Tag nach der Operation mit Hilfe von unabhängigen zweifaktorielle ANOVA verglichen. Vom zweiten bis zum fünften Tag nach der Operation wurden signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) in der Streckung der Kniegelenke zwischen den beiden Interventionsgruppen festgestellt (Abbildung 13).

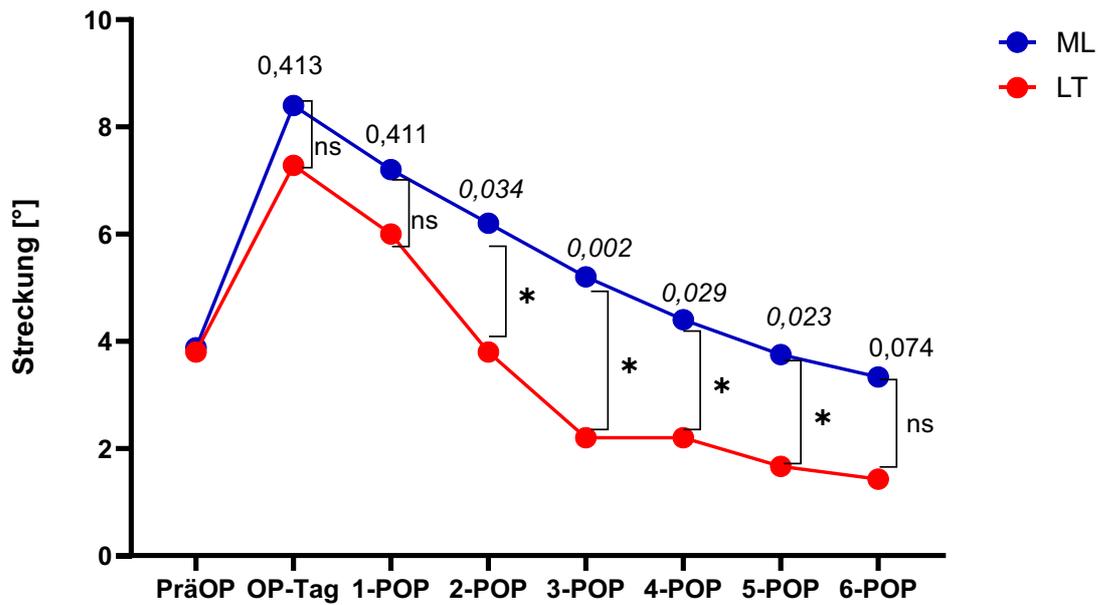


Abbildung 10: Grad der Kniegelenkextension im Vergleich zwischen den beiden Interventionen für jeden Tag mit der zweifaktoriellen ANOVA für unabhängige Stichproben. Die Daten werden als Mittelwert dargestellt und die entsprechenden p-Werte für die Unterschiede in den Mittelwerten für jeden Tag oben angegeben. \* $p < 0,05$ . ANOVA=Varianzanalyse. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. ns=statistisch nicht signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

#### 4.4 Umfangmessungen der operierten Extremität

Der Umfang der Kniegelenke wurde vor der Operation bis zum 6. postoperativen Tag gemessen. Nach der Operation blieben die Werte jedoch bei beiden Interventionen ähnlich, wie in Abbildung 14 dargestellt.

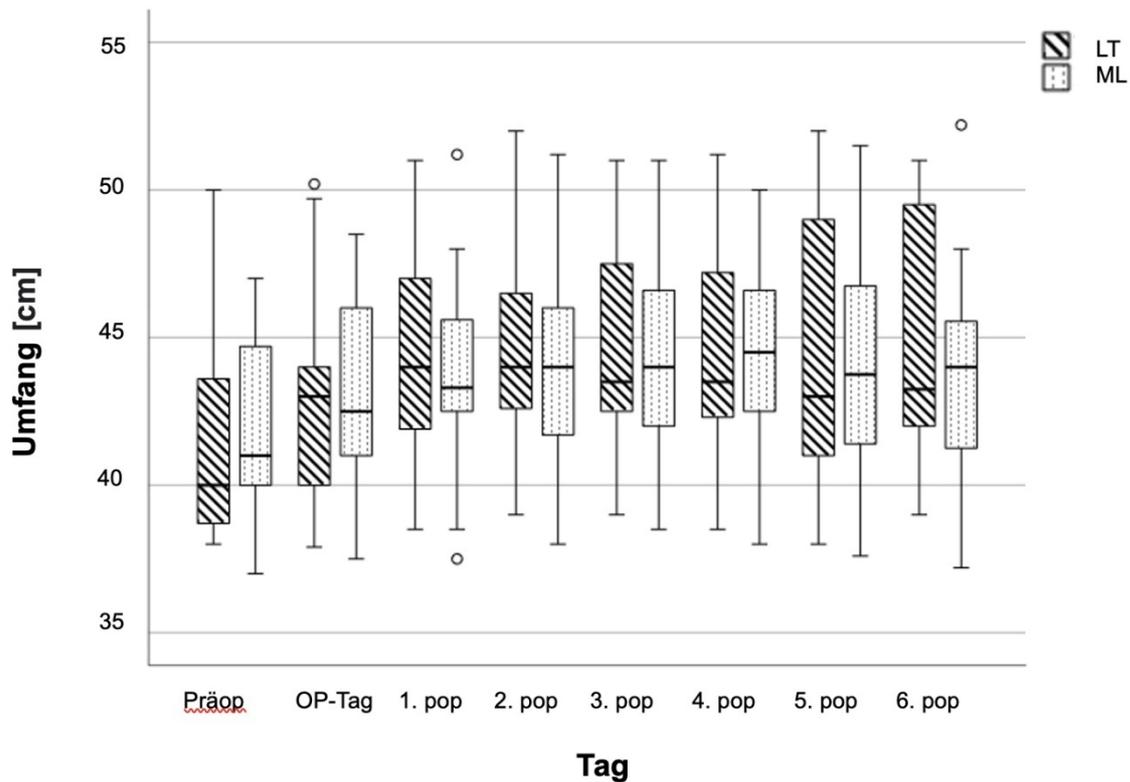


Abbildung 11: Umfangsmessungen in [cm] von präoperativ bis zum 6. postoperativen Tag auf Höhe des Kniegelenks: Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Methoden festgestellt. Die horizontale Linie in der Mitte jeder Box zeigt den Median an; die oberen und unteren Ränder der Box markieren das 75. und 25. Perzentil, während die Whiskers (Striche) das Minimum und Maximum und die Kreise Ausreißer markieren. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

##### 4.4.1. Zirkumferenz am Vorfußballen

Vor der Operation waren die Umfänge der Vorfußballen in der Kontroll- und Interventionsgruppe vergleichbar. Postoperativ zeigte sich weiterhin zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen und die Messergebnisse wichen nicht stark voneinander ab. Die Messergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Vorfußballen							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	23,48	1,41	25	23,55	1,43	25	0,86
<b>OP-Tag</b>	23,76	1,29	25	23,87	1,42	25	0,78
<b>1. postop</b>	23,79	1,44	25	23,86	1,47	25	0,87
<b>2. postop</b>	23,54	1,36	25	23,69	1,36	25	0,69
<b>3. postop</b>	23,44	1,33	25	23,68	1,4	25	0,54
<b>4. postop</b>	23,44	1,46	25	23,58	1,43	25	0,74
<b>5. postop</b>	23,47	1,58	20	23,52	1,53	21	0,90
<b>6. postop</b>	23,57	1,46	15	24,01	1,49	14	0,43
<b>7. postop</b>	23,49	1,75	8	24,5	0,71	6	0,17

Tabelle 10: Übersicht der Umfangsmessung des Vorfußballens auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. P-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung des Vorfußballen zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.4.2. Zirkumferenz am Fuß auf Höhe des Kahnbeins

Es wurden bei der Umfangsmessung des Kahnbeins keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe festgestellt. Tabelle 8 gibt eine Zusammenfassung der Messergebnisse.

Umfang auf Höhe des Kahnbeins							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	23,78	1,41	25	24,05	1,69	25	0,54
<b>OP-Tag</b>	24,16	1,47	25	24,12	1,6	25	0,91
<b>1. postop</b>	24,26	1,45	25	24,37	1,8	25	0,81
<b>2. postop</b>	24,11	1,64	25	24,26	1,85	25	0,76
<b>3. postop</b>	24,03	1,5	25	24,07	1,73	25	0,93
<b>4. postop</b>	24,08	1,37	25	24,01	1,84	25	0,88
<b>5. postop</b>	24,07	1,64	20	24	2,04	21	0,90
<b>6. postop</b>	23,86	1,7	15	24,7	1,9	14	0,22
<b>7. postop</b>	24,14	1,59	8	25,43	0,95	6	0,08

Tabelle 11: Übersicht der Umfangsmessung des Fußes auf Höhe des Kahnbeines auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte in den Umfangsmessungen im ungepaarten t-Test nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung auf Höhe des Kahnbeins zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.4.3. Zirkumferenz am Bein auf Höhe des oberen Sprunggelenks

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p = > 0,05$ ) zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bei der Umfangsmessung auf Höhe des oberen Sprunggelenks festgestellt werden. Vor der Operation hatten beide Gruppen einen durchschnittlichen Umfang von etwa 27 cm, der nach der Operation am 4. Tag postoperativ vergleichbar anstieg. Am 7. postoperativen Tag erreichte der Umfang in Höhe des oberen Sprunggelenkes in der Interventionsgruppe fast wieder den präoperativen Ausgangswert. Trotzdem zeigt sich hier kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 9 dargestellt.

Umfang oberes Sprunggelenk							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	26,79	2,26	25	27,16	2,28	25	0,57
<b>OP-Tag</b>	26,91	2,13	25	27,35	2,26	25	0,48
<b>1. postop</b>	27,06	2,21	25	27,26	2,47	25	0,76
<b>2. postop</b>	26,98	2,46	25	26,99	2,51	25	0,99
<b>3. postop</b>	27,68	2,59	25	27,03	2,5	25	0,37
<b>4. postop</b>	28,03	2,38	25	27,78	3,14	25	0,75
<b>5. postop</b>	28,32	2,38	20	27,27	2,66	21	0,19
<b>6. postop</b>	27,98	2,59	15	27,89	2,5	14	0,92
<b>7. postop</b>	27,6	1,83	8	27,17	1,21	6	0,61

Tabelle 12: Übersicht der Umfangsmessung des Unterschenkels auf Höhe des Sprunggelenks auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung des oberen Sprunggelenks zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.4.4. Zirkumferenz am Unterschenkel 15 cm distal des Kniegelenks

Der Unterschenkelumfang wurde 15 cm distal vom Kniegelenk gemessen. Die Messergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied ( $p = > 0,05$ ) zwischen den beiden Gruppen, obwohl der Umfang in der Interventionsgruppe auf etwa 40 cm zurückkehrte und fast den präoperativen Wert erreichte. In der Kontrollgruppe stieg an diesem Messpunkt der Umfang weiter an und lag am 7. postoperativen Tag bei 42,24 cm. Obwohl kein statistischer Unterschied festgestellt wurde, erreichte der Unterschenkelumfang in der Interventionsgruppe am 7. postoperativen Tag wieder den präoperativen Wert, während die Schwellung in der Kontrollgruppe noch deutlich erhöht war (Tabelle 10).

15 cm unterhalb des Kniegelenks							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	39,17	3,98	25	39,28	3,91	25	0,92
<b>OP-Tag</b>	39,77	3,75	25	39,39	4,07	25	0,73
<b>1. postop</b>	40,55	3,8	25	39,92	5,22	25	0,63
<b>2. postop</b>	41,35	3,38	25	40,56	4,22	25	0,47
<b>3. postop</b>	41,16	3,82	25	40,65	4,07	25	0,65
<b>4. postop</b>	41,14	3,75	25	40,4	4,11	25	0,51
<b>5. postop</b>	41,34	3,75	20	40,39	4,21	21	0,45
<b>6. postop</b>	40,59	3,59	15	40,14	4,27	14	0,76
<b>7. postop</b>	42,24	2,82	8	39,62	3,94	6	0,20

Tabelle 13: Übersicht der Umfangsmessung des Unterschenkels 15 cm distal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an acht Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LympaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung 15 cm unterhalb des Kniegelenks zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.4.5. Zirkumferenz am Bein auf Höhe des Kniegelenks

In der Tabelle 11 erkennt man präoperativ vergleichbare Werte in Bezug auf den Umfang am Kniegelenk zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe. Nach der Operation stieg der Umfang der Kontrollgruppe von 41,86 cm auf 44,38 cm am 3. postoperativen Tag an. In der Interventionsgruppe lag der Mittelwert am 2. postoperativen Tag bei 45,02 cm in der

Interventionsgruppe. In beiden Gruppen ist am 7. postoperativen Tag noch eine starke Schwellung zu erkennen.

Umfang Kniegelenk							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	41,86	2,97	25	41,77	3,72	25	0,92
<b>OP-Tag</b>	43,09	3,14	25	43,14	3,42	25	0,96
<b>1. postop</b>	43,72	3,18	25	44,34	3,64	25	0,25
<b>2. postop</b>	44,18	3,17	25	45,02	3,71	25	0,39
<b>3. postop</b>	44,38	3,13	25	44,56	3,53	25	0,85
<b>4. postop</b>	44,28	3	25	44,38	3,59	25	0,92
<b>5. postop</b>	44,14	3,4	20	44,19	4,22	21	0,97
<b>6. postop</b>	43,85	3,62	15	44,4	3,95	14	0,70
<b>7. postop</b>	44,35	3,67	8	43,2	3,2	6	0,54

*Tabelle 14: Übersicht der Umfangsmessung des Beines auf Höhe des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Tagen postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung des Kniegelenks zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .*

#### **4.4.6. Zirkumferenz am Oberschenkel 10 cm proximal des Kniegelenks**

Die Umfangsmessungen 10 cm proximal des Kniegelenkes am Oberschenkel ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe. Am 5. Tag postoperativ war der Messwert für die Schwellung in beiden Gruppen vergleichbar. Bei den bis zum 7. Tag noch verbliebenen Patienten wurde eine bessere Schwellungsabnahme in der Interventionsgruppe beobachtet (Tabelle 12).

10 cm oberhalb des Kniegelenks							
	ML			LT			P [%]
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	47,54	5,2	25	48,13	6,61	25	0,73
<b>OP-Tag</b>	48,26	4,73	25	48,68	6,4	25	0,79
<b>1. postop</b>	49,32	5,08	25	50,22	6,36	25	0,58
<b>2. postop</b>	50,35	4,85	25	50,85	6,21	25	0,75
<b>3. postop</b>	50,64	4,87	25	51,13	6,59	25	0,77
<b>4. postop</b>	50,51	4,75	25	51,09	6,37	25	0,72
<b>5. postop</b>	51,21	4,71	20	51,15	7,15	21	0,97
<b>6. postop</b>	50,77	4,26	15	50,49	7,31	14	0,90
<b>7. postop</b>	51,21	3,36	8	47,5	4,34	6	0,12

Tabelle 15: Übersicht der Umfangsmessung des Oberschenkels 10 cm proximal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung 10 cm oberhalb des Kniegelenks zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.4.7. Zirkumferenz am Oberschenkel 20 cm proximal des Kniegelenks

Wie in der Zusammenfassung der Messergebnisse in Tabelle 13 zu erkennen ist, ergab die Messung des Oberschenkelumfangs etwas 20 cm proximal des Kniegelenks keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe. Auch hier ist jedoch zu beobachten, dass die Umfänge in der Kontrollgruppe am letzten Tag im Vergleich zum präoperativen Wert noch stark erhöht sind. Die Umfänge in der Interventionsgruppe sind dagegen präoperativ niedriger.

20 cm oberhalb des Kniegelenks							
	ML			LT			p-Wert
	MW [cm]	SD	N	MW [cm]	SD	N	
<b>Präop</b>	55,45	6,21	25	56,91	7,98	25	0,47
<b>OP-Tag</b>	56,12	6,17	25	57	7,78	25	0,66
<b>1. postop</b>	57,48	6,06	25	58,35	7,7	25	0,66
<b>2. postop</b>	57,58	6,51	25	58,55	7,86	25	0,64
<b>3. postop</b>	58,24	6,1	25	58,94	7,86	25	0,73
<b>4. postop</b>	57,91	5,74	25	58,75	7,7	25	0,66
<b>5. postop</b>	58,07	5,4	20	59,05	7,97	21	0,65
<b>6. postop</b>	57,01	5,13	15	57,43	8,39	14	0,87
<b>7. postop</b>	58,69	5,39	8	54,03	4,77	6	0,11

Tabelle 16: Übersicht der Umfangsmessung des Oberschenkels 20 cm proximal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ, aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte im ungepaarten t-Test in den Umfangsmessungen nicht nachgewiesen werden. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Umfangsmessung 20 cm oberhalb des Kniegelenks zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ .

#### 4.5 Postoperative Schmerzen

In Bezug auf das Schmerzempfinden wurde in der vorliegenden Studie der Einfluss einer postoperativen Lymphdrainage auf die Schmerzintensität untersucht. Nach jeder Untersuchung bewerteten die Studienteilnehmer ihre Schmerzen auf der visuellen Analogskala. Die Schmerzen präoperativ waren in der Kontrollgruppe geringer als in der Interventionsgruppe, wobei diese Unterschiede jedoch nicht signifikant waren. Am Operationstag waren die Werte in beiden Gruppen vergleichbar.

Nach der Operation nahmen die Schmerzen in der Kontrollgruppe kontinuierlich zu, während sie in der Interventionsgruppe vom 1. bis zum 7. postoperativen Tag abnahmen. Ein signifikanter Unterschied im ungepaarten t-Test zeigte sich ab dem 1. postoperativen Tag. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 14. In Abbildung 15 ist die Verteilung aller Werte für beide Therapien für jeden Tag nach der Operation sowie für den Tag der Operation dargestellt.

Schmerzintensität - Visuelle Analog-Skala (VAS)							
	ML			LT			p-Wert
	MW	SD	N	MW	SD	N	
<b>Präop</b>	2,92	2,14	25	4,2	2,5	25	0,058
<b>OP-Tag</b>	4,88	2,54	25	4,96	1,74	25	0,897
<b>1. postop</b>	5,64	2,12	25	4,08	1,87	25	0,008*
<b>2. postop</b>	4,08	1,71	25	3,04	1,65	25	0,033*
<b>3. postop</b>	3,4	1,71	25	2,4	1,66	25	0,041*
<b>4. postop</b>	3,28	2,05	25	1,92	1,61	25	0,012*
<b>5. postop</b>	3,3	1,92	20	1,86	1,68	21	0,015*
<b>6. postop</b>	3,2	2,08	15	1,69	1,18	13	0,025*
<b>7. postop</b>	4,25	2,43	8	0,67	1,03	6	0,004*

*Tabelle 17: Übersicht der Werte der visuellen Analog-Skala zur Schmerzangabe aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe. Es zeigte sich im ungepaarten t-Test eine statistische Signifikanz ab dem 1. postoperativen Tag. ML: Manuelle Lymphdrainage (Kontrollgruppe). LT: LymphaTouch® (Interventionsgruppe). MW: Mittelwert. SD: Standard-Abweichung. N: Anzahl der Probanden. p-Wert: Signifikanter Unterschied in der Schmerzintensität zwischen den einzelnen Gruppen, bestimmt durch  $p < 0,05$ , was am 1.-7. postoperativen Tag der Fall ist. \* signifikant bei  $p = < 0,05$ .*

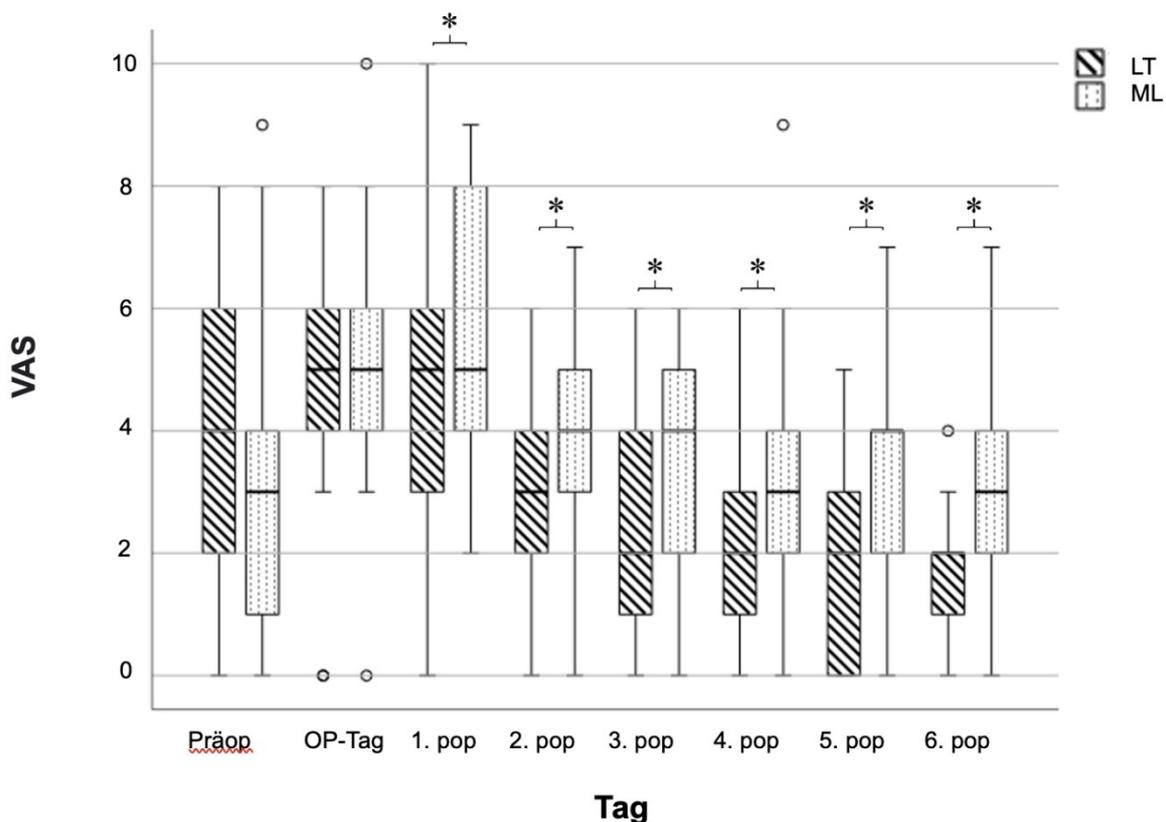


Abbildung 12: VAS gemessen vom präoperativen Tag bis zum 6. postoperativen Tag: Statistisch signifikante Unterschiede (\*) zwischen den Untergruppen wurden an den 1.-6. postoperativen Tagen festgestellt. Die horizontale Linie in der Mitte jeder Box zeigt den Median an; die oberen und unteren Ränder der Box markieren das 75. und 25. Perzentil, während die Whiskers (Striche) das Minimum und Maximum und die Kreise Ausreißer markieren. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage.

Die deskriptiven Statistiken zeigten, dass die Varianz der VAS zwischen den beiden Gruppen während der gesamten Studie vergleichbar war (Abbildung 16). Auch die VAS-Werte vor der Operation und am Tag der OP waren ähnlich. Die ANOVA mit post-hoc-Mehrfachvergleichsanalyse zeigt, dass die VAS mit der LymphaTouch® ab dem zweiten Tag nach der Operation signifikant niedriger ist ( $p < 0,05$ ). Im Vergleich dazu wurde eine signifikante Reduktion der VAS erst nach 5 Tagen postoperativ mit manueller Lymphdrainage gemessen (Abbildung 17).

Deskriptiv Statistik																
	PräOP		OP-Tag		1-pop		2-pop		3-pop		4-pop		5-pop		6-pop	
	W	M	W	M	W	M	W	M	W	M	W	M	W	M	W	M
Valid	24	26	24	26	24	26	24	26	24	26	24	26	22	19	13	15
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	11	11
Mean	3.583	3.538	5.125	4.731	4.917	4.808	3.792	3.346	3.250	2.577	3.083	2.154	2.864	2.211	3.231	1.867
Std. Deviation	2.603	2.231	2.508	1.801	2.244	2.059	1.956	1.522	1.800	1.653	2.145	1.666	1.959	1.873	2.048	1.457
Minimum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
Maximum	9.000	8.000	10.000	8.000	9.000	9.000	7.000	6.000	6.000	6.000	9.000	6.000	7.000	5.000	7.000	4.000

Tabelle 18: Deskriptive Statistik für die täglich gemessenen Schmerzwerte mit VAS vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. VAS = Visuelle Analogskala. M = männlich. W = weiblich.

#### Post-hoc-Vergleiche - Intervention \* VAS

		Mittelwertsdifferenz	Standardfehler	t	P <sub>Bonf</sub>
LT, OP-Tag	LT, 2.pop	1.923	0.494	3.894	0.013
	LT, 3.pop	2.615	0.494	5.296	< .001
	LT, 4.pop	3.077	0.494	6.231	< .001
	LT, 5.pop	3.308	0.494	6.698	< .001
	ML, 5.pop	2.149	0.722	2.978	0.375
	LT, 6.pop	3.923	0.494	7.944	< .001
	LT, 4.pop	2.728	0.722	3.781	0.032
	ML, 4.pop	1.400	0.460	3.045	0.248
ML, OP-Tag	LT, 5.pop	2.959	0.722	4.101	0.011
	ML, 5.pop	1.800	0.460	3.915	0.012
	LT, 6.pop	3.574	0.722	4.954	< .001
	ML, 6.pop	2.067	0.460	4.496	0.001
LT, 1.pop	LT, 4.pop	2.077	0.494	4.206	0.004
	LT, 5.pop	2.308	0.494	4.673	< .001
	LT, 6.pop	2.923	0.494	5.919	< .001
ML, 1.pop	LT, 3.pop	3.133	0.722	4.342	0.005
	ML, 3.pop	2.333	0.460	5.076	< .001
	LT, 4.pop	3.595	0.722	4.982	< .001
	ML, 4.pop	2.267	0.460	4.931	< .001
	LT, 5.pop	3.826	0.722	5.302	< .001
	ML, 5.pop	2.667	0.460	5.801	< .001
	LT, 6.pop	4.441	0.722	6.155	< .001
	ML, 6.pop	2.933	0.460	6.381	< .001
LT, 2.pop	LT, 6.pop	2.000	0.494	4.050	0.007
ML, 2.pop	LT, 6.pop	2.974	0.722	4.122	0.010

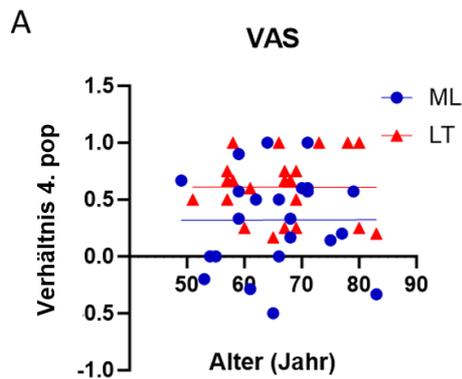
Hinweis. P-Wert angepasst, um eine Familie von 91 zu vergleichen, nicht signifikante Werte nach Bonferroni,  $p \geq 0,05$  nicht gezeigt

Tabelle 19: ANOVA mit post-hoc-Mehrfachvergleichstest für die täglich gemessenen Schmerzwerte mit VAS vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6. Beide Studiengruppen wurden für jeden Tag mit beiden Studiengruppen an jedem anderen Tag verglichen. Es sind nur  $p < 0,05$  (nach Bonferroni) angezeigt. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. POP=Post-Operation. VAS = Visuelle Analogskala

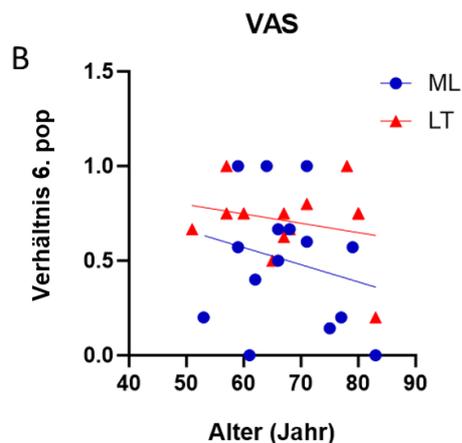
Am vierten und sechsten Tag nach der Operation war die VAS sowohl bei der ML- als auch bei der LT-Therapie im Vergleich zum Tag der Operation reduziert, zusätzlich wurden alle Teilnehmer bis zum vierten Tag nach der Operation gemessen. Daher wurde für diese beiden Tage nach der Operation eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um eine Korrelation mit dem Alter, dem BMI oder dem Geschlecht der Teilnehmer/-innen zu finden.

Das Verhältnis der Unterschiede in der VAS an den Tagen 4 oder 6 im Vergleich zum Tag der OP ergab keine signifikante Korrelation zwischen Alter, BMI oder Geschlecht der Patienten/Patientinnen (Abbildungen 19-22). Obwohl statistisch nicht signifikant, gibt es einen

Trend, dass in der Gruppe der manuellen Lymphdrainage eine höhere VAS bei Patienten/Patientinnen mit einem höheren BMI erzielt wurde, während in der LymphaTouch®-Gruppe kein solcher Trend festgestellt wurde. Dies könnte darauf hindeuten, dass die manuelle Lymphdrainage bei Menschen mit erhöhten BMI möglicherweise nicht wirksam ist, während sich LymphaTouch® bei allen Patienten als wirksam erweist.

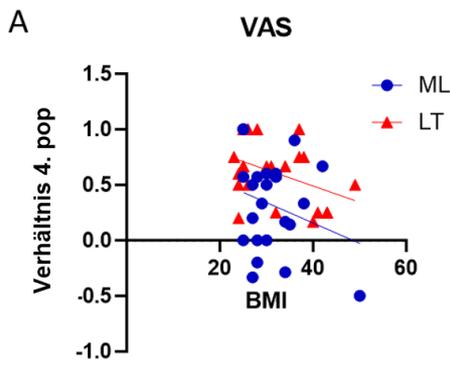


Simple linear regression Tabular results	A ML	B LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.02183 to 0.02209	-0.01482 to 0.01460
Y-intercept	-1.139 to 1.760	-0.3696 to 1.605
X-intercept	-infinity to 53.75	107.0 to +infinity
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	7.049e-006	1.075e-005
Sy.x	0.4313	0.2824
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	0.0001480	0.0002364
DFn, DFd	1, 21	1, 22
P value	0.9904	0.9879
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = 0.0001285 \cdot X + 0.3106$	$Y = -0.0001091 \cdot X + 0.6177$

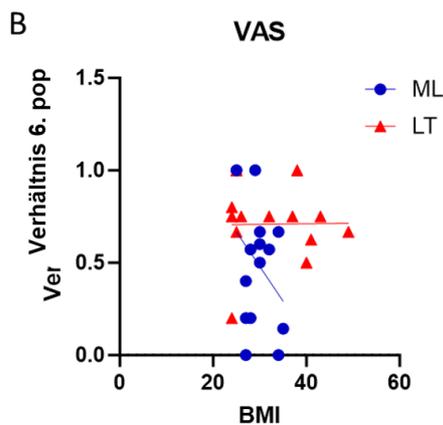


Simple linear regression Tabular results	A ML	B LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.03292 to 0.01473	-0.01791 to 0.008043
Y-intercept	-0.5061 to 2.738	0.1524 to 1.935
X-intercept	81.21 to +infinity	106.7 to +infinity
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.04972	0.05984
Sy.x	0.3466	0.2066
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	0.6802	0.7002
DFn, DFd	1, 13	1, 11
P value	0.4244	0.4205
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = -0.009096 \cdot X + 1.116$	$Y = -0.004933 \cdot X + 1.044$

Abbildung 13: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) und Verbesserungen der VAS an den postoperativen Tagen 4 und 6 im Vergleich zum Operationstag (OP-Tag). Verhältnis bestimmt durch VAS [(6.pop oder 4.pop)-(Tag der Operation)/(Tag der Operation)]. Es wurden keine statistisch signifikanten Korrelationen (\*) zwischen den Untergruppen festgestellt. LT = Negative Drucktherapie®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation.



Simple linear regression Tabular results	A	B
	ML	LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.04860 to 0.01189	-0.02946 to 0.0001398
Y-intercept	-0.06880 to 1.851	0.5934 to 1.560
X-intercept	35.96 to +infinity	51.85 to +infinity
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.07048	0.1609
Sy.x	0.4158	0.2587
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	1.592	4.220
DFn, DFd	1, 21	1, 22
P value	0.2208	0.0520
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = -0.01835 \cdot X + 0.8912$	$Y = -0.01466 \cdot X + 1.077$



Simple linear regression Tabular results	A	B
	ML	LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.09800 to 0.02303	-0.01506 to 0.01568
Y-intercept	-0.1855 to 3.392	0.1755 to 1.220
X-intercept	33.93 to +infinity	-infinity to -11.46
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.1211	0.0001830
Sy.x	0.3333	0.2131
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	1.791	0.002013
DFn, DFd	1, 13	1, 11
P value	0.2038	0.9650
Deviation from zero?	Not Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	$Y = -0.03748 \cdot X + 1.603$	$Y = 0.0003133 \cdot X + 0.6980$

Abbildung 14: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und Veränderungen der VAS an den postoperativen Tagen 4 und 6 im Vergleich zum Tag der Operation (OP-Tag). Verhältnis bestimmt durch VAS [(6.pop oder 4.pop)-(Tag der Operation)/(Tag der Operation)]. BMI=Body-Mass-Index. LT = Negative Drucktherapie®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation.

Das Verhältnis der Veränderung der VAS am vierten oder sechsten Tag nach der Operation im Vergleich zum Tag der Operation korrelierte auch mit dem Geschlecht des Patienten/Patientinnen, obwohl keine statistische Signifikanz erreicht wurde (Abbildungen 21-22).

## Lineare Regression

Modell-Zusammenfassung - VAS Verhältnis\_4.pop

Modell	R	R <sup>2</sup>	Korrigiertes R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.380
H <sub>1</sub>	0.287	0.082	0.062	0.369

ANOVA

Modell		Quadratsumme	df	Mittlere Quadratsumme	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.547	1	0.547	4.029	0.051
	Residuum	6.111	45	0.136		
	Gesamt	6.658	46			

*Hinweis.* Das konstante Modell wurde ausgelassen, da keine bedeutsame Information angezeigt werden kann.

Koeffizienten

Modell		Unstandardisiert	Standardfehler	Standardisiert <sup>a</sup>	t	p
H <sub>0</sub>	(Konstante)	0.468	0.055		8.430	< .001
	Geschlecht (m)	0.216	0.108		2.007	0.051
H <sub>1</sub>	(Konstante)	0.353	0.079		4.491	< .001
	Geschlecht (m)	0.216	0.108		2.007	0.051

<sup>a</sup> Standardisierte Koeffizienten können nur für kontinuierliche Prädiktoren berechnet werden.

Tabelle 20: Lineare Regressionsanalyse zwischen dem Geschlecht der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 4 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch  $VAS [(4.pop)-(Tag\ der\ Operation)/(Tag\ der\ Operation)]$ . LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP=Operation.

## Lineare Regression

Modell-Zusammenfassung - Verhältnis VAS\_6.pop

Modell	R	R <sup>2</sup>	Korrigiertes R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.301
H <sub>1</sub>	0.468	0.219	0.157	0.276

ANOVA

Modell		Quadratsumme	df	Mittlere Quadratsumme	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.536	2	0.268	3.514	0.045
	Residuum	1.906	25	0.076		
	Gesamt	2.441	27			

*Hinweis.* Das konstante Modell wurde ausgelassen, da keine bedeutsame Information angezeigt werden kann.

Koeffizienten

Modell		Unstandardisiert	Standardfehler	Standardisiert <sup>a</sup>	t	p
H <sub>0</sub>	(Konstante)	0.597	0.057		10.513	< .001
H <sub>1</sub>	(Konstante)	0.593	0.101		5.905	< .001
	Geschlecht (m)	0.187	0.106		1.764	0.090
	Intervention (ML)	-0.179	0.106		-1.695	0.103

<sup>a</sup> Standardisierte Koeffizienten können nur für kontinuierliche Prädiktoren berechnet werden.

Tabelle 21: Lineare Regressionsanalyse zwischen dem Geschlecht der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 6 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch  $VAS [(6.pop)-(Tag\ der\ Operation)]/(Tag\ der\ Operation)$ . LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP=Operation.

### 4.6 Patienten/Patientinnen mit längerer Verweildauer im Krankenhaus

Am Ende der Studie standen am Tag 7 nach der Operation noch 8 Patienten aus der Gruppe der manuellen Lymphdrainage und 6 Patienten aus der Gruppe der LymphaTouch® für Messungen im Krankenhaus zur Verfügung. Bei diesen Patienten wurde kein Unterschied bei den Patientenmerkmalen, einschließlich BMI und Alter, im Vergleich zu den anderen Patienten/Patientinnen festgestellt (Abbildung 23).

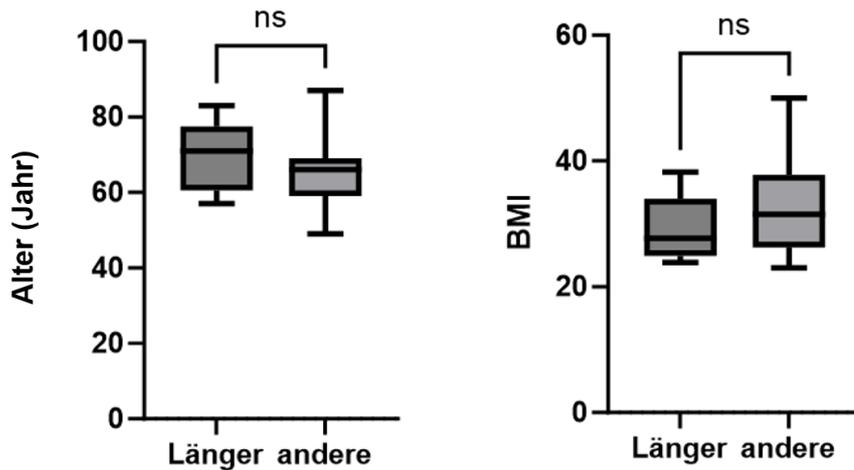


Abbildung 15: Patientenmerkmale Alter und BMI der Patienten/Patientinnen, die mehr als 7 Tage im Krankenhaus blieben (Längere), im Vergleich zu den anderen. Statistische Signifikanz durch Mann Whitney U Test. BMI=Body Mass Index.

Außerdem blieben die Kniestreckung, die -beugung und die Schmerzmessung mittels VAS bei diesen Patienten/Patientinnen im Vergleich zu anderen Werten vor der Operation ähnlich. Auch die Veränderungen dieser Parameter am Tag der Operation im Vergleich zu dem Tag davor blieben ähnlich. Der Mann Whitney U Test ergab keine statistische Signifikanz ( $p \geq 0,05$ ), wie in Abbildung 24 dargestellt.

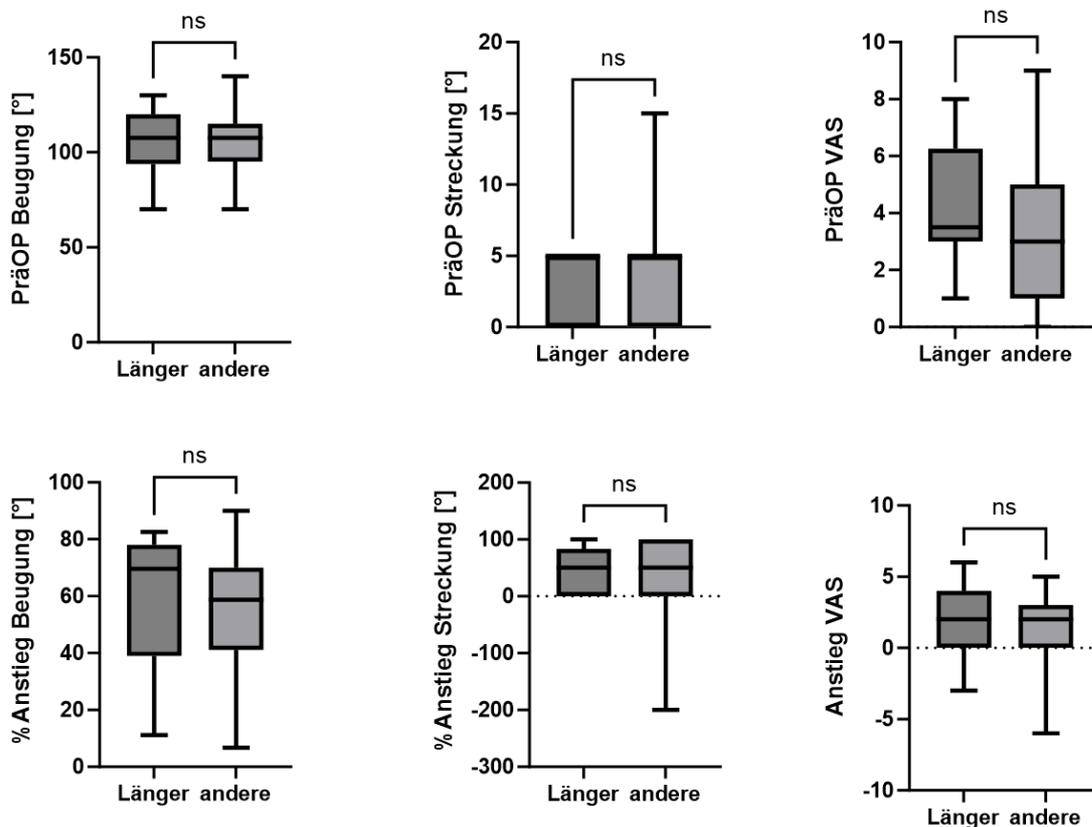


Abbildung 16: Kniebeugung, -flexion und -schmerz vor der OP und Veränderungen am Tag der OP im Vergleich zur Zeit vor der OP bei Patienten, die mehr als 7 Tage (länger) im Krankenhaus blieben, im Vergleich zu den anderen. Statistische Signifikanz durch Mann Whitney U-Test. ns=nicht Signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

Ein direkter Vergleich des Kniebeuge- und Reflexionsgrads und der VAS über die Tage nach der Operation ist in Abbildung 25 dargestellt. Die Analyse der einzelnen Zeitpunkte mittels unabhängiger t-Tests zwischen den beiden Therapien ergab keine statistische Signifikanz für die Kniebeugung und -flexion. Allerdings war die VAS bei Patienten/Patientinnen, die eine LympaTouch® erhielten, im Vergleich zur manuellen Lymphdrainage signifikant reduziert (Abbildung 25). Die Fähigkeit zur Knie-Streckung war in den Tagen nach der Operation in beiden Studiengruppen reduziert, auch wenn die LympaTouch®-Gruppe etwas bessere Ergebnisse zeigte (nicht statistisch signifikant  $p \geq 0,05$ ) (Abbildung 25).

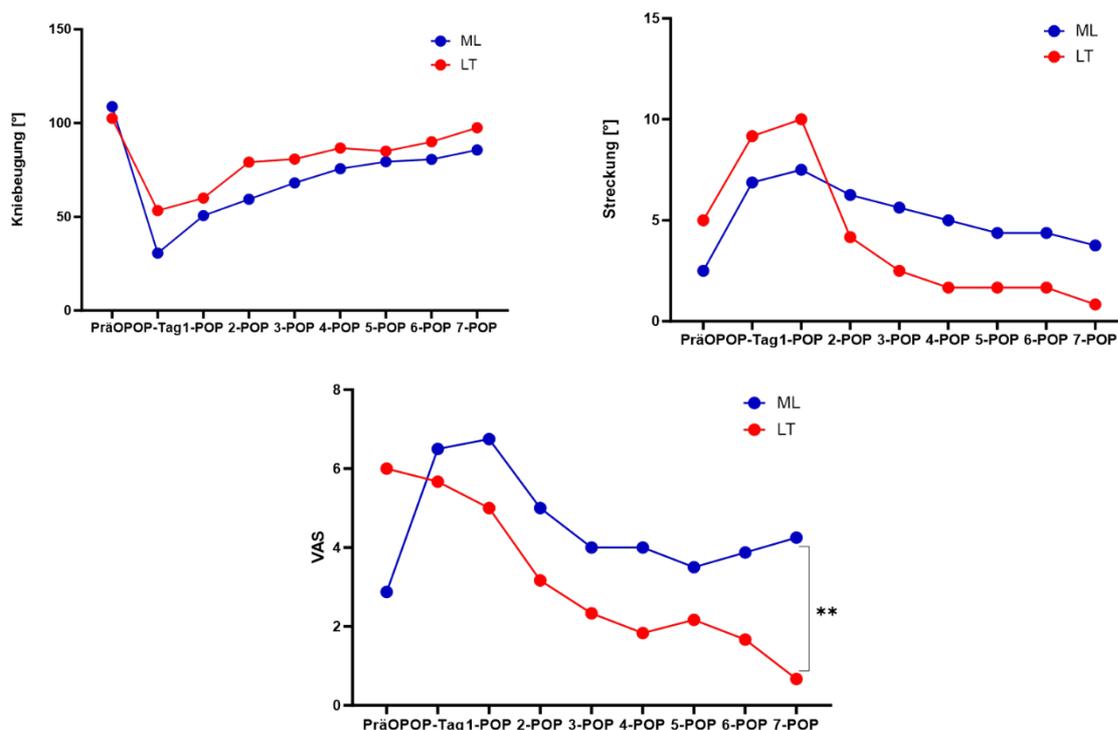
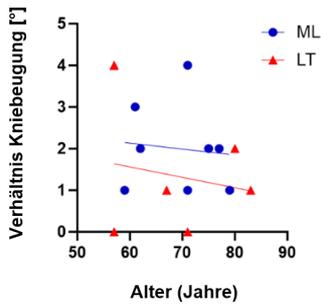
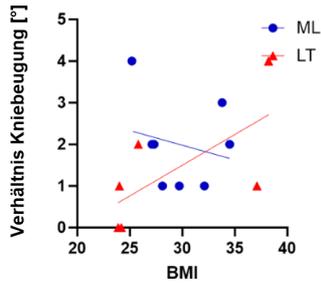


Abbildung 17: Der Grad der Kniebeugung, die Kniegelenkextension und die VAS wurden für jeden Tag zwischen den beiden Interventionen anhand von zweifaktorielle ANOVA für unabhängige Stichproben verglichen. Die Daten werden als Mittelwerte dargestellt. \* $p < 0,05$ . ns=statistisch nicht signifikant ( $p \geq 0,05$ ) nicht gezeigt. LT = LympaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. VAS = Visuelle Analogskala

Die lineare Regressionsanalyse zeigte keine Korrelation zwischen BMI, Alter (Jahre) oder Geschlecht der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der Kniebeugung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation), wie in Abbildung 26 dargestellt.



### Lineare Regression

Modell-Zusammenfassung - Verhältnis\_Streckung

Modell	R	R <sup>2</sup>	Korrigiertes R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	1.267
H <sub>1</sub>	0.347	0.120	-0.040	1.292

### ANOVA

Modell		Quadratsumme	df	Mittlere Quadratsumme	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	2.504	2	1.252	0.750	0.495
	Residuum	18.353	11	1.668		
	Gesamt	20.857	13			

Hinweis: Das konstante Modell wurde ausgelassen, da keine bedeutsame Information angezeigt werden kann.

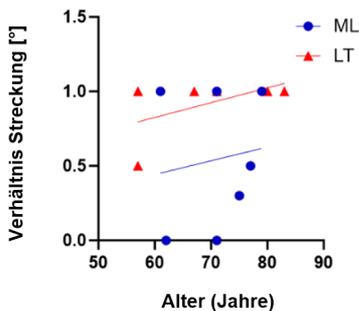
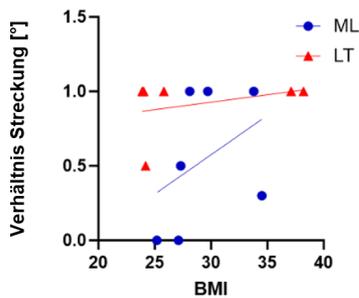
### Koeffizienten

Modell		Unstandardisiert	Standardfehler	Standardisiert <sup>a</sup>	t	p
H <sub>0</sub>	(Konstante)	1.714	0.339		5.064	< .001
H <sub>1</sub>	(Konstante)	0.941	0.735		1.281	0.227
	Geschlecht (m)	0.588	0.767		0.767	0.459
	Gruppe (ML)	0.912	0.767		1.188	0.260

<sup>a</sup> Standardisierte Koeffizienten können nur für kontinuierliche Prädiktoren berechnet werden.

Abbildung 18: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI oder Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniebeugung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch  $\text{Kniebeugung} [(7.\text{pop}) - (\text{Tag der Operation})] / (\text{Tag der Operation})$ . BMI=Body Mass Index. LT = LympaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation. ns=nicht Signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

Die lineare Regressionsanalyse zeigte keine Korrelation zwischen BMI oder Alter (Jahre) der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der Kniestreckung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation), wie in Abbildung 27 dargestellt.



### Lineare Regression

Modell-Zusammenfassung - Verhältnis Streckung

Modell	R	R <sup>2</sup>	Korrigiertes R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.402
H <sub>1</sub>	0.493	0.243	0.092	0.383

### ANOVA

Modell		Quadratsumme	df	Mittlere Quadratsumme	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.471	2	0.236	1.609	0.248
	Residuum	1.465	10	0.147		
	Gesamt	1.937	12			

Hinweis: Das konstante Modell wurde ausgelassen, da keine bedeutsame Information angezeigt werden kann.

### Koeffizienten

Modell		Unstandardisiert	Standardfehler	Standardisiert <sup>a</sup>	t	p
H <sub>0</sub>	(Konstante)	0.715	0.111		6.420	< .001
H <sub>1</sub>	(Konstante)	0.980	0.233		4.213	0.002
	Geschlecht (m)	-0.096	0.259		-0.370	0.719
	Gruppe (ML)	-0.424	0.252		-1.679	0.124

<sup>a</sup> Standardisierte Koeffizienten können nur für kontinuierliche Prädiktoren berechnet werden.

Abbildung 19: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI oder Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniestreckung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch Kniestreckung  $[(7.\text{pop})-(\text{Tag der Operation})]/(\text{Tag der Operation})$ . BMI=Body Mass Index. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation. ns=nicht Signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

Die lineare Regressionsanalyse zeigte, dass die VAS nach 7 Tagen nach OP nicht mit dem Alter (Jahre) oder dem Geschlecht der Patienten/Patientinnen korrelierte (Abbildung 28). Bei Patienten/Patientinnen in der Gruppe mit manueller Lymphdrainage wurde jedoch eine niedrigere VAS bei Patienten/Patientinnen mit einem niedrigeren BMI erzielt. Bei den Patienten/Patientinnen, die eine LymphaTouch® erhielten, wurde keine Korrelation zwischen der VAS nach sieben Tagen postoperativ und dem BMI festgestellt (Abbildung 29).

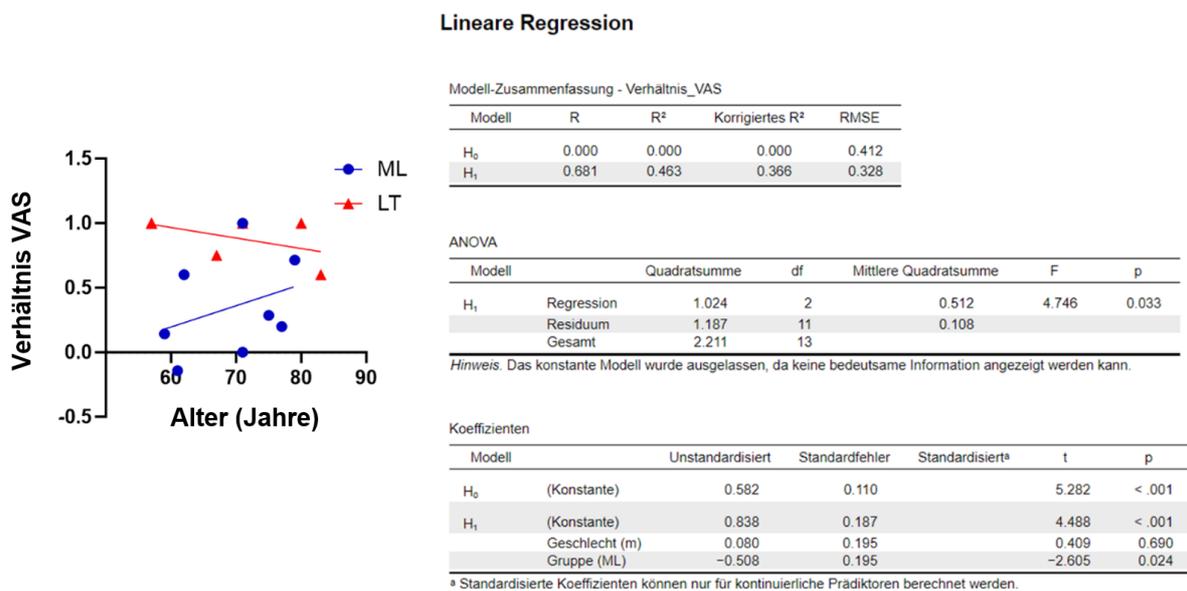
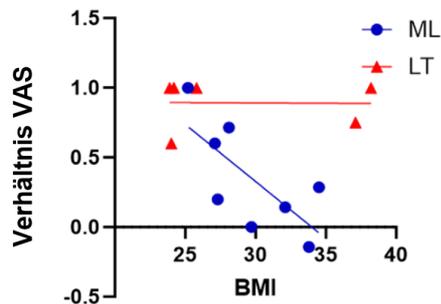


Abbildung 20: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniestreckung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch VAS  $[(7.\text{pop})-(\text{Tag der Operation})]/(\text{Tag der Operation})$ . LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation. ns=nicht Signifikant ( $p \geq 0,05$ ).



Simple linear regression Tabular results	A	B
	ML	LT
<b>95% Confidence Intervals</b>		
Slope	-0.1612 to -0.002514	-0.03583 to 0.03488
Y-intercept	0.4113 to 5.155	-0.1387 to 1.950
X-intercept	30.76 to 170.1	52.97 to +infinity
<b>Goodness of Fit</b>		
R squared	0.5151	0.0003497
Sy.x	0.2917	0.1950
<b>Is slope significantly non-zero?</b>		
F	6.373	0.001399
DFn, DFd	1, 6	1, 4
P value	0.0450	0.9720
Deviation from zero?	Significant	Not Significant
<b>Equation</b>	Y = -0.08185*X + 2.783	Y = -0.0004763*X + 0.9054

Abbildung 21: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation). Verhältnis bestimmt durch  $VAS [(7.pop)-(Tag\ der\ Operation)]/(Tag\ der\ Operation)$ . BMI=Body Mass Index. LT = LymphaTouch®. ML = Manuelle Lymphdrainage. OP = Operation. ns=nicht Signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

#### 4.7 Liegezeit

Es wurde untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied in der Liegedauer zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe gab, wobei die Patienten beider Gruppen mindestens bis zum 5. postoperativen Tag im Krankenhaus blieben.

Die Patienten hatten eine durchschnittliche Krankenhausaufenthaltszeit von 6,25 Tagen (Mittelwert 6,25 Tage +/- 1,7 in der Kontrollgruppe gegenüber einem Mittelwert von 6,25 Tagen +/- 1,5 in der Interventionsgruppe ( $p > 0,05$ )). Die Liegezeit unterschied sich nicht signifikant ( $p = 0,86$  mit  $z = -0,17$ ).

## 5. Diskussion

### 5.1 Forschungsfrage

In vorliegender Arbeit sollte untersucht werden, welche Wirksamkeit der apparativen Lymphdrainage mittels LymphaTouch® im Vergleich zur manuellen Lymphdrainage bei 50 Patienten/Patientinnen nach einer Knie-TEP-Implantation angenommen werden kann.

Keine signifikanten Unterschiede bei der ANOVA mit Messwiederholung und post-hoc Vergleich mit Bonferroni-Korrektur zeigte sich bei der Beugung.

Wohingegen sich folgende signifikante Unterschiede zeigten:

Streckung:

- Signifikante Besserung der Streckung bei Lympha-Touch® ab dem 2. postoperativen Tag
- Signifikante Besserung der Streckung bei der manuellen Lymphdrainage ab dem 4. postoperativen Tag

Schmerzen:

- Signifikante Besserung der Schmerzen bei Lympha-Touch® ab dem 2. postoperativen Tag
- Signifikante Besserung der Schmerzen bei der manuellen Lymphdrainage ab dem 5. postoperativen Tag

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Unterdrucktherapie im Vergleich zur manuellen Lymphdrainage eine höhere Wirksamkeit in Bezug auf die Streckfähigkeit aufweist und mit einer geringeren Schmerzbelastung für die Patienten/Patientinnen verbunden ist.

Kein signifikanter Unterschied zeigte sich bezüglich der Zirkumferenz am Vorfußballen, Kahnbein, Sprunggelenk und Kniegelenk, womit die Unterdrucktherapie hinsichtlich des Schwellungsgrades der manuellen Lymphdrainage vergleichbar war. Ebenso unterschieden sich beide Gruppen nicht hinsichtlich der Liegezeit. In keiner der statistischen Analysen beeinflussten das Alter und Geschlecht die Ergebnisse.

## 5.2 Limitation

Die Ergebnisse werden durch bestehende Limitationen beeinflusst, die bei der Interpretation berücksichtigt werden müssen. Eine zentrale Limitation ergab sich aus der Fallzahl von  $n = 50$ . Diese war für eine Dissertation bzw. eine randomisierte, kontrollierte Studie zwar angemessen, zumal die Fallzahl vorab durch eine Poweranalyse bestimmt wurde. Sie ist aber zu gering, um die Ergebnisse für alle Patienten/Patientinnen, die von einer Knie-Totalendoprothese betroffen sind und sich potenziell peri- und postoperativ für eine Unterdrucktherapie eignen, zu generalisieren.

Eine weitere Limitation ergab sich aus der unzureichenden Standardisierung: Bisher bestehen keine Behandlungsalgorithmen für die Unterdrucktherapie nach Knieendoprothetik. Zwar wurde vorab sowohl für die Interventions- als auch für die Kontrollgruppe die Reihenfolge der Behandlungsschritte pro Tag und das genaue Procedere festgelegt, unklar bleibt, inwiefern diese vollumfänglich eingehalten wurden bzw. werden konnten. An der postoperativen Betreuung der Patienten/Patientinnen waren unterschiedliche Berufsgruppen beteiligt (u.a. Ärzte/ Ärztinnen, Pflegende, Physiotherapeuten/ Physiotherapeutinnen) mit unterschiedlicher Erfahrung in den angewendeten Verfahren.

So stellt auch die Umfangsmessung durch ein handelsübliches Maßband eine Limitation dar. Die Anwendung eines Maßbandes zur Messung von Umfängen stellt eine etablierte und weit verbreitete Methode zur Bewertung postoperativer Schwellungen nach einem chirurgischen Eingriff am Knie dar. Diese Methode wird aufgrund ihrer Einfachheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit häufig eingesetzt und hat sich als sicher und effektiv erwiesen. Dennoch gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Genauigkeit und Objektivität, die mit dieser traditionellen Messmethode verbunden sind. Insbesondere kann die manuelle Messung mit einem Maßband zu Ungenauigkeiten führen, die durch subjektive Einschätzungen des Bedieners, variierende Druckintensitäten und Messpositionen verursacht werden können [25].

In diesem Zusammenhang gewinnen neuere Methoden zur Messung postoperativer Schwellungen, wie die dreidimensionale Vermessung der unteren Extremitäten mittels Laserscanner, zunehmend an Bedeutung. Diese fortschrittliche Technologie ermöglicht eine präzise und objektive Erfassung von Umfangsveränderungen ohne den Einfluss menschlicher Fehler oder Interpretationen. Durch die Verwendung von Laserscannern können detaillierte und genaue Messungen durchgeführt werden, die eine umfassendere Bewertung des postoperativen Heilungsverlaufs ermöglichen [96].

Festzuhalten ist ferner, dass in vorliegender Studie die Beobachtungszeit am 7. postoperativen Tag endete, weswegen keine Langzeiteffekte abgeleitet werden können. Die Limitationen schmälern nicht den prädiktiven Wert der generierten Ergebnisse, verweisen aber auf die

Notwendigkeit, dass versucht werden sollte, die Ergebnisse in Studienkollektiven mit größerer Kohortenzahl zu reproduzieren.

Die Entstehung und Entwicklung von Ödemen, insbesondere im postoperativen Kontext, ist ein komplexer Prozess, der durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Daher stellt dies einen weiteren limitierenden Faktor dar.

Vor dem operativen Eingriff können bereits bestehende Ödeme den postoperativen Verlauf beeinflussen. Patienten mit präexistenten Ödemen könnten anfälliger für eine verstärkte postoperative Schwellung sein. Die Ursachen dieser vorbestehenden Ödeme können vielfältig sein und reichen von lokalen Entzündungen bis hin zu systemischen Erkrankungen. Krankheitszustände wie Nieren- und Lebererkrankungen sowie kardiale Insuffizienz beeinflussen den Wasserhaushalt im Körper und können somit die Ausprägung von Ödemen postoperativ begünstigen. Auch angeborene Anomalien des Lymphsystems können die Flüssigkeitsansammlung postoperativ im Gewebe verstärken [97].

Darüber hinaus können bestimmte Medikamente, wie Diuretika oder Glukokortikoide, die Ödembildung verändern und die Dauer oder Schwere der postoperativen Schwellung beeinflussen [98].

Umweltfaktoren wie Umgebungstemperatur oder lokale Kälteanwendung könnten ebenfalls eine Rolle spielen, indem sie die Gefäßpermeabilität beeinflussen und somit die Entwicklung von postoperativen Ödemen verändern [99].

Physiologische Mechanismen wie die Hochlagerung der Beine und die vermehrte Bewegung spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Regulation des Flüssigkeitshaushalts im Körper und können dazu beitragen, venöse Stauungen und Schwellungen zu reduzieren [100].

Sowohl die präexistenten physischen Verfassungen der Patienten vor der OP, systemischen Erkrankungen, genetischen Anomalien, Medikamenteneinflüsse, Lagerung, Bewegung und Umweltfaktoren können die Entwicklung der postoperativen Ödeme beeinflussen und einen Heilungsprozess verlängern. Diese Einflussgrößen wurden in der Studie nicht untersucht. Obwohl zahlreiche Studien die positive Wirkung sowohl der manuellen Lymphdrainage als auch der apparativen Therapie mit LymphaTouch® zur Reduzierung postoperativer Schwellungen beschrieben haben, sollte beachtet werden, dass dieses Ergebnis möglicherweise nicht allein diesen Therapien zugeschrieben werden kann. Es besteht die Möglichkeit, dass auch die oben beschriebenen Faktoren Einfluss auf den Verlauf der postoperativen Schwellungen hatten.

## 5.3 Einordnung in den Forschungsstand

### 5.3.1. Patienten-/Patientinnendaten

In dieser randomisierten kontrollierten Studie wird bei 50 Patienten die Wirksamkeit zweier unterschiedlicher Lymphdrainage-Methoden untersucht, die ab dem ersten postoperativen Tag nach einer Knieendoprothesen Implantation angewendet werden: die manuelle Lymphdrainage sowie eine neuartige apparative Lymphdrainage mittels LymphaTouch®. Obwohl bereits Studien zur Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage bei postoperativem Lymphödem existieren, wurde die Anwendung und Wirkung von Unterdrucktherapien nach einer Knieendoprothesen-Implantation bisher nur wenig wissenschaftlich erforscht.

Ausgehend von den Daten des statistischen Bundesamtes wurden im Jahr 2021 172.000 Knieendoprothesen implantiert. Die operative Versorgung des arthrotischen Kniegelenkes erfolgte in der Regeln nach dem 50. Lebensjahr und nimmt im Alter zu. Während im Jahr 2021 bei den 50–55-jährigen Patienten 10523 Implantationen erfolgten, lag die Zahl bei den 60-65-jährigen bereits bei 28076 und kulminiert bei den 70-75-jährigen bei 28784 [101].

In der vorliegenden Studie lag das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt in der Kontrollgruppe bei 66,6 (SD ± 6,43) Jahren und in der Interventionsgruppe bei 67,5 (SD ± 5,72) Jahren.

In der Arbeit von Maloney, Schurman et al. lag das präoperative durchschnittliche Patienten-/Patientinnenalter bei 65,4 Jahren und deckte sich mit den Veröffentlichungen von Christian Josephs, der in seinem Patienten-/Patientinnenkollektiv ein Durchschnittsalter von 68,9 Jahren ermittelte [102, 103].

Harmelink, Zeegers et al. konnte in der Untersuchung von 18 veröffentlichten Studien keinen Zusammenhang zwischen dem Alter und das Ergebnis des Knie-Totalendoprothesen beim Outcome nachweisen [104].

Im Jahr 2008 führten Santaguida, Hawker et al. eine Metaanalyse durch, welche zeigte, dass ältere Patienten schlechtere Ergebnisse nach einer Operation aufweisen und jüngere Patienten einen besseren postoperativen Verlauf haben. Allerdings wurde in der Metaanalyse nicht präzisiert, was genau als jünger gilt [105].

In unserer Studie war das Durchschnittsalter beider Gruppen und Geschlechter vergleichbar und ein repräsentatives Patientenkollektiv mit einem Durchschnittsalter von 67,05 (SD ± 8,73) Jahren für Knieendoprothesen-Implantationen.

Allerdings konnte beobachtet werden, dass das Alter der verbliebenen Patienten von 68,4 (SD ± 9,3) Jahre am 6. postoperativen Tag auf 69,3 (SD ± 8,9) Jahre am 7. postoperativen Tag

anstieg. Für alle Patienten war der postoperative Verlauf jedoch unabhängig vom Alter komplikationslos.

### **5.3.2. BMI**

Im untersuchten Patientenkollektiv lag der mittlere BMI bei 31,7 kg/m<sup>2</sup> (SD ± 6,68), wobei es in der Kontroll- und Interventionsgruppe keinen signifikanten Unterschied gab. Dieser Wert entspricht laut WHO einer Adipositas Grad I. Bei einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup> steigt das Risiko an einer Arthrose zu erkranken auf 60,5% [106].

In einer Studie der GEDA aus dem Jahr 2020/21 konnte gezeigt werden, dass Übergewicht und Adipositas mit erhöhten Arthroserisiko assoziiert ist. Die Gonarthrose ist die häufigste Ursache für die Implantation einer Knieendoprothese [107].

Auch in unserem Patientenkollektiv konnten wir bei allen Patienten eine Gonarthrose als Vorerkrankung nachweisen.

Es gibt einige Studien, die einen erhöhten BMI als Nachteil für das Outcome nach Knieendoprothesen Operationen sehen.

Giori et al. berichteten, dass bei einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup> ein zusätzlich erhöhtes Risiko für Infektionen und Re-Operationen besteht [108].

Die Meta-Analyse von Olsen und Falch-Lindberg in 2022 ergab eine Korrelation zwischen einem höheren präoperativen BMI sowie dem Schweregrad der Arthrose und einer schlechteren körperlichen Funktion nach Knie-TEP [109].

Die Untersuchung von Wang et al. mittels einer Metaanalyse kam zu dem Ergebnis, dass ein erhöhter Body-Mass-Index eine ungünstige Auswirkung auf die Erholung nach einer Operation hat. Dies führt zu einem höheren Risiko für Komplikationen während der Genesungszeit [110].

Der postoperative Verlauf gestaltete sich in unserer Studie unabhängig vom Gewicht komplikationslos. Obwohl statistisch nicht signifikant, gibt es jedoch einen Trend, dass in der Gruppe der manuellen Lymphdrainage eine höhere VAS bei Patienten/Patientinnen mit einem höheren BMI erzielt wurde, während in der LymphaTouch®-Gruppe kein solcher Trend festgestellt wurde. Dies könnte darauf hindeuten, dass die manuelle Lymphdrainage bei Menschen mit erhöhten BMI möglicherweise nicht wirksam ist, während sich LymphaTouch® bei allen Patienten als wirksam erweist.

Ob die Mobilitätseinschränkung dieser Patienten/Patientinnen eine Einschränkung für die Rehabilitation darstellt und ein beeinflussender Faktor für ein zufriedenstellendes Langzeitergebnis sein könnte, wurde in dieser Studie nicht untersucht.

### 5.3.3. Schmerzen

Die Patienten/Patientinnen in beiden Gruppen wurden in dieser Studie nach jeder Behandlung hinsichtlich ihres Schmerzempfindens mithilfe der VAS-Skala befragt. Diese Skala umfasst eine Länge von 10 cm, wobei 0 cm für das geringste und 10 cm für das höchste Schmerzniveau steht. Der/die Patient/Patientin muss seinen aktuellen Schmerzwert auf der Skala eigenständig eintragen, sofern er keine motorischen oder visuellen Beeinträchtigungen aufweist [111]. Die Eigenständigkeit der Patienten/Patientinnen war in unserer Untersuchung gegeben.

Die Skala wurde bereits 1989 von Boeckstyns und Backer zur Schmerzbewertung eingesetzt, und ist nachweislich aussagekräftiger als Fragebögen [112]. Obwohl das individuelle Schmerzerleben immer subjektiv ist und nicht objektiv bestimmt werden kann, sind Schmerzen für Patienten/Patientinnen oft mit einem hohen Leidensdruck verbunden [113].

Wie intensiv der postoperative Knieschmerz von den Patienten beurteilt wird, zeigt eine Studie von O'Brien und Bennet, die 2009 Patienten nach einer Knie-Totalendoprothese oder Hüft-Totalendoprothese hinsichtlich ihrer Schmerzen und Funktion verglichen haben. Patienten mit Knie-Totalendoprothese hatten im frühen und mittleren postoperativen Zeitraum signifikant stärkere Schmerzen und eine schlechtere Funktion als Patienten mit Hüftgelenksersatz [114].

In der vorliegenden Studie erhielten beide Patientengruppen eine Schmerzbehandlung nach dem modifizierten WHO Schema, das eine Basismedikation aus Metamizol (2000 mg pro Tag) und Ibuprofen (1800 mg pro Tag) sowie ein Retardmorphin (maximal 60 mg pro Tag) als Bedarfsmedikament beinhaltet [115].

In einer Studie von Garimella und Cellini 2013 wurde die Wirksamkeit der Schmerzlinderung nach einer Operation untersucht. Die Untersuchung zeigte, dass eine sorgfältige Überwachung der Schmerzlinderung in der postoperativen Versorgung eine große Bedeutung für ein gutes Outcome hat und physiologische Vorteile mit sich bringt. Deshalb sollte die Schmerzintensität in gleicher Weise wie die Reduktion der Schwellung und die Steigerung der Kniebeugung als wichtiges Qualitätskriterium für das Outcome erachtet werden [116].

Es wird diskutiert, dass auch die manuelle Lymphdrainage durch die Stimulation von Mechanorezeptoren die Weiterleitung von Schmerzsignalen hemmen und zu einer Verringerung von Schmerzen und einer verbesserten Beweglichkeit führen kann. Durch die Entfernung von überschüssiger Flüssigkeit im Gewebe wird die Säure-Basen-Balance im Interstitium wiederhergestellt, was zu einer weiteren Linderung von Schmerzen führt [2].

In der vorliegenden Studie wurden die Schmerzen der Patienten/Patientinnen vom präoperativen Tag bis zum 7. postoperativen Tag in der Kontroll- und Interventionsgruppe

verglichen. Beide Gruppen wiesen präoperativ und am Operationstag eine ähnliche Schmerzintensität auf und bewerteten im weiteren Verlauf die Intensität der postoperativen Schmerzen in den Gruppen jedoch unterschiedlich.

Am Tag der Operation hatte in unserer Studie die Interventionsgruppe im Durchschnitt eine Schmerzintensität von 4,96 (SD +/- 1,74), die bis zum 5. postoperativen Tag auf 1,86 (SD ± 1,68) sank.

Im Gegensatz dazu hatte die Kontrollgruppe am Tag der Operation eine durchschnittliche Schmerzintensität von 4,88 (SD ± 2,54) die bis zum 5. postoperativen Tag nach der Operation bei der manuellen Lymphdrainage auf 3,3 (SD ± 1,92) sank.

Die Interventionsgruppe, die eine Behandlung mit der apparativen Lymphdrainage erhielt, beurteilten die Schmerzreduktion im Vergleich zum Operationstag ab dem 2. postoperativen Tag signifikant ( $p < 0,05$ ) besser, während die Signifikanz in der Kontrollgruppe erst am 5. postoperativen Tag beobachtet wurde.

In der wissenschaftlichen Literatur besteht Uneinigkeit darüber, ob die postoperative Anwendung der manuellen Lymphdrainage einen Effekt auf die Schmerzreduktion haben kann.

In einer Untersuchung konnte Pichonnaz nachweisen, dass die Anwendung der manuellen Lymphdrainage im Vergleich zur Placebogruppe zu einer statistisch signifikanten Reduktion der mit der visuellen Analogskala ermittelten Schmerzwerte führte [117].

Im Jahr 2020 führte Fujiura eine Untersuchung mit 41 Patienten durch, die eine Knieendoprothese erhalten hatten. Eine Gruppe erhielt nach der Operation eine manuelle Lymphdrainage, während die andere Gruppe keiner Behandlung unterzogen wurde. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die manuelle Lymphdrainage bis zu 10 Tagen nach der Knie-Totalendoprothese keinen Einfluss auf Schmerzen hatte. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in einer Studie von van de Velde beobachtet, in der es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe, die eine Behandlung mit manueller Lymphdrainage erhielt und der Kontrollgruppe ohne Entstauungstherapie gab [118].

Verschiedene Studien, haben über eine Schmerzreduktion unter der Anwendung von LymphaTouch® bei unterschiedlichen Indikationen berichtet.

Eine 2019 veröffentlichte Studie untersuchte die Auswirkungen der LymphaTouch®-Behandlung bei Rückenschmerzen und verglich sie mit einer Placebo-Behandlung. Die Schmerzintensität war in den beiden Gruppen zu Beginn vergleichbar, jedoch zeigte sich in der LymphaTouch®-Gruppe eine signifikante stärkere Abnahme der Schmerzintensität und eine Verbesserung der Rumpfbeugung gegenüber dem Ausgangswert [50].

In einer weiteren Studie im Jahr 2014 wurden 202 Patienten mittels LymphaTouch® an den oberen Extremitäten therapiert, wobei auch hier eine statistisch signifikante Reduktion der Schmerzen um 30 % festgestellt wurde [55].

Airaksinen konnte ähnliche Beobachtungen in einer Untersuchung an Patienten machen, die physiotherapeutisch wegen Lymphödemen behandelt wurden. Dabei stellte sich heraus, dass eine Anwendungsdauer von nur 20 Minuten mit LymphaTouch® ausreichte, um eine Schmerzreduktion von bis zu 50 % zu erreichen [54].

Dass die Anwendung von LymphaTouch® nach einer Operation signifikante Vorteile bei der Schmerzreduktion bietet, konnte in unserer vorliegenden Untersuchung sowie in weiteren Studien bestätigt werden. Insgesamt legen diese Befunde nahe, dass die apparative Lymphdrainage einen signifikanten Einfluss auf das Schmerzniveau nach der Operation haben kann und somit bei der postoperativen Schmerztherapie berücksichtigt werden sollte. Es ist die Aufgabe zukünftiger Untersuchungen, die genauen Gründe zu erforschen.

Die Wirksamkeit von Schmerzmedikamenten und die Schwere des postoperativen Schmerzempfindens werden jedoch auch von anderen Faktoren wie Resilienz, der allgemeinen Lebenssituation, der Psyche, der Dauer der Schmerzen und der individuellen Schmerztoleranz des Patienten beeinflusst [119-123].

Somit könnte sich aber auch die Erwartungshaltung der Patienten, dass die Behandlung durch eine apparative Lymphdrainage wirksamer erscheint, günstig auf Schmerz und Psyche auswirken.

Insgesamt sollte die Behandlung von postoperativem Schmerz ganzheitlich sein und sowohl die psychologischen als auch den medizinischen Aspekt einschließen, um eine schnelle Genesung und eine Verbesserung der Lebensqualität des Patienten zu erreichen.

#### **5.3.4. Schwellung**

Die postoperative Weichteilschwellung, ausgelöst durch Blutungen, Gewebeentzündungen und Schädigung der Lymphgefäße gilt in der Knieendoprothetik als wesentliche Einflussgröße auf das postoperative Ergebnis [124, 125].

Durch die perioperative Schädigung der Lymphgefäße ist die lymphatische Last größer als die mögliche Transportkapazität des lymphatischen Systems. Die Schwellung des Kniegelenkes in der operierten Extremität beeinflusst die postoperative Mobilisation, die Schmerzen und die

Funktionsfähigkeit des betroffenen Kniegelenkes. Ödeme gelten mit einer Prävalenz von über 90 % als häufigste Komplikation nach Implantation einer Knieendoprothese [126].

Um den Erfolg von Maßnahmen zur Reduzierung von Ödemen zu überprüfen, bietet sich die Messung von standardisierten Punkten an der betroffenen Extremität an. Herpertz betont, dass gerade bei einseitigen Ödemen die Messung des Umfangs der Extremitäten eine sichere Methode ist, um den Zustand des Ödems bzw. den Erfolg einer komplexen physikalischen Entstauungstherapie zu beurteilen. Diese standardisierten Punkte dienen als Referenzpunkte und ermöglichen eine genaue und vergleichbare Messung. Es ist empfehlenswert, dass die Messung immer von derselben Person durchgeführt wird, um sicherzustellen, dass die Zugkräfte bei jeder Messung konstant bleiben. Auf diese Weise können die Therapeuten den Fortschritt bei der Behandlung der Patienten verfolgen und die Wirksamkeit der entstauenden Maßnahmen beurteilen [127].

In der vorliegenden Studie wurde zur Reduktion der Schwellung an der operierten Extremität der Einfluss der postoperativen manuellen und apparativen Lymphdrainage untersucht.

In beiden Gruppen trat postoperativ eine vergleichbare Schwellung in der operierten Extremität auf. Das Maximum der Schwellung lag im Bereich des Kniegelenks in der Kontrollgruppe am 3. Tag bei MW = 44,38 (SD ± 3,13) und in der Interventionsgruppe am 2. Tag bei MW = 45,02 (SD ± 3,71). Nach der Operation blieben die Werte jedoch bei beiden Gruppen ähnlich. Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Methoden festgestellt.

Am 7. Tag nach der Operation näherte sich die Zirkumferenz des Beins in der Interventionsgruppe nahezu dem präoperativen Wert sowohl auf Höhe des Sprunggelenks als auch 15 cm unterhalb des Kniegelenks. Diese verbesserte Reduktion der Schwellung zeigte sich auch am 7. Tag postoperativ bei den verbleibenden Patienten/Patientinnen in der Interventionsgruppe an der Messstelle am Oberschenkel und 10 cm oberhalb des Kniegelenks. Die Werte waren zu keinem Zeitpunkt statistisch signifikant.

Die oben genannten Werte zeigen, dass die Methoden zur Behandlung der postoperativen Schwellung vergleichbar sind.

Es gibt einige Studien zur Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage bei postoperativen Lymphödemen. Die meisten Studien konzentrieren sich auf Schwellungen, die infolge von Lymphadenektomie nach Brustkrebsoperationen auftraten.

In einer Studie mit 67 Frauen konnte Zimmermann et al. in einer Nachuntersuchung nach 6 Monaten zeigen, dass eine frühzeitige Anwendung der manuellen Lymphdrainage nach Mastektomie zu einer signifikanten Abnahme des Armvolumens auf der operierten Seite führte. Dieser Effekt trat unabhängig von der Radikalität des Eingriffes auf [128].

Mehrere Studien mit hoher Evidenzlage haben ähnliche positive Ergebnisse hinsichtlich der Abnahme von Lymphödemen durch manuelle Lymphdrainage nach Mastektomien gezeigt [129, 130].

In einer Studie von 2020 konnte auch eine positive Wirkung von LymphaTouch® bei der Behandlung von Lymphödemen nach Mastektomie nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich die apparative Behandlung der manuellen Lymphdrainage in der Verbesserung der Umfänge signifikant überlegen [131].

Auch die Studie von Vuorinen et al. zeigte, dass durch die Behandlung mit LymphaTouch® nach Mastektomie signifikante Verbesserungen sowohl bei objektiven als auch subjektiven Messungen im Vergleich zur manuellen Therapie festgestellt werden konnten. Der Umfang der betroffenen Extremitäten wurde reduziert, die Lebensqualität der Patienten verbesserte sich signifikant und die körperlichen Einschränkungen wurden um 30% verringert [132].

LymphaTouch® wurde auch in einer Studie in dem Jahr 2019 als Behandlungsmethode bei Lymphödempatienten untersucht. Eine Gruppe erhielt ausschließlich eine komplexe physikalische Entstauungstherapie, während die Interventionsgruppe eine zusätzliche Therapie mit LymphaTouch® bekam. Die Patienten, die mit der apparativen Lymphdrainage behandelt wurden, berichteten von einer signifikant größeren Verbesserung ihrer Symptome im Vergleich zur Gruppe, die nur die komplexe physikalische Entstauungstherapie erhielt. Die Studie belegt, dass LymphaTouch® eine wirksame ergänzende Behandlungsmethode zur komplexen physikalischen Entstauungstherapie bei der Behandlung von Lymphödemen darstellt [133].

Vuorinen und Airaksinen sahen den Vorteil von LymphaTouch® in den standardisierten Einstellungen, die es jedem Physiotherapeuten ermöglicht, ganz objektiv den Patienten täglich mit gleichem Druck und Pulsation zu behandeln [134].

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit der Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage nach Operationen an Gliedmaßen beschäftigen.

Härén konnte in einer Untersuchung aus dem Jahr 2006 die positive Wirkung der manuellen Lymphdrainage bei Patienten nach einer operativen Therapie aufgrund einer Radiusfraktur nachweisen [135].

Eine Studie von Pichonnaz et al. untersuchte die Auswirkung der manuellen Lymphdrainage nach Knie-TEP Implantation. In dieser Studie konnte keine signifikante Reduktion von Schwellungen in der unteren Extremität nachgewiesen werden. Es gab lediglich eine signifikante Reduktion von Schmerzen, die die Mobilisation der Patienten insgesamt aber verbessert [117].

Ebert et al. zeigte ebenfalls, dass die manuelle Lymphdrainage nach einer Knie-Totalendoprothese zu einer Verbesserung der Beweglichkeit im Kniegelenk führte. Dabei schien das Fehlen einer signifikanten Schwellungsabnahme in der sehr frühen postoperativen Phase bis zum vierten Tag keine Auswirkung auf die Wirkung der Behandlung zu haben. Die Wirksamkeit der postoperativen Ödemreduktion zeigte sich im Heilungsverlauf und in der Verbesserung der Beweglichkeit [136].

Durch das hohe Arbeitsaufkommen in der Klinik und der häufig wechselnden Therapeuten kann die Aufrechterhaltung der Qualität der Behandlung mittels manueller Lymphdrainage schwieriger sein. Es bleibt jedoch festzustellen, dass die Evidenzlage zur Wirksamkeit der manuellen Lymphdrainage nach operativen Eingriffen, Mastektomien ausgenommen, unzureichend ist.

Auch Beobachtungen, dass der postoperative Verlauf von anderen Faktoren wie Beinhochlagerung, Mobilisation und CPM-Schiene beeinflusst wird, konnte in beiden Gruppen durch ein vergleichbares postoperatives Procedere ausgeglichen werden.

In unserer Studie wurde bewusst auf die Anlage eines Kompressionsverbandes postoperativ verzichtet, um die Patienten in Ihrer Mobilität nicht einzuschränken.

Andere Faktoren, wie das Geschlecht können auch einen Einfluss auf die postoperativen Schwellungen nach Operationen der Extremitäten haben, denn Untersuchungen ergaben, dass Frauen ein höheres Risiko für die Entwicklung von Lymphödemen haben als Männer [55].

Unsere Studie umfasste 13 Frauen und 12 Männer in der Gruppe, die die manuelle Lymphdrainage erhielten, während die Verteilung in der LymphaTouch®-Gruppe bei 11 Frauen und 14 Männer lag. Diese Verteilung führte zu einer ausgewogenen Geschlechterverteilung in beiden Gruppen, wodurch eine repräsentative Basis für die Ergebnisse gewährleistet war.

Die manuelle Lymphdrainage ist dann besonders wirksam, wenn sie sehr früh eingesetzt wird. Der Krankheitsverlauf kann dadurch verkürzt werden [25].

### **5.3.5. Beugung und Streckung**

In der Knieendoprothetik ist das Ausmaß der Bewegung des operierten Gelenks von großer Bedeutung. Das Institut für Qualitätssicherung und Transparenz hat festgelegt, dass eine Flexion von mehr als 90° ein Kriterium für die Entlassung des Patienten sein sollte. Andere Autoren argumentieren, dass eine Grundbeweglichkeit von mehr als 95° erforderlich ist, um alltägliche Aktivitäten wie das Treppensteigen ohne Unterstützung zu bewältigen [137, 138].

In der vorliegenden Studie zeigte sich präoperativ in beiden Gruppen eine vergleichbare Bewegungsfunktion. Sie lag in der Kontrollgruppe bei 0°-4°-104° und in der Interventionsgruppe bei 0°-4°-107°. Operationsbedingt resultierte eine starke Schwellung mit postoperativer deutlicher Bewegungseinschränkung. Vom 1.-7. Tag nach Operation reduzierte sich die Schwellung der betroffenen Extremitäten in beiden Gruppen und die Flexionswerte verbesserten sich deutlich.

Die Patienten/Patientinnen wurden entlassen, wenn sie postoperativ über 90° Flexion im Kniegelenk erreicht hatten. Bereits am 6. Tag postoperativ wurde die 90° Beugefähigkeit in der LymphaTouch® Gruppe erreicht.

In der Interventionsgruppe, bei der die Lymphdrainage apparativ mit LymphaTouch® durchgeführt wurde, zeigte sich im Verlauf eine bessere Bewegungsfreiheit als bei der manuellen Lymphdrainage, war jedoch nicht statistisch signifikant. Die Fähigkeit zur Kniebeugung war 6 Tage nach der Operation im Vergleich zum Tag der OP bei Frauen in beiden Therapiegruppen etwas besser. Eine statistische Signifikanz bestand jedoch nicht.

Der mittlere Range of Motion lag am 6. Tag in der LymphaTouch®-Gruppe bei 0°-1,4°-92°, während in der Kontrollgruppe ein schlechterer Wert für die Extension und die Flexion des Kniegelenkes (0°-3°-82°) zu messen war.

Es ist zu berücksichtigen, dass zu diesem Zeitpunkt bereits einige Patienten aus der stationären Behandlung entlassen waren und nicht mehr in die Auswertung einbezogen wurden.

Nach einer Knie-OP sollte das oft schon präoperativ bestehende Streckdefizit durch Mobilisierung möglichst in der frühen postoperativen Rehabilitationsphase reduziert werden.

In der Studie wurden signifikante Unterschiede ( $p = < 0,05$ ) in der Streckung des Kniegelenks ab dem 2. postoperativen Tag in der Lympha-Touch® Gruppe festgestellt, während sich in der Gruppe der manuellen Lymphdrainage eine Signifikanz erst ab dem 4. postoperativen Tag gegenüber dem OP-Tag zeigte.

Während nach der Behandlung mit LymphaTouch® das präoperative Streckdefizit von 3,8° (SD ± 2,99) am 4. Tag postoperativ auf 2,2° (SD ± 3,25) sank, änderte sich der Wert durch die manuelle Lymphdrainage nur gering (präoperative Streckung MW = 3,88°, SD ± 4,58; 4. postoperativer Tag MW = 4,4°, SD ± 3,63).

Da LymphaTouch® eine bessere analgetische Wirkung als die manuelle Lymphdrainage in den Ergebnissen dieser Studie hatte, wird die bessere Streckung in der Interventionsgruppe auf eine bessere Muskelentspannung zurückgeführt. Damit kann die für die Streckung verantwortliche Muskulatur, die eine Streckerkette von Hüft-, Knie- und Sprunggelenk bildet,

wieder besser bewegt werden. Durch diese Funktionskette erfolgt auch eine Stabilisierung des Kniegelenkes [139].

Zusätzlich wurde durch die konservativen Maßnahmen der Physiotherapien während des stationären Aufenthaltes sichergestellt, dass die Patienten/Patientinnen Aufgaben des Alltages nach der Entlassung wieder allein bewältigen konnten.

Richter et al. sehen jedoch auch in einer geringeren Beugung am Entlassungstag keinen Nachteil, denn für die mittelfristige Ergebnisqualität sei sie kein Indikator [140]. Trotz deutlicher Verbesserung der Flexion in beiden Gruppen und der Abnahme des Streckdefizites bleibt offen, wie die Langzeitergebnisse nach einem Jahr waren. Der Verlauf und die Patienten-/Patientinnenzufriedenheit nach einer Knieendoprothesenoperation werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Eine angemessene postoperative Rehabilitation ist von entscheidender Bedeutung für den erfolgreichen Verlauf einer Endoprothesenimplantation und nur effektiv, wenn das Training richtig durchgeführt wird und die Motivation des Patienten/der Patientinnen entsprechend hoch ist [139, 141].

## 6. Literaturverzeichnis

1. Bringezu, G., T. Galic, and O. Schreiner, *Ödeme/Ödempathophysiologie*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie: Manuelle Lymphdrainage, Kompressionstherapie, Muskel- und Gelenkpumpeneffekte und andere Verfahren*, G. Bringezu and O. Schreiner, Editors. 2014, Springer Verlag: Berlin. p. 59-74.
2. Pritschow, H. and M. Hörner, *Ödemkrankheitsbilder-Behandlungssystematiken und Komplikationen* in *Das Lymphödem und die Komplexe Physikalische Entstauungstherapie*, H. Pritschow and C. Schuchardt, Editors. 2018: Köln.
3. Hackenbruch, W., *Bedeutung von Anatomie und Biomechanik*, in *Kniegelenk und Kreuzbänder: Anatomie, Biomechanik, Klinik, Rekonstruktion, Komplikationen, Rehabilitation*, R.P. Jakob and H.U. Stäubli, Editors. 1990, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 115-124.
4. Jagodzinski, M., N. Friederich, and W. Müller, *Rotation*, in *Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie*, M. Jagodzinski, N. Friederich, and W. Müller, Editors. 2016, Springer Verlag Berlin. p. 59-89.
5. Günther, K.P., et al., *Klinische Epidemiologie von Hüft- und Kniegelenkarthrosen: Eine Übersicht über Ergebnisse der „Ulmer Osteoarthritis-Studie“*. Zeitschrift für Rheumatologie, 2002. **61**(3): p. 244-249.
6. Stöve, J. *S2k-Leitlinie Gonarthrose*. 2017 03.10.2022]; Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/033-004l\\_S2k\\_Gonarthrose\\_2018-01\\_1-verlaengert\\_01.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-004l_S2k_Gonarthrose_2018-01_1-verlaengert_01.pdf).
7. Albrecht, K., J. Callhoff, and A. Strangfeld, *Steigt die Prävalenz der rheumatoiden Arthritis wirklich an?* Zeitschrift für Rheumatologie, 2022. **81**(4): p. 323-327.
8. Michael, J.W.P., K.U. Schlüter-Brust, and P. Eysel, *Epidemiologie, Ätiologie, Diagnostik und Therapie der Gonarthrose*. Deutsches Ärzteblatt, 2010. **107**(9): p. 152-162.
9. Weyerer, S., *Endoprothetik des Kniegelenkes*, in *Endoprothetik-Ein Leitfaden für den Praktiker*, M.G. Krukemeyer and G. Möllenhoff, Editors. 2013, Walter de Gruyter GmbH: Berlin, Boston. p. 3-18.
10. Madry, H., *Arthrose*, in *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie - Knie*, D. Kohn, Editor. 2016, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York. p. 276-280.
11. Willauschus, W., et al., *Klinik und Epidemiologie der Arthrose*. Aktuelle Rheumatologie, 1996. **21**(01): p. 2-9.
12. AWMF. *S2k-Leitlinie Gonarthrose-Langfassung (AWMF Registernummer: 033-004)*. 2017 13.05.2023]; Available from: [https://register.awmf.org/assets/guidelines/033-004l\\_S2k\\_Gonarthrose\\_2018-01\\_1-abgelaufen.pdf](https://register.awmf.org/assets/guidelines/033-004l_S2k_Gonarthrose_2018-01_1-abgelaufen.pdf).
13. Weyerer, S., *Epidemiologie degenerativer Gelenkerkrankungen*, in *Endoprothetik: ein Leitfaden für den Praktiker*, M.G. Krukemeyer and G. Möllenhoff, Editors. 2012, de Gruyter: Berlin. p. 3-18.
14. Haase, E., et al., *Indikation zur endoprothetischen Versorgung des Kniegelenks—Ein Evidence Mapping*. Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, 2015. **109**(8): p. 605-614.
15. Lüring, C., et al., *Erkrankungen und Verletzungen von Kniegelenk und Unterschenkel*, in *Orthopädie und Unfallchirurgie—Für Praxis, Klinik und Facharztprüfung*, J. Grifka and M. Kuster, Editors. 2011, Springer-Verlag GmbH: Berlin, Heidelberg, New York. p. 759-829.
16. Seidlitz, C. and M. Kip, *Einführung in das Indikationsgebiet und Verfahren*, in *Weißbuch Gelenkersatz*, H.-H. Bleß and M. Kip, Editors. 2017, Springer, Berlin, Heidelberg. p. 1-15.
17. Wengler, A., U. Nimptsch, and T. Mansky, *Hüft- und Kniegelenkersatz in Deutschland und den USA-Auswertung deutscher und US-amerikanischer Krankenhauseinzelfalldaten von 2005 bis 2011*. Deutsches Ärzteblatt, 2014. **111**: p. 407-416.

18. Statistisches Bundesamt (Destatis). *Gesundheit-Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern (4-Steller)*. 2019 07.04.2020]; Available from: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publicationen/Downloads-Krankenhaeuser/operationen-prozeduren-5231401187014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publicationen/Downloads-Krankenhaeuser/operationen-prozeduren-5231401187014.pdf?__blob=publicationFile).
19. Krämer, K.-L. and H. Sommer, *Untere Extremität*, in *Klinikleitfaden Orthopädie*, K.-L.S. Krämer, Martin and M. Winter, Editors. 1997, Gustav Fischer Verlag: Ulm, Stuttgart, Jena.
20. Reichel, H. and R. Bieger, *Kniegelenk-Endoprothetik*, in *Spezielle orthopädische Chirurgie*, D.G. Kohn, Klaus-Peter Scharf, Hanns-Peter, Editor. 2016, Elsevier, Urban & Fischer Verlag: München. p. 270-304.
21. Hackenbroch, M.H., *Periphere Arthrosen*, in *Praxis der konservativen Orthopädie*, H.P. Bischoff, J. Heisel, and H. Locher, Editors. 2007, Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York. p. 478-496.
22. Merle, C., J. Herre, and P. Aldinger, *Endoprothetik des Kniegelenkes*, in *Endoprothetik-Ein Leitfaden für den Praktiker*, M.G. Krukemeyer and G. Möllenhoff, Editors. 2013, Walter de Gruyter GmbH: Berlin, Boston. p. 129-162.
23. Mauch, F., P. Schwendtner, and R.H.K. Strößenreuther, *Einsatzmöglichkeiten der ML/KPE in Chirurgie, Orthopädie und Sportmedizin-Kniegelenk*, in *Lehrbuch Lymphologie für Ärzte Physiotherapeuten und Masseur/med. Bademeister* M. Földi and E. Földi, Editors. 2010, Bademeister. p. 632-634.
24. Orletskiy, A.K. and D.O. Timtschenko, *Die intermittierende Vakuum-Therapie zur Behandlung von Sportlern* Medicalsports network, 2011. **6**(01/11): p. 18-20.
25. Herpertz, U., *Ödeme und Lymphdrainage: Diagnose und Therapie-Lehrbuch der Ödematologie*. 2013: Schattauer Verlag.
26. Kretz, O. and S. Kubik, *Anatomie des Lymphgefäßsystems und der Endstrombahn*, in *Lehrbuch Lymphologie für Ärzte Physiotherapeuten und Masseur/med. Bademeister* M. Földi and E. Földi, Editors. 2010, Bademeister. p. 1-132.
27. Zöltzer, H., A. Miller, and O. Gültig, *Lymphologischer Kompressionsverband (LKV)*, in *Leitfaden Lymphologie*, O. Gültig, Editor. 2021, Urban & Fischer: München. p. 68-75.
28. Herpertz, U., *Ödeme und Lymphdrainage: Diagnose und Therapie; Lehrbuch der Ödematologie*. 5 ed. 2014, Stuttgart: Schattauer Verlag.
29. Zöltzer, H., *Anatomie und Physiologie des Lymphgefäßsystems*, in *Leitfaden Lymphologie*, O. Gültig, A. Miller, and H. Zöltzer, Editors. 2015, Elsevier, Urban & Fischer Verlag: München. p. 1-37.
30. Schuchhardt, C. and H. Pritschow, *Klinik der Ödeme*, in *Das Lymphödem und die komplexe Physikalische Entstauungstherapie*. 2018, Wirtschafts-und Praxisverlag GmbH: Köln. p. 49-101.
31. Földi, M. and R. Strößenreuther, *Grundlagen der manuellen Lymphdrainage*. 5 ed. 2011, München: Elsevier, Urban & Fischer Verlag.
32. Schreiner, O., *Blutkreislauf, Interstitium und Lymphgefäßsystem*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie*. 2014, Springer Verlag: Berlin. p. 3-56.
33. Wittlinger, D., H. Wittlinger, and A. Wittlinger, *Manuelle Lymphdrainage nach Dr. Vodder*. 2008: Georg Thieme Verlag.
34. Flores, T., et al., *[Diagnosis, prevention and therapy of lymphedema]*. Wiener Klinische Wochenschrift, 2021. **133**(15-16): p. 855-868.
35. Rieger, J. and V. Ruppert, *Gefäßmedizin in Klinik und Praxis: Leitlinienorientierte Angiologie, Gefäßchirurgie und interventionelle Radiologie*. 2 ed. 2010, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

36. Kolz, J.M., et al., *Lymphedema: A Significant Risk Factor for Infection and Implant Failure After Total Knee Arthroplasty*. JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2020. **28**(23): p. 996-1002.
37. Rainer, W.G., et al., *Lymphedema Is a Significant Risk Factor for Failure After Primary Total Hip Arthroplasty*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2022. **104**(1): p. 55-61.
38. Strößenreuther, R., et al., *Einsatzmöglichkeiten der ML/KPE in Chirurgie, Orthopädie und Sportmedizin*, in *Lehrbuch Lymphologie für Ärzte, Physiotherapeuten und Masseur, med. Bademeister*, M.F. Földi, Ethel, Editor. 2010, Elsevier, Urban&FischerVerlag: Stuttgart, New York. p. 626-642.
39. Diemer, F., H. Lowak, and V. Sutor, *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*. 2017: Elsevier Health Sciences.
40. Koelmeyer, L.A., et al., *Risk factors for breast cancer-related lymphedema in patients undergoing 3 years of prospective surveillance with intervention*. Cancer, 2022. **128**(18): p. 3408-3415.
41. Cormier, J.N., et al., *Lymphedema beyond breast cancer: a systematic review and meta-analysis of cancer-related secondary lymphedema*. Cancer, 2010. **116**(22): p. 5138-49.
42. Hüter-Becker, A. and M. Dölken, *Physikalische Therapie, Massage, Elektrotherapie und Lymphdrainage*. 2 ed. 2011, Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
43. Pritschow, H., *Die Manuelle Lymphdrainage (MLD)*, in *Das Lymphödem und die komplexe Physikalische Entstauungstherapie*, C. Schuchhardt and H. Pritschow, Editors. 2018, Wirtschafts-und Praxisverlag GmbH: Köln. p. 102-127.
44. Bringezu, G., et al., *Die Therapieform Manuelle Lymphdrainage*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie: Grundlagen, Beschreibung und Bewertung der Verfahren, Behandlungskonzepte für die Praxis*, G. Bringezu and O. Schreiner, Editors. 2014, Springer Verlag: Berlin. p. 75-165.
45. Kasseroller, R., *Kombinierte Physikalische Entstauungstherapie (KPE) und ihre Indikationen*, in *Physikalische Therapie, Massage, Elektrotherapie und Lymphdrainage*, A. Hüter-Becker and M. Dölken, Editors. 2011, Georg-Thieme Verlag: Stuttgart. p. 279-305.
46. Charles, J.B., M.B.S. Campbell, and S.M.C. Lee, *STANDING WITHOUT GRAVITY: THE USE OF LOWER BODY NEGATIVE PRESSURE FOR RESEARCH AND RECONDITIONING IN SPACEFLIGHT*. 2014.
47. Gott, F.H., et al., *Negative pressure therapy in the management of lymphoedema*. Journal of Lymphoedema, 2018. **13** (1): p. 43-48.
48. Väyrynen, M. *Negative Pressure Treatment: An Innovative Therapy Method for Faster Recovery*. 2. July 2019 05.03.2020]; Available from: <https://www.omni-athlete.com/single-post/negative-pressure-treatment-for-faster-recovery>.
49. Dresing, K., et al. *Effiziente peri- und postoperative dekongestive apparative Unterdruckbehandlung und mechanische Vibration zur antiödematösen Schwellungsbehandlung von Unfall- und Orthopädischen Patienten an der unteren Extremität - eine Qualitätsstudie*. 2019 29.01.2021]; Available from: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dkou2019/19dkou204.shtml>.
50. Greenstein, J., et al., *The effect of LymphaTouch® vs a sham treatment on immediate pain and range of motion in acute low back pain*, in *The 21st Annual Performance Health Scientific Advisory Committee (TRAC) Research Meeting*. 2019.
51. Kyu Ryeong, K., et al., *Effects of Negative Pressure Soft Tissue Therapy to Ankle Plantar Flexor on Muscle Tone, Muscle Stiffness, and Balance Ability in Patients with Stroke*. Journal of International Academy of Physical Therapy Research, 2018. **9**(2): p. 1468-1474.
52. Saloranta, E. and M. Korhonen, *LymphaTouch®-hoitomenetelmä polven nivelrikon oireiden hoidossa*. 2021.
53. Hyvönen, H. and E. Salonen, *Amerikkalaisen jalkapallon pelaajien palautumistunteukset LymphaTouch®-hoidon jälkeen*. 2013.

54. Airaksinen, O., V. Vuorinen, and S. Raittila, *Influence of LymphaTouch®-treatment method for pain and edema in context of active physiotherapy*. Internal Research Report. Helsinki, 2011: p. 1-2.
55. Hietanen, S.P., T. Jouhki, I. Palomäki, K. and T. Taskinen, *LymphaTouch and PhysioTouch treatment as a part of active Physiotherapy: Effect on pain and swelling*. 2014.
56. Väyrynen, M., *Negative Pressure Treatment: An Innovative Therapy Method for Faster Recovery*, in *Omni-Athlete*. 2019.
57. Helito, C.P., et al., *The use of negative-pressure wound therapy after total knee arthroplasty is effective for reducing complications and the need for reintervention*. BMC Musculoskeletal Disorders, 2020. **21**(1): p. 1-8.
58. Song, Q.-C., et al., *Negative pressure wound therapy reduces the incidence of postoperative wound dehiscence and surgical site infections after total knee arthroplasty in patients with obesity*. Medicine, 2022. **101**(27).
59. Chau, W.-W., et al., *Single use Negative Pressure Wound Therapy (NPWT) system in the management of knee arthroplasty*. BMC Musculoskeletal Disorders, 2023. **24**(1): p. 351.
60. Brenke, R., *Lymphdrainage bei Weichteiltraumata und Überlastungsschäden*. Zeitschrift für Komplementärmedizin, 2014. **6**(05): p. 18-23.
61. AWMF. *Diagnostik und Therapie der Lymphödeme. S2k Leitlinie der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. Reg.-Nr. 058-001. 2017 13.05.2023*]; Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/058-001I\\_S2k\\_Diagnostik\\_und\\_Therapie\\_der\\_Lymphoedeme\\_2019-07-abgelaufen.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/058-001I_S2k_Diagnostik_und_Therapie_der_Lymphoedeme_2019-07-abgelaufen.pdf).
62. Brenke, R., R. Freund, and R. Strößenreuther, *Wärme und Kälte*, in *Lehrbuch Lymphologie für Ärzte Physiotherapeuten und Masseur/med. Bademeister* M. Földi and E. Földi, Editors. 2010, Urban & Fischer Verlag München. p. 507.
63. Schreiner, O., *Ödemverringern durch Kühlung*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie*, G.S. Bringezu, Otto, Editor. 2014, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg. p. 243-247.
64. Algafly, A.A. and K.P. George, *The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance*. British Journal of Sports Medicine, 2007. **41**(6): p. 365-9; discussion 369.
65. Kuyucu, E., et al., *Is cold therapy really efficient after knee arthroplasty?* Annals of Medicine and Surgery, 2015. **4**(4): p. 475-8.
66. Chughtai, M., et al., *Cryotherapy Treatment After Unicompartmental and Total Knee Arthroplasty: A Review*. The Journal of Arthroplasty, 2017. **32**(12): p. 3822-3832.
67. Adie, S., et al., *Cryotherapy following total knee replacement*. Cochrane Database Systematic Review, 2012(9): p. Cd007911.
68. Van Wingerden, B., *Eistherapie—kontraindiziert bei Sportverletzungen*. Leistungssport, 1992. **2**: p. 5-8.
69. Godbersen, J., *Temperaturabhängige Leistungsfähigkeit der Muskulatur älterer Frauen*. 2015, Universität Tübingen.
70. Wilting, J., R. Bartkowski, and R. Baumeister, *S2k Leitlinie „Diagnostik und Therapie der Lymphödeme“*. AWMF, (Reg.-Nr. 058-001). 2017.
71. Schneringer, O., *Allgemeine theoretische Grundlagen-Blutkreislauf, Interstitium und Lymphgefäße*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie*, G.S. Bringezu, Otto, Editor. 2014, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg. p. 3-56.
72. Mosti, G., et al., *Adjustable Velcro Compression Devices are More Effective than Inelastic Bandages in Reducing Venous Edema in the Initial Treatment Phase: A Randomized Controlled Trial*. European Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 2015. **50**(3): p. 368-74.

73. Dissemond, J., et al., *Kompressionstherapie des Ulcus cruris venosum in der Phase der Entstauung*. Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin, 2018. **113**(7): p. 552-559.
74. Torgbenu, E., et al., *Guidelines Relevant to Diagnosis, Assessment, and Management of Lymphedema: A Systematic Review*. Advances in Wound Care 2023. **12**(1): p. 15-27.
75. Bringezu, G., et al., *Die Kompressionstherapie*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie: Grundlagen, Beschreibung und Bewertung der Verfahren*, G. Bringezu and O. Schreiner, Editors. 2014, Springer Verlag: Berlin. p. 169-196.
76. Brouillard, P., et al., *Primary lymphoedema*. Nature Reviews Disease Primers, 2021. **7**(1): p. 77.
77. Thomas, C., J.T. Le, and E. Benson, *Managing Lymphedema in Fracture Care: Current Concepts and Treatment Principles*. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2020. **28**(18): p. 737-741.
78. Riebe, H., et al., [*Innovations in medical compression therapy*]. Hautarzt, 2020. **71**(1): p. 24-31.
79. Miller, A., *Lymphödem, Inflammation und neue Therapieansätze*. Phlebologie, 2021. **50**.
80. Ezzo, J., et al., *Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment*. Cochrane Database Systematic Review, 2015(5).
81. Stocker, B., et al., [*Effective therapy to reduce edema after total knee arthroplasty Multi-layer compression therapy or standard therapy with cool pack - a randomized controlled pilot trial*]. Pflege, 2018. **31**(1): p. 19-29.
82. Haeger U., *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*, Fleischhauer M., Heinmann D., and H. U., Editors. 2006, Elsevier, Urban & Fischer Verlag: München.
83. Schreiner, O., *Auswirkung der Lagerung auf die einzelnen Ödeme*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie: Grundlagen, Beschreibung und Bewertung der Verfahren, Behandlungskonzepte für die Praxis*, G.S. Bringezu, Otto, Editor. 2014, Springer Verlag: Berlin Heidelberg. p. 240-241.
84. Unfallchirurgie, D.G.f.O.u. *Nachbehandlungsempfehlungen*. 2019 10.01.2021]; Available from: [https://dgou.de/uploads/media/2019\\_Nachbehandlungsempfehlungen.pdf](https://dgou.de/uploads/media/2019_Nachbehandlungsempfehlungen.pdf).
85. Schoch, W., F. Diemer, and P. Niemeyer, *Kniegelenk*, in *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*, F. Diemer, H. Lowak, and V. Sutor, Editors. 2017, Elsevier München. p. 193-249.
86. Mizner, R.L., S.C. Petterson, and L. Snyder-Mackler, *Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty*. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2005. **35**(7): p. 424-36.
87. Wirries, N., et al., *Impact of continuous passive motion on rehabilitation following total knee arthroplasty*. Physiotherapy Research International, 2020. **25**(4): p. e1869.
88. Gil-González, S., et al., *Continuous passive motion not affect the knee motion and the surgical wound aspect after total knee arthroplasty*. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2022. **17**(1): p. 25.
89. Yang, X., et al., *Continuous Passive Motion After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-analysis of Associated Effects on Clinical Outcomes*. Arch Phys Med Rehabil, 2019. **100**(9): p. 1763-1778.
90. Harvey, L.A., L. Brosseau, and R.D. Herbert, *Continuous passive motion following total knee arthroplasty in people with arthritis*. Cochrane Database Syst Rev, 2010(3): p. Cd004260.
91. Harvey, L.A., L. Brosseau, and R.D. Herbert, *Continuous passive motion following total knee arthroplasty in people with arthritis*. Cochrane Database Syst Rev, 2014(2): p. Cd004260.

92. Yang, X., et al., *Continuous passive motion after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of associated effects on clinical outcomes*. Archives of physical medicine and rehabilitation, 2019. **100**(9): p. 1763-1778.
93. Tzani, I., et al., *Physiotherapeutic rehabilitation of lymphedema: State-of-the-art*. Lymphology, 2018. **51**(1): p. 1-12.
94. Astasio-Picado, Á., et al., *The Effectiveness of Negative Pressure Therapy: Nursing Approach*. Journal of Personalized Medicine, 2022. **12**(11): p. 1813.
95. Unfallversicherung, D.G. *Messblatt für untere Gliedmaßen (nach der Neutral-0-Methode)*. 2016; Available from: [https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f\\_4224/f4224.pdf](https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4224/f4224.pdf).
96. Yang, W.T., et al., *Three-dimensional laser scanner as a new tool for measuring lower limb volume in patients with chronic venous diseases*. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2023. **11**(1): p. 127-135.
97. Gültig, O., A. Miller, and H. Zöltzer, *Leitfaden Lymphologie*. 2021: Elsevier Health Sciences.
98. Waśko, M.K., M. Langner, and S. Pomianowski, *Posttraumatic Oedema in Lower Limbs. Advances in Understanding Etiopathogenesis and Treatment. Review Article*. Ortop Traumatol Rehabil, 2016. **18**(6): p. 519-526.
99. Schreiner, O., *Ödemverringern durch Kühlung*, in *Lehrbuch der Entstauungstherapie: Grundlagen, Beschreibung und Bewertung der Verfahren*, G. Bringezu and O. Schreiner, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 243-247.
100. Schreiner, O., *Entstauende Wirkung durch Lagerung*. Lehrbuch der Entstauungstherapie: Manuelle Lymphdrainage, Kompressionstherapie, Muskel- und Gelenkpumpeffekte und andere Verfahren, 2020: p. 263-268.
101. Radtke, R. *Anzahl der Implantationen künstlicher Kniegelenke in deutschen Krankenhäusern nach Altersgruppe im Jahr 2021*. 2022; Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/785126/umfrage/implantationen-kuenstlicher-kniegelenke-in-deutschen-krankenhaeusern-nach-alter/>.
102. Josephs, C., *10-bis 12-Jahres-Langzeitergebnisse der LCS-Knieendoprothese*. 2018, Universität Ulm.
103. Maloney, W.J., et al., *The influence of continuous passive motion on outcome in total knee arthroplasty*. Clin Orthop Relat Res, 1990(256): p. 162-8.
104. Harmelink, K.E., et al., *Are there prognostic factors for one-year outcome after total knee arthroplasty? A systematic review*. The Journal of arthroplasty, 2017. **32**(12): p. 3840-3853. e1.
105. Santaguida, P.L., et al., *Patient characteristics affecting the prognosis of total hip and knee joint arthroplasty: a systematic review*. Canadian Journal of Surgery, 2008. **51**(6): p. 428-36.
106. Murphy, L., et al., *Lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis*. Arthritis Care & Research: Official Journal of the American College of Rheumatology, 2008. **59**(9): p. 1207-1213.
107. Rabenberg, M., *Themenheft 54 "Arthrose"*. 2013, Robert Koch-Institut.
108. Giori, N.J., et al., *Risk Reduction Compared with Access to Care: Quantifying the Trade-Off of Enforcing a Body Mass Index Eligibility Criterion for Joint Replacement*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2018. **100**(7): p. 539-545.
109. Olsen, U., et al., *Factors Correlated With Physical Function 1 Year After Total Knee Arthroplasty in Patients With Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis*. JAMA Network Open, 2022. **5**(7): p. e2219636-e2219636.
110. Wang, H., M. Qiong, and B. Ma, *Analysis of the influence of BMI on the outcome after total knee arthroplasty*. Internation Journal of Surgery, Global Health, 2021. **4**(3): p. e55.
111. Stamer, U. and W. Meißner, *Schmerzmessung und Schmerzdokumentation*, in *Postoperative Schmerztherapie: Pathophysiologie, Pharmakologie und Therapie*, E.M.

- Pogatzki-Zahn, H.K. Van Aken, and P.K. Zahn, Editors. 2008, Georg Thieme Verlag KG: Stuttgart. p. 26-28.
112. Boeckstyns, M.E.H. and M. Backer, *Reliability and validity of the evaluation of pain in patients with total knee replacement*. Pain, 1989. **38**(1): p. 29-33.
  113. Angster, R., *Postoperative Schmerztherapie: Beurteilung von subjektivem Schmerzempfinden*. Die Anästhesiologie, 2017: p. 1887-1890.
  114. O'Brien, S., et al., *Comparison of hip and knee arthroplasty outcomes at early and intermediate follow-up*. Orthopedics, 2009. **32**(3): p. 168.
  115. Zimmermann, M. and M. Rittmeister, *Postoperative Schmerztherapie in der Orthopädie*. Der Orthopäde, 2003. **32**(12).
  116. Garimella, V. and C. Cellini, *Postoperative pain control*. Clinics in colon and rectal surgery, 2013. **26**(03): p. 191-196.
  117. Pichonnaz, C., et al., *Effect of Manual Lymphatic Drainage After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2016. **97**(5): p. 674-82.
  118. Fujiura, T., H. Nagasawa, and H. Wakabayashi, *Effect of manual lymph drainage for up to 10 days after total knee arthroplasty: A randomized controlled trial*. Physical Therapy Research, 2020. **23**(1): p. 39-46.
  119. Loan, W.B. and J.D. Morrison, *The incidence and severity of postoperative pain*. British Journal of Anaesthesia, 1967. **39**(9): p. 695-8.
  120. Lim, A.T., et al., *Postoperative pain control: contribution of psychological factors and transcutaneous electrical stimulation*. Pain, 1983. **17**(2): p. 179-188.
  121. Bandura, A., et al., *Perceived self-efficacy and pain control: opioid and nonopioid mechanisms*. Journal of Personality and Social Psychology, 1987. **53**(3): p. 563-71.
  122. Friberg, O., et al., *Resilience as a moderator of pain and stress*. Journal of Psychosomatic Research 2006. **61**(2): p. 213-9.
  123. Riddle, D.L. and S. Reza Jafarzadeh, *Effects of psychological distress on the general health to self-reported pain and function outcome relationship in knee arthroplasty: A causal mediation study*. Osteoarthritis and Cartilage Open, 2022. **4**(4): p. 100315.
  124. Langkilde, A., et al., *Inflammation and post-operative recovery in patients undergoing total knee arthroplasty-secondary analysis of a randomized controlled trial*. Osteoarthritis Cartilage, 2017. **25**(8): p. 1265-1273.
  125. List, M. and C. Klose, *Physiotherapie in der Traumatologie*. Vol. 5. 2009: Springer Verlag.
  126. Szöts, K., et al., *Physical health problems experienced in the early postoperative recovery period following total knee replacement*. International journal of orthopaedic and trauma nursing, 2015. **19**(1): p. 36-44.
  127. Herpertz, U., *Messung und Dokumentation von Ödemen*. Zeitschrift für Lymphologie, 1994. **18**: p. 24-30.
  128. Zimmermann, A., et al., *Efficacy of manual lymphatic drainage in preventing secondary lymphedema after breast cancer surgery*. Lymphology, 2012. **45**(3): p. 103-12.
  129. Lacombe, M., et al., *Effectiveness of early physiotherapy to prevent lymphoedema after surgery for breast cancer: randomised, single blinded, clinical trial*. Bmj, 2010. **340**: p. b5396.
  130. Didem, K., et al., *The comparison of two different physiotherapy methods in treatment of lymphedema after breast surgery*. Breast Cancer Research and Treatment, 2005. **93**(1): p. 49-54.
  131. Lampinen, R., et al., *Treatment of Breast Cancer-Related Lymphedema Using Negative Pressure Massage: A Pilot Randomized Controlled Trial*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2021. **102**(8): p. 1465-1472.e2.
  132. Vuorinen, V., et al., *Lymphatic therapy using negative pressure-A clinical study with the LymphaTouch device*. 2013.
  133. Donahue, P. and M.J. Donahue, *Graded negative pressure: Does it have a place in the CDT treatment model?*, in *9th Conference of the international lymphoedema framework*. 2019.

134. Vuorinen, V. and O. Airaksinen, *A new vacuum suction device for management of lymphedema*, in *22nd International Congress of Lymphology*. 2009: Sydney. p. 121.
135. Härén, K. and M. Wiberg, *A Prospective Randomized Controlled Trial of Manual Lymph Drainage (MLD) for the Reduction of Hand Oedema after Distal Radius Fracture*. The British Journal of Hand Therapy, 2006. **11**(2): p. 41-47.
136. Ebert, J.R., et al., *Randomized trial investigating the efficacy of manual lymphatic drainage to improve early outcome after total knee arthroplasty*. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2013. **94**(11): p. 2103-11.
137. Laubenthal, K.N., G.L. Smidt, and D.B. Kettelkamp, *A quantitative analysis of knee motion during activities of daily living*. Physical therapy, 1972. **52**(1): p. 34-43.
138. Miner, A.L., et al., *Knee range of motion after total knee arthroplasty: how important is this as an outcome measure?* The Journal of arthroplasty, 2003. **18**(3): p. 286-94.
139. Rupp, S. and G. Wydra, *Anschlussheilbehandlung nach Knie totalendoprothesenimplantation*. Der Orthopäde, 2012. **41**(2): p. 126-135.
140. Richter, J., G. Matziolis, and U. Kahl, *Die Flexion zur Entlassung ist kein Prädiktor der Gelenkfunktion ein Jahr nach Knie totalendoprothese*. Die Orthopädie, 2023. **52**(2): p. 159-164.
141. Woodland, N., et al., *Patient-Reported Outcomes following Total Knee Replacement in Patients Aged 65 Years and Over-A Systematic Review*. Journal of Clinical Medicine, 2023. **12**(4).

## 7. Anhang

### 7.1 LymphaTouch® Behandlungsprotokoll für Ödeme an den unteren Extremitäten



Pre- and Postoperative Treatment Instructions  
Lower Limb, 20 minutes

GENERAL INSTRUCTIONS:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Always notice the contraindications before the treatment</li> <li>Do not treat over open wounds or scars</li> <li>Treat around the operation site so that stitches don't move</li> <li>Regulate the negative pressure value according to the tissue features and patient sensations</li> <li>Choose always a treatment cup that fits well to the treated body part</li> <li>Apply oil or lotion to the skin to make sliding easier</li> </ul>			
Part time	Treated area	Settings	Instructions
1 minute		50-80 mmHg 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treat the supraclavicular fossa region</li> <li>Treat both left and right side. Keep the treatment cup on the same spot for 3 pulsations and a total of 5 spots/side.</li> </ul>
1 minute		50-100 mmHg 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treat the inguinal area of the injured side</li> <li>Stationary technique 3-5 pulsation on same spot and then move to next spot to activate the inguinal lymph nodes.</li> </ul>
4 minutes		Preoperative: 80-200 mmHg  Postoperative: 50-150 mmHg  	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treat around the femoral</li> <li>Treat first with the stationary technique, 3-5 pulsations on same spot and move to next spot.</li> <li>Then treat with the sliding technique to proximal direction, towards inguinal lymph nodes.</li> </ul>
2 minutes		Preoperative: 80-200 mmHg  Postoperative: 50-150 mmHg 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treat the knee from both anterior and posterior side</li> <li>Treat with the stationary technique, 3-5 pulsations on same spot and move to next spot.</li> <li>Note the popliteal lymph nodes.</li> </ul>

WWW.LYMPHATOUCH.COM

1978977-7

Abbildung 22: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 1

Die Nutzung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von LymphaTouch® Inc.

# LYMPHATOUCH®

## Pre- and Postoperative Treatment Instructions Lower Limb, 20 minutes

3 minutes		<b>Preoperative</b> 80-180 mmHg ■■■ 2.0 s/50% (●) - 60,80 [ ] [ ] [ ] <b>or</b> ■■■ [ ] [ ] [ ]	<b>Postoperative</b> 50-150 mmHg ■■■ 2.0 s/50% (●) - 60,80 [ ] [ ] [ ] <b>or</b> ■■■ [ ] [ ] [ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treat the entire leg</b></li> <li>• Treat first with the stationary technique, 3-5 pulsations on same spot and move to next spot.</li> <li>• Then treat with the sliding technique to proximal direction.</li> </ul>
2 minutes		<b>Preoperative</b> 80-250 mmHg ■■■ 2.0 s/50% (●) - 50,60 [ ] [ ]	<b>Postoperative</b> 50-180 mmHg ■■■ 2.0 s/50% (●) - 50,60 [ ] [ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treat the foot from anterior and posterior side</b></li> <li>• Treat with the stationary technique, 3-5 pulsations on same spot and move to next spot.</li> </ul>
5 minutes		<b>Preoperative</b> 80-200 mmHg ■■■ Continuous or ■■■ 2.0 s/50% (●) - 60,80 [ ] [ ] [ ]	<b>Postoperative</b> 50-150 mmHg ■■■ Continuous or ■■■ 2.0 s/50% (●) 90-20 Hz 60,80 [ ] [ ] [ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treat the entire lower limb</b></li> <li>• Treat with the sliding technique to proximal direction from both anterior and posterior side.</li> </ul>
1 minute		50-100 mmHg ■■■ 2.0 s/50% (●) - 60,80 [ ] [ ]		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Treat the inguinal area of the injured side</b></li> <li>• Stationary technique 3-5 pulsation on same spot and then move to next spot.</li> </ul>

WWW.LYMPHATOUCH.COM

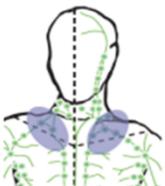
1978977-7

Abbildung 23: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 2

Die Nutzung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von LymphaTouch® Inc.

# LYMPHATOUCH®

Pre- and Postoperative Treatment Instructions  
Lower Limb, 20 minutes

1 minute		<p>50-80 mmHg   2.0 s/50%</p> <p>  50,60 </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treat the <b>supraclavicular fossa region</b></li> <li>• Treat both left and right side. Keep the treatment cup on same spot for 3 pulsations and a total of 5 spots/side</li> </ul>
----------	---	--	---

[WWW.LYMPHATOUCH.COM](http://WWW.LYMPHATOUCH.COM)

1978977-7

Abbildung 24: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 3

Die Nutzung erfolgt mit freundlicher Genehmigung von LymphaTouch® Inc.

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Physiologischer Wirkmechanismus von LymphaTouch® .....	25
Abbildung 2: Das Gerät LymphaTouch® .....	26
Abbildung 3: Behandlungsplan zum Ablauf der manuellen Lymphdrainage Beines.....	36
Abbildung 4: Behandlungsplan zum Ablauf der entstauenden Maßnahmen .....	40
Abbildung 5: Maximal erreichbare Beugung gemessen in [°] vom präoperativen Tag bis zum 6. postoperativen Tag .....	45
Abbildung 6: TMaximal erreichbare Flexion in Grad [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6 .....	46
Abbildung 7: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und der Kniebeugung am 6. postoperativen Tag im Vergleich zum OP-Tag .....	48
Abbildung 8: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) und der Kniebeugung am 6. postoperativen Tag im Vergleich zum OP-Tag .....	48
Abbildung 9: Vergleich der Verbesserungen der Kniebeugung am postoperativen Tag 6 im Vergleich zum OP-Tag in Bezug auf das Geschlecht der Patienten.....	49
Abbildung 10: Grad der Kniegelenkextension im Vergleich zwischen den beiden Interventionen für jeden Tag .....	51
Abbildung 11: Umfangsmessungen in [cm] von präoperativ bis zum 6. postoperativen Tag auf Höhe des Kniegelenks .....	52
Abbildung 12: VAS gemessen vom präoperativen Tag bis zum 6. postoperativen Tag .....	60
Abbildung 13: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) und Verbesserungen der VAS an den postoperativen Tagen 4 und 6 im Vergleich zum Operationstag (OP-Tag).....	62
Abbildung 14: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und Veränderungen der VAS an den postoperativen Tagen 4 und 6 im Vergleich zum Tag der Operation (OP-Tag).....	63
Abbildung 15: Patientenmerkmale Alter und BMI der Patienten/Patientinnen, die mehr als 7 Tage im Krankenhaus blieben (Längere), im Vergleich zu den anderen .....	66
Abbildung 16: Kniebeugung, -flexion und -schmerz vor der OP und Veränderungen am Tag der OP im Vergleich zur Zeit vor der OP bei Patienten, die mehr als 7 Tage (länger) im Krankenhaus blieben, im Vergleich zu den anderen.....	67
Abbildung 17: Grad der Kniebeugung, die Kniegelenkextension und die VAS wurden für jeden Tag zwischen den beiden Interventionen.....	67
Abbildung 18: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI oder Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniebeugung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation).....	68
Abbildung 19: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI oder Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniestreckung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation .....	69

Abbildung 20: Lineare Regressionsanalyse zwischen Alter (Jahre) oder Geschlecht und Veränderungen der Kniestreckung (Grad) am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation .....	69
Abbildung 21: Lineare Regressionsanalyse zwischen BMI und Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 7 im Vergleich zum Tag der Operation (Tag der Operation).....	70
Abbildung 30: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 1.....	92
Abbildung 31: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 2.....	93
Abbildung 32: Behandlungsplan zur Durchführung der manuellen Lymphdrainage mit LymphaTouch®, Seite 3.....	94

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Größen der Behandlungsköpfe von LymphaTouch®.....	23
Tabelle 2: Behandlungsplan für die Anwendung von LymphaTouch®. ....	38
Tabelle 3: Übersicht über die demographischen Daten der Patienten/Patientinnen.....	43
Tabelle 4: Entwicklung der Patientenzahl in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt.....	44
Tabelle 5: Übersicht über die Beugefähigkeit des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ .....	45
Tabelle 6: Täglich gemessene maximal erreichbare Beugung in Grad [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6.....	46
Tabelle 7: Maximal erreichbare Flexion gemessen in [°] vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6 .....	47
Tabelle 8: Übersicht über die Streckfähigkeit des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ .....	50
Tabelle 9: Grad der Streckung des Kniegelenks in den beiden Studiengruppen für jeden Tag bis zum 6. Tag nach der Operation.....	50
Tabelle 10: Übersicht der Umfangsmessung des Vorfußballens auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ.....	53
Tabelle 11: Übersicht der Umfangsmessung des Fußes auf Höhe des Kahnbeines auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ.....	54
Tabelle 12: Übersicht der Umfangsmessung des Unterschenkels auf Höhe des Sprunggelenks auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ .....	54
Tabelle 13: Übersicht der Umfangsmessung des Unterschenkels 15 cm distal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an acht Messzeitpunkten postoperativ .....	55
Tabelle 14: Übersicht der Umfangsmessung des Beines auf Höhe des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Tagen postoperativ.....	56
Tabelle 15: Übersicht der Umfangsmessung des Oberschenkels 10 cm proximal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ .....	57
Tabelle 16: Übersicht der Umfangsmessung des Oberschenkels 20 cm proximal des Knies auf der Seite des zu operierenden Kniegelenks präoperativ und des operierten Kniegelenks an sieben Messzeitpunkten postoperativ .....	58

Tabelle 17: Übersicht der Werte der visuellen Analog-Skala zur Schmerzangabe aufgeteilt in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe .....	59
Tabelle 18: Deskriptive Statistik für die täglich gemessenen Schmerzwerte mit VAS vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6.....	61
Tabelle 19: ANOVA mit post-hoc-Mehrfachvergleichstest für die täglich gemessenen Schmerzwerte mit VAS vom präoperativen Tag bis zum postoperativen Tag 6.....	61
Tabelle 20: Lineare Regressionsanalyse zwischen dem Geschlecht der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 4 im Vergleich zum Tag der Operation .....	64
Tabelle 21: Lineare Regressionsanalyse zwischen dem Geschlecht der Patienten/Patientinnen und den Veränderungen der VAS am postoperativen Tag 6 im Vergleich zum Tag der Operation .....	65