

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
vormals
Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Klinik der Universität München
Direktor:
Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker
Prof. Dr. med. Boris Holzapfel

Reduzierte Mobilität durch Anordnung einer postoperativen Teilbelastung
nach operativ versorgter proximaler Femurfraktur im Alter:
Eine prospektive Ganganalyse-Studie

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von
Anne Zeller

Aus
Ulm

2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. med. Carl Neuerburg

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Bernhard Heimkes
PD Dr. med. Florian Haasters

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Daniel Pfeufer

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 12.05.2022

Eidesstattliche Versicherung

Zeller, Anne
(Name, Vorname)

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

„Reduzierte Mobilität durch Anordnung einer postoperativen Teilbelastung nach Hüftfrakturversorgung im Alter: Eine prospektive Ganganalyse-Studie“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Tübingen, den 16.05.22

Ort, Datum

Anne Zeller

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	KURZZUSAMMENFASSUNG	1
1.2	DEFINITION UND EPIDEMIOLOGIE DER PERTROCHANTÄREN FEMURFRAKTUR	1
1.3	MORTALITÄT UND LANGZEITERGEBNIS	2
1.4	FOLGEN DER IMMOBILISATION	3
1.5	POSTOPERATIVE MOBILISATION – VORTEILE DER VOLLBELASTUNG	4
1.6	GANGANALYSEMETHODEN	6
1.7	ZIELSETZUNG	7
2	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	8
2.1	AUSWAHL PATIENTENKOLLEKTIV	8
2.2	VERSUCHSAUFBAU	9
2.2.1	BEURTEILUNG FUNKTIONALITÄT UND AKTIVITÄT DER PATIENTEN DURCH FRAGEBÖGEN	10
2.2.1.1	Mini-Mental-Status-Test (MMST)	10
2.2.1.2	Parker Mobility Score (PMS)	10
2.2.1.3	Barthel Index	11
2.2.2	GANGANALYSE	11
2.2.2.1	Messinstrument Sohle	12
2.2.2.2	Bestimmung Ganggeschwindigkeit	13
2.2.2.3	Auswertung der Messung	13
2.3	STATISTISCHE METHODEN	15
3	<u>ERGEBNISSE</u>	16
3.1	DEMOGRAPHISCHE DATEN	16
3.2	BARTHEL-INDEX, EQ-5D UND PMS ZUR AKTIVITÄTSBEURTEILUNG	17
3.3	GANGANALYSE	19
3.3.1	DURCHSCHNITTLICHE SPITZENBELASTUNG	19
3.3.2	GANGGESCHWINDIGKEIT	20

<u>4</u>	<u>DISKUSSION.....</u>	<u>21</u>
4.1	MOBILISATION ALS KERNELEMENT DER ORTHOGERIATRISCHEN VERSORGUNG	21
4.2	UMSETZBARKEIT EINER POSTOPERATIVEN TEILBELASTUNG	23
4.3	REDUZIERTER GANGGESCHWINDIGKEIT BEI PATIENTEN MIT TEILBELASTUNG	24
4.4	MOBILITÄTSDEFIZITE DURCH TEILBELASTUNG - ERGEBNISSE DES PARKER MOBILITY SCORE	26
4.5	LIMITATIONEN.....	27
4.6	FAZIT	28
<u>5</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG.....</u>	<u>29</u>
<u>6</u>	<u>VERÖFFENTLICHUNGEN</u>	<u>31</u>
<u>7</u>	<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>31</u>
<u>8</u>	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>31</u>
<u>9</u>	<u>TABELLENVERZEICHNIS.....</u>	<u>32</u>
<u>10</u>	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>33</u>
<u>11</u>	<u>DANKSAGUNG</u>	<u>39</u>
<u>12</u>	<u>LEBENS LAUF</u>	<u>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</u>

1 Einleitung

1.1 Kurzzusammenfassung

Eine proximale Femurfraktur stellt für den geriatrischen Patienten ein einschneidendes Lebensereignis dar. Ein Verlust an Selbständigkeit und Einschränkungen der Mobilität prägen die Zeit nach der Operation und belasten den Patienten und sein Umfeld [1] [2]. Viele verschiedene Faktoren nehmen Einfluss auf das Langzeitergebnis nach chirurgischer Versorgung einer proximalen Femurfraktur, die sowohl die pertrochantäre Femurfraktur als auch die Schenkelhalsfraktur umfasst. Raunest et al. untersuchten die Prävalenz beider Frakturarten und kamen zu dem Ergebnis, dass beide in etwa gleich häufig auftreten (48,2% pertrochantäre Femurfraktur – 51,8% Schenkelhalsfraktur) [3]. Einen besonders hohen Stellenwert hat die Mobilisierung des Patienten. Sie sollte so früh wie möglich und mit dem Ziel der schmerzadaptierten Vollbelastung stattfinden [4]. Ungeachtet dieser Tatsache entscheiden sich weiterhin bis zu 25% der Operateure ihren Patienten eine Teilbelastung anzuordnen [5]. Die endoprothetische Versorgung von Schenkelhalsfrakturen erlaubt meist ohnehin eine unmittelbare Vollbelastung. Dem gegenüber stehen die osteosynthetisch versorgten pertrochantären Femurfrakturen, die im Fokus dieser Studie stehen. Hier wird zur besseren Frakturheilung oftmals eine postoperative Teilbelastung angeordnet [6]. Der Versuch des Patienten diese einzuhalten und die Angst, dabei etwas falsch zu machen, führen nicht zur gewünschten Entlastung der operierten Extremität, jedoch zu deutlichen Defiziten in der Mobilität des Patienten. Die weitreichenden Konsequenzen der Vorgabe zur postoperativen Teilbelastung sollen in dieser Arbeit ausführlich untersucht und diskutiert werden.

1.2 Definition und Epidemiologie der pertrochantären Femurfraktur

Bei einer pertrochantären Femurfraktur handelt es sich um eine Fraktur im Bereich des proximalen Femurs, die meist nach Sturz auf die entsprechende Hüfte entsteht. Die Frakturlinie verläuft zwischen Trochanter major und minor (siehe **Abbildung 1**).



Abbildung 1: Klassifikation der Femurfrakturen auf Höhe der Trochanterregion (modifiziert nach Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) 31-A1: peritrochantär einfach, 31-A2: peritrochantär multifragmentär, 31-A3: intertrochantär; Quelle: Neuerburg et al., Z Gerontol Geriatr, 2015

Während die deutsche Gesamtbevölkerung im Laufe der nächsten Jahrzehnte zunächst stabil und anschließend rückläufig sein wird, wird die Zahl der über 80-jährigen in Deutschland bis 2050 kontinuierlich auf 9 Millionen ansteigen [7]. Aktuelle Schätzungen prognostizieren für das Jahr 2050 bis zu 6,3 Millionen proximale Femurfrakturen weltweit und damit einhergehende Kosten von bis zu 131,5 Billionen Dollar [8]. Den medizinischen Fachrichtungen der Alterschirurgie und Geriatrie wird infolge dieser demographischen Entwicklung eine besondere Rolle in der Patientenversorgung zuteil.

1.3 Mortalität und Langzeitergebnis

Peritrochantäre Femurfrakturen treten in der Unfallchirurgie besonders häufig bei alterstraumatologischen Patienten auf. Die meisten dieser Patienten leiden an Osteoporose, welche eine reduzierte Knochendichte zur Folge hat. An Prädilektionsstellen des menschlichen Skeletts, wie z.B. Wirbelkörper oder der hüftgelenknahe Oberschenkelknochen, reichen deshalb geringe Kräfte für das Entstehen einer Fraktur aus [1]. Meist führt allein ein Stolpern mit anschließendem Sturz zu einer Fraktur.

Für viele unfallchirurgische Patienten stellt eine solche Fraktur ein einschneidendes Lebensereignis dar, da meist ein deutlicher Verlust an Selbstständigkeit und Einschränkungen in Mobilität und Funktionalität die Folge sind [2]. Um Tätigkeiten des alltäglichen Lebens ausführen zu können, sind diese Patienten häufig auf die Hilfe anderer Personen angewiesen. Hilfestellung wird beispielsweise bei der Körperpflege, dem Führen eines Haushalts oder beim Einkaufen von Lebensmitteln benötigt [9].

Neben den Einschränkungen im alltäglichen Leben, gehen diese Frakturen mit einer hohen 1-Jahres-Mortalität einher [10] [11]. Die Angaben zur Mortalität variieren innerhalb verschiedener Studien erheblich. Während Schnell et al. für die 1-Jahresmortalität Werte von 14% bis 58% nennen, geben Bonnaire et al. die 1-Jahresmortalität mit 11% bis 29% an [12] [13]. Diese Diskrepanz ist dem unterschiedlichen Design der Studien hinsichtlich Alter der Patienten oder Zusammensetzung des Patientenkollektivs geschuldet.

Kammerlander et al. zeigen die hohe Mortalität und die reduzierte Funktionalität exemplarisch anhand einer Studie auf. Nur 30,9% der 246 Patienten (> 80 Jahre) mit proximaler Femurfraktur waren 4,9 Jahre nach der Operation noch am Leben, die 1-Jahres-Mortalität betrug 23,2%. Nach knapp fünf Jahren war mehr als ein Viertel der Überlebenden bettlägerig und nur 8% konnten sich ohne Gehhilfe fortbewegen [11].

1.4 Folgen der Immobilisation

Die Mortalität nach proximalen Femurfrakturen ist hoch und das Langzeitergebnis in vielen Fällen schlecht. Um die Mortalität zu senken und die Funktionalität und Selbstständigkeit des Patienten zu erhalten, ist eine frühe Mobilisation sehr wichtig. Deshalb hat sie einen besonders hohen Stellenwert in der Nachsorge bei alterstraumatologischen Patienten. Wird der Patient erst spät mobilisiert, führt das zu einer höheren Mortalität nach 6 Monaten und einer schlechteren Funktionalität nach 2 Monaten [14]. Außerdem ist eine verzögerte Mobilisation mit einem längeren Krankenhausaufenthalt assoziiert und birgt das Risiko der Entwicklung einer Pneumonie oder eines Delirs [15]. Beides gilt es zu vermeiden, da sowohl postoperative Komplikationen, als auch das Auftreten eines Delirs die Mortalität erhöhen [16] [17]. Bei Verlassen des Krankenhauses profitieren Patienten von einer

früh durchgeführten Mobilisation, da sie einen höheren Grad an Selbstständigkeit bei Entlassung erreichen [18].

Nach einer Operation verbringen die Patienten sehr viel Zeit im Bett und bewegen sich wenig. Infolgedessen kommt es postoperativ zu einem Verlust an Muskelmasse. Dieser Verlust erhöht gerade bei geriatrischen Patienten das Risiko für einen erneuten Sturz, der im schlimmsten Fall eine erneute Fraktur zur Folge hat [19]. Vor dem Hintergrund, dass jede weitere Hüftfraktur mit einer deutlich höheren Mortalität einhergeht, sollte ein erneuter Sturz vermieden werden [20]. Dirks et al. belegen, dass der Abbau von Muskelmasse bereits nach kurzer Zeit der Immobilität beginnt und nach einer Woche Bettruhe die Muskelmasse signifikant reduziert ist [21]. Deshalb ist die frühe Mobilisation in der Alterstraumatologie zum Erhalt der Muskelmasse und der Prävention erneuter Stürze sehr wichtig.

1.5 Postoperative Mobilisation – Vorteile der Vollbelastung

Nach der Operation legt der Chirurg das weitere postoperative Vorgehen fest. Es muss angegeben werden, wie der Patient das operierte Bein belasten darf. Bei pertrochantären Femurfrakturen wird meist zwischen 20kg Teilbelastung oder schmerzabhängiger Vollbelastung entschieden. Die Implantate zur osteosynthetischen Versorgung dieser Frakturen sind sehr stabil und so konzipiert, dass sie einer Vollbelastung standhalten [22].

Die verwendeten Implantate werden zudem stetig weiterentwickelt und verbessert. Im direkten Vergleich zwischen proximalem Femurnagel PFN (2. Generation) und proximalem Femurnagel-Antirotation PFNA (3. Generation) schnitten die Implantate der dritten Generation deutlich besser ab. Mit 14,0% kam es bei Versorgung mit PFN zu mehr als doppelt so vielen Komplikationen als bei Versorgung mit PFNA (5.7%) [23].

Trotz klarer Empfehlung für die postoperative Vollbelastung, ordnen wie oben beschrieben weiterhin bis zu 25% der Chirurgen nach Versorgung einer Hüftfraktur eine Teilbelastung an [5]. Als Hauptgrund für die Anordnung einer postoperativen Teilbelastung geben viele Chirurgen die Angst vor einem Implantatversagen mit der Konsequenz einer erneuten Operation an [6]. Auch Schwachmeyer et al.

assoziiieren mit der postoperativen Vollbelastung Komplikationen im weiteren Verlauf und nehmen an, dass durch die Vollbelastung Bewegungen zwischen Implantat und Knochen entstehen. Diese Bewegungen verhinderten, dass sich das Implantat ausreichend gut mit dem Knochen verbinden könne. Somit würde laut Schwachmeyer et al. die gewünschte Stabilität nicht gewährleistet werden [24].

Bei Verordnung einer Teilbelastung sollte jedoch vom Operateur berücksichtigt werden, dass im Rahmen der Krankenpflege durchgeführte Bewegungen große Kräfte auf die frisch operierte Fraktur ausüben. Diese entsprechen der Kraft bei Vollbelastung oder übersteigen diese sogar. Beispielhaft sei hier die Benutzung der Bettpfanne genannt. Eine Teilbelastung bietet also nicht zwangsläufig den gewünschten Schutz [24].

Die häufigste mechanische Komplikation und damit Grund für eine Revision ist das „Cutting-Out“. Unter „Cutting-Out“ versteht man das Durchstoßen der Schenkelhalsklinge durch die Spongiosa des Femurkopfes. Das Auftreten dieser Komplikation hängt maßgeblich von der technischen Durchführung der Operation ab. Entscheidend sind die Qualität der Frakturposition und die Platzierung der Schenkelhalsklinge [25]. Entgegen der Annahme vieler Chirurgen gibt es also keinen Zusammenhang zwischen Vollbelastung und Implantatversagen. Das „Cutting-out“ ist nicht belastungsbedingt [26].

Die Revisionsraten nach Versorgung einer pertrochantären Femurfraktur mit PFNA variieren je nach Quelle sehr stark und reichen von 2% bis 13% [27] [28]. Koval et al. erfassten in ihrer Studie die Zahl der Revisionen nach Versorgung einer proximalen Femurfraktur. Eingeschlossen wurden 596 Patienten mit Schenkelhals- oder pertrochantärer Femurfraktur. Innerhalb eines Jahres mussten 2.9% der Patienten mit pertrochantärer Fraktur aufgrund eines Implantatversagens erneut operiert werden. Allen Patienten war eine Vollbelastung erlaubt, welche in diesem Fall keinen negativen Einfluss auf die Revisionsrate hatte [29].

Bei direktem Vergleich der beiden Belastungsoptionen zeigen sich im postoperativen Verlauf die Vorteile einer Vollbelastung. So verfügen Patienten mit Vollbelastung gegenüber Patienten mit Teilbelastung nach 4 Monaten über eine bessere Balance und Funktionalität. Die Funktionalität wurde daran bemessen, wie gut der Patient den Bett-Stuhl Transfer durchführen, von einem Stuhl aufstehen, sicher Stehen und Gehen kann [30]. Da die Funktionalität unter anderem

herangezogen wird, um das Langzeitergebnis zu beurteilen, wird hier besonders deutlich, wie wichtig eine postoperative Vollbelastung ist.

Patienten mit Teilbelastung verbringen durchschnittlich mehr Tage im Krankenhaus als Patienten mit Vollbelastung. Neben der frühzeitigen Mobilisation ist demzufolge auch die Art der Belastung ein Prädiktor für die Dauer des Krankenhausaufenthalts. Diese rückt aufgrund der immer älter werdenden Bevölkerung insbesondere aus ökonomischen Gründen bei der Wahl der Behandlungsmethode in den Vordergrund [31]. Bei Raivio et al. liegt der Fokus auf der Dauer der anschließenden Rehabilitation, auch hier verbringen Patienten mit Teilbelastung signifikant mehr Tage in der entsprechenden Einrichtung (53,1 Tage vs. 39,4 Tage) [32].

Insbesondere geriatrische Patienten sind nicht in der Lage eine postoperative Teilbelastung umzusetzen. So stellten Kammerlander et al. fest, dass keiner der 16 Patienten mit pertrochantärer Femurfraktur (alle 75 Jahre oder älter) die vorgeschriebene Teilbelastung einhalten konnte [33]. Vor diesem Hintergrund scheint die stetig anhaltende Diskussion um eine postoperative Teil- bzw. Vollbelastung wenig sinnvoll und die Anordnung einer Teilbelastung obsolet.

Ottesen et al. stellen in ihrer aktuellen Studie aus dem Jahr 2018 erneut dar, welche Folgen eine Teilbelastung für den Patient haben kann. Genannt wird ein längerer Krankenhausaufenthalt, eine erhöhte Mortalität nach 30 Tagen und das vermehrte Auftreten von Komplikationen. Obwohl die weitreichenden Konsequenzen einer Teilbelastung bekannt sind, ordnen weiterhin etwa 25% der Operateure diese an [5].

1.6 Ganganalysemethoden

Die klinische Ganganalyse setzt sich aus drei verschiedenen Komponenten zusammen. Hierzu zählen die kinematische Bewegungsanalyse und die dynamische Elektromyographie. Außerdem spielen verschiedene kinetische Untersuchungstechniken eine wichtige Rolle, um sowohl Bodenreaktionskräfte als auch die plantare Druckverteilung zu messen. Klassische Messinstrumente zur Bestimmung der Bodenreaktionskraft sind die Kraftmessplatte oder das mit Sensoren ausgestattete Laufband. Beide Messinstrumente sind allerdings an ein

bestimmtes räumliches Setting, wie z.B. ein Ganglabor gebunden. Insbesondere ist aufgrund der limitierten Anzahl der aufeinanderfolgenden Kraftmessplatten auch die Strecke, über die eine Ganganalyse durchgeführt werden kann, sehr begrenzt [34]. In der Zwischenzeit wurden die herkömmlichen Methoden um ein weiteres Messinstrument ergänzt, die Sensoreinlagesohle. Diese kann zur Bestimmung der Bodenreaktionskraft in jeden beliebigen Schuh eingelegt werden. So kann die Ganganalyse direkt im Rahmen des stationären Settings durchgeführt werden, ohne auf spezielle räumliche Begebenheiten angewiesen zu sein. Sensoreinlagesohlen ermöglichen außerdem die Messung über einen längeren Zeitraum und in Alltagssituationen. Da die Sensoreinlagesohle (loadsol®) eine qualitativ gleichwertige Alternative zu den herkömmlichen Messinstrumenten ist, stellt sie eine reliable und einfach durchzuführende Art der Ganganalyse für den stationären Rahmen dar [35].

1.7 Zielsetzung

Trotz der Konsequenzen, die eine Teilbelastung für den Patienten hat, wird sie geriatrischen Patienten noch immer verordnet. Ziel dieser Studie ist es den Einfluss der postoperativen Teilbelastung auf die Mobilität des Patienten zu untersuchen. Unter Verwendung neuartiger, mobiler Sensorikrekorder in Form von speziellen Einlagesohlen soll eine Ganganalyse zur Erfassung der Extremitätenbelastung und der Ganggeschwindigkeit durchgeführt werden. Weitere Scores wie der Parker Mobility Score und Aktivitätstests dienen dazu, die Mobilität des Patienten objektiv zu beurteilen. Mithilfe dieser Messinstrumente soll die Annahme bestätigt werden, dass Patienten mit postoperativer Teilbelastung in puncto Mobilität schlechter abschneiden als die entsprechende Vergleichsgruppe von Patienten mit postoperativer Vollbelastung.

2 Material und Methoden

2.1 Auswahl Patientenkollektiv

Eingeschlossen wurden konsekutiv alle unfallchirurgischen Patienten der Klinik für Allgemein-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München, die sich im Studienzeitraum eine trochantäre Femurfraktur zugezogen hatten und mit einem „proximalem Femurnagel-Antirotation“ (PFN-A) versorgt wurden. Hierbei handelte es sich insgesamt um 117 Patienten. Nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien nahmen 22 Patienten mit angeordneter Vollbelastung und 19 Patienten mit angeordneter Teilbelastung an der Studie teil.

Zu den Ausschlusskriterien zählten das postoperative Delir, schwere internistische Vorerkrankungen (z.B. COPD, Diabetes mellitus mit Polyneuropathie) oder hirnorganische Schädigungen, die zu Schwindel bzw. Balancestörungen führen, Alter < 75 Jahre, Mini-Mental-Status-Testergebnis < 26 und eine schon bestehende präoperative Immobilität. Somit konnte gewährleistet werden, dass eine Mobilisation möglich war und die Patienten sowohl kognitiv als auch körperlich in der Lage waren die postoperative Anordnung mit Unterstützung der Physiotherapie umzusetzen.

Außerdem mussten einige Patienten ausgeschlossen werden, da sie nicht an der Studie teilnehmen wollten, eine Sprachbarriere die Verständigung nicht möglich machte oder für die Schuhgröße des Patienten keine entsprechenden Sohlen vorhanden waren.

Nachdem der Patient über den Ablauf der Studie aufgeklärt wurde, erfolgte die schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie.

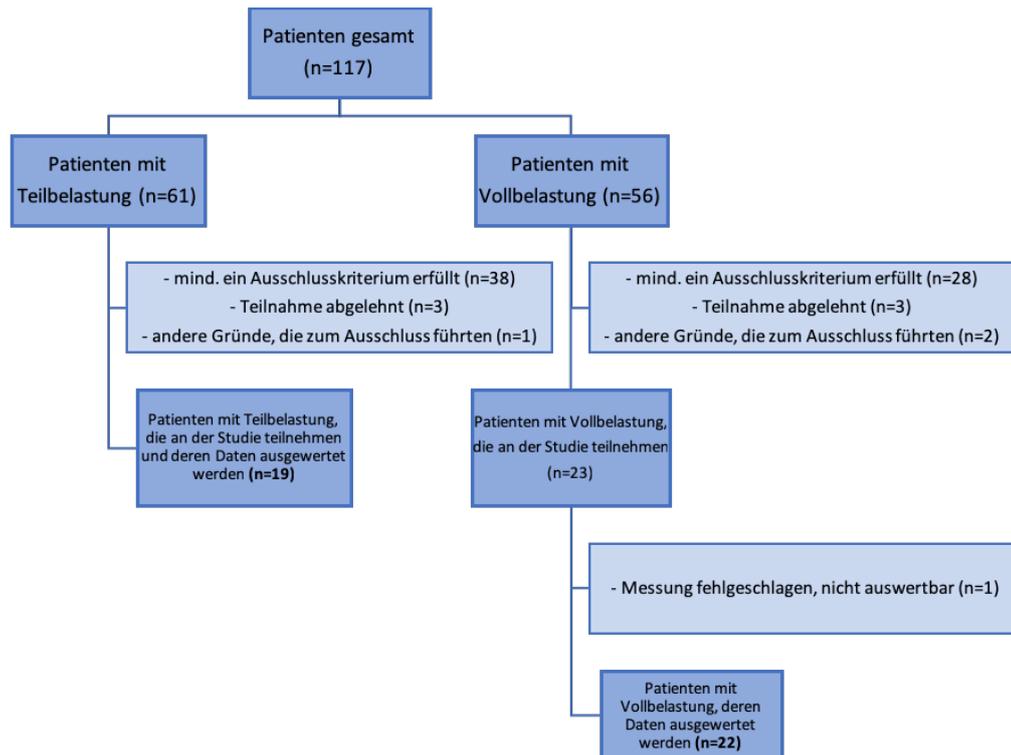


Abbildung 2: Flussdiagramm Auswahl Patientenkollektiv

Die Abbildung zeigt die Anzahl der Patienten pro Gruppe, die an der Studie teilnahmen und deren Daten ausgewertet wurden. Ausgeschlossen wurden Patienten, die mindestens ein Ausschlusskriterium erfüllten, die Teilnahme ablehnten oder aus anderen Gründen, (z.B. Sprachbarriere, Schuhgröße >46 bzw. <36) nicht teilnehmen konnten. Die Ausschlusskriterien werden bereits unter „2.1. Auswahl Patientenkollektiv“ ausführlich beschrieben. Ein Patient mit Vollbelastung musste nachträglich ausgeschlossen werden, da erst bei der Auswertung auffiel, dass die Messung nicht verwertbar war.

2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Hierzu gehören die Beurteilung des Patienten hinsichtlich seiner Mobilität, Selbstständigkeit und kognitiven Fähigkeiten, sowie die Durchführung einer Ganganalyse. Hier dient eine Sensoreinlegesohle im Schuh des Patienten als Messinstrument. Am Ende des Versuchsaufbaus steht die Auswertung der durchgeführten Messung. Die Ganganalyse fand im Durchschnitt nach 5 bis 7 Physiotherapieeinheiten statt.

2.2.1 Beurteilung Funktionalität und Aktivität der Patienten durch Fragebögen

2.2.1.1 *Mini-Mental-Status-Test (MMST)*

Bei dem MMST handelt es sich um einen Test, welcher zur Beurteilung der kognitiven Fähigkeiten eines Patienten verwendet wird. Dem Patienten werden nacheinander und in einer bestimmten Reihenfolge verschiedene Aufgaben gestellt. Pro Aufgabe gibt es, sofern diese richtig ausgeführt wurde, eine bestimmte Anzahl an Punkten. Der Test beinhaltet verschiedene Aufgaben zu Orientierung (Person, Ort, Zeit und Situation), Konzentration, Merkfähigkeit sowie Sprache. Die maximal mögliche Punktzahl beträgt 30. Je kleiner die Punktzahl, desto größer ist die kognitive Einschränkung [36].

2.2.1.2 *Parker Mobility Score (PMS)*

Der Parker Mobility Score wird verwendet, um die Mobilität und das 1 Jahresmortalitätsrisiko des Patienten nach einer Hüft- bzw. proximalen Femurfraktur zu beurteilen. Diese korreliert mit der im Parker Mobility erreichten Punktzahl. Abgefragt wird diese in 3 verschiedenen Kategorien: Fortbewegung innerhalb des Hauses oder der Wohnung, Verlassen des Hauses und Einkaufen gehen. Pro Kategorie können maximal 3 Punkte erreicht werden, wenn die Tätigkeit komplett selbständig ausgeführt wird. Je mehr Hilfe zum Ausführen der Tätigkeit notwendig ist, desto weniger Punkte werden vergeben. Das bedeutet 0 Punkte, wenn die Tätigkeit gar nicht möglich ist, 1 Punkt, wenn die Unterstützung durch andere Personen notwendig ist und 2 Punkte, wenn die Verwendung eines Hilfsmittels (z.B. Gehilfe) notwendig ist [37]. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Mobilität mithilfe des PMS sowohl vor dem Sturz (PMS prä-Sturz), als auch nach der Operation (PMS post-OP) bewertet.

2.2.1.3 *Barthel Index*

Mithilfe des Barthel Index wird bewertet, wie selbstständig der Patient Aktivitäten des täglichen Lebens, z.B. Nahrungsaufnahme, Körperpflege, Toilettengang, Bett-Stuhltransfer oder Treppensteigen, ausführen kann. Insgesamt werden 10 verschiedene Kategorien abgefragt und mit 0, 5, 10 oder 15 Punkten bewertet. Sehr selbständige Patienten erreichen die Maximalpunktzahl von 100 Punkten. Je niedriger die Punktzahl, desto pflegebedürftiger ist der Patient [38].

2.2.2 Ganganalyse

Im Zuge der Ganganalyse wurde die Bodenreaktionskraft beider Extremitäten und die Ganggeschwindigkeit des Patienten ermittelt. Hierfür wurden Sensoreinlagesohlen (loadsol®) der passenden Größe in den Schuhen des Patienten fixiert. Anschließend wurde der Patient aus dem Bett mobilisiert und auf den Stationsflur begleitet. Dort fand die Erhebung der Daten auf einer standardisierten, zuvor ausgemessenen Strecke von 40 Metern statt. Der Patient konnte für die Strecke ein Hilfsmittel seiner Wahl verwenden (z.B. Gehstützen, Gehwagen oder Rollator). Zu Beginn der Messung saß der Patient auf einem Stuhl, der im Stationsflur bereitstand. Erst nach tariieren der Sohlen und Starten der Aufzeichnung stand der Patient auf und lief los, nach 20 Metern wendete der Patient und lief zum Stuhl zurück. Der Wendepunkt war für den Patienten durch eine Markierung kenntlich gemacht. Erst nachdem der Patient wieder Platz genommen hatte, wurde die Messung beendet. Das Körpergewicht des Patienten wurde mit einer Personenwaage bestimmt.

2.2.2.1 Messinstrument Sohle

Die Ganganalyse wurde mithilfe der Einlegesohle loadsol® durchgeführt. Es handelt sich hierbei um ein Produkt der Firma Novel (München, Deutschland). Die flexible und dünne Sohle lässt sich in jeden beliebigen Schuh einlegen und deckt



Abbildung 3: Einlegesohlen loadsol®

Exemplarisch dargestellt ist ein Paar der Einlegesohlen. Die rechte Sohle ist in den Schuh eingelegt, die Messelektronik (blaues Kästchen) außen am Schuh befestigt.

wird und in Echtzeit die gemessenen Daten via Bluetooth an einen Tabletcomputer übermittelt. Da sich die Messelektronik nicht in der Einlegesohle selbst befindet, ist die Propriozeption der Fußsohle und das Gangbild während der Messung nicht beeinträchtigt [39].

Die Einlegesohlen loadsol® mit Kraftsensor sind ein vergleichsweise neues Messinstrument im Bereich der Ganganalyse. Burns et al. haben diese Einlegesohlen mit bereits etablierten Methoden in der Ganganalyse, der Kraftmessplatte AMTI Accupower® und dem Laufband h/p/cosmos Quasar®, in den drei Kategorien „Hüpfen“, „Gehen“ und „Laufen“ verglichen. In der Kategorie „Gehen“ stimmten die beiden Messinstrumente hinsichtlich der gemessenen Kraft überein (ICC = 0.82), in den Kategorien „Hüpfen“ und „Laufen“ konnte sogar eine sehr große Übereinstimmung der gemessenen Kraft gezeigt werden (ICC = 0.96 und ICC 0.92).

Gemessen wurde jeweils die Kraft, die der Fuß auf die Sohle oder die Kraftmessplatte bzw. das Laufband bringt. Der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) wurde als Maß herangezogen, die Übereinstimmung der gemessenen Kräfte

die komplette Fußsohle ab. Sie erfasst Kräfte von 20 bis 2500 N und misst mit einer Frequenz von bis zu 200 Hz sowohl im Stand als auch bei Bewegung die Kraft, die der Fuß auf die Sohle bringt. Dabei spielt es keine Rolle welcher Teil des Fußes gerade am meisten belastet wird. Eine lokale Druckverteilung wird nicht erfasst.

Die Messelektronik der Sohlen befindet sich in einem kleinen Kästchen, das während der Messung außen am Schuh fixiert

zu quantifizieren. Von einer guten Übereinstimmung spricht man bei einem ICC von 0.75 bis 0.89, von einer sehr guten Übereinstimmung ab einem ICC von 0.90.

Auf Grundlage der Ergebnisse von Burns et al. stellen die Einlegesohlen loadsol® ein geeignetes Messinstrument für die in dieser Arbeit durchgeführte Ganganalyse dar [35].

2.2.2.2 Bestimmung Ganggeschwindigkeit

Während der Ganganalyse wurde außerdem die Geschwindigkeit bestimmt, mit der der Patient die vorgegebene Strecke zurücklegt. Um im Rahmen der Auswertung die Ganggeschwindigkeit berechnen zu können, wurde mit einer Stoppuhr die Zeit von Loslaufen bis Wenden gestoppt. Hierbei handelt es sich um eine zuvor abgemessene Strecke von 20 Meter. Um zu bestimmen, wie schnell der Patient gegangen ist, wurde anschließend die Strecke von 20 Meter durch die gestoppte Zeit in Sekunden geteilt. Somit erhielt man die Ganggeschwindigkeit des Patienten in Meter pro Sekunde.

2.2.2.3 Auswertung der Messung

Die Aufzeichnung der via Bluetooth übermittelten Daten erfolgt über ein von Novel zur Verfügung gestelltes Programm. Es handelt sich um das Programm loadsol®, das im Internet kostenlos verfügbar ist und auf dem Tabletcomputer verwendet werden kann. Nach Beenden und Speichern der Messung berechnet das Programm loadsol® selbständig die Avg. Peak Force (N), die durchschnittliche Spitzenbelastung der jeweiligen Extremität (siehe **Abbildung 4**).

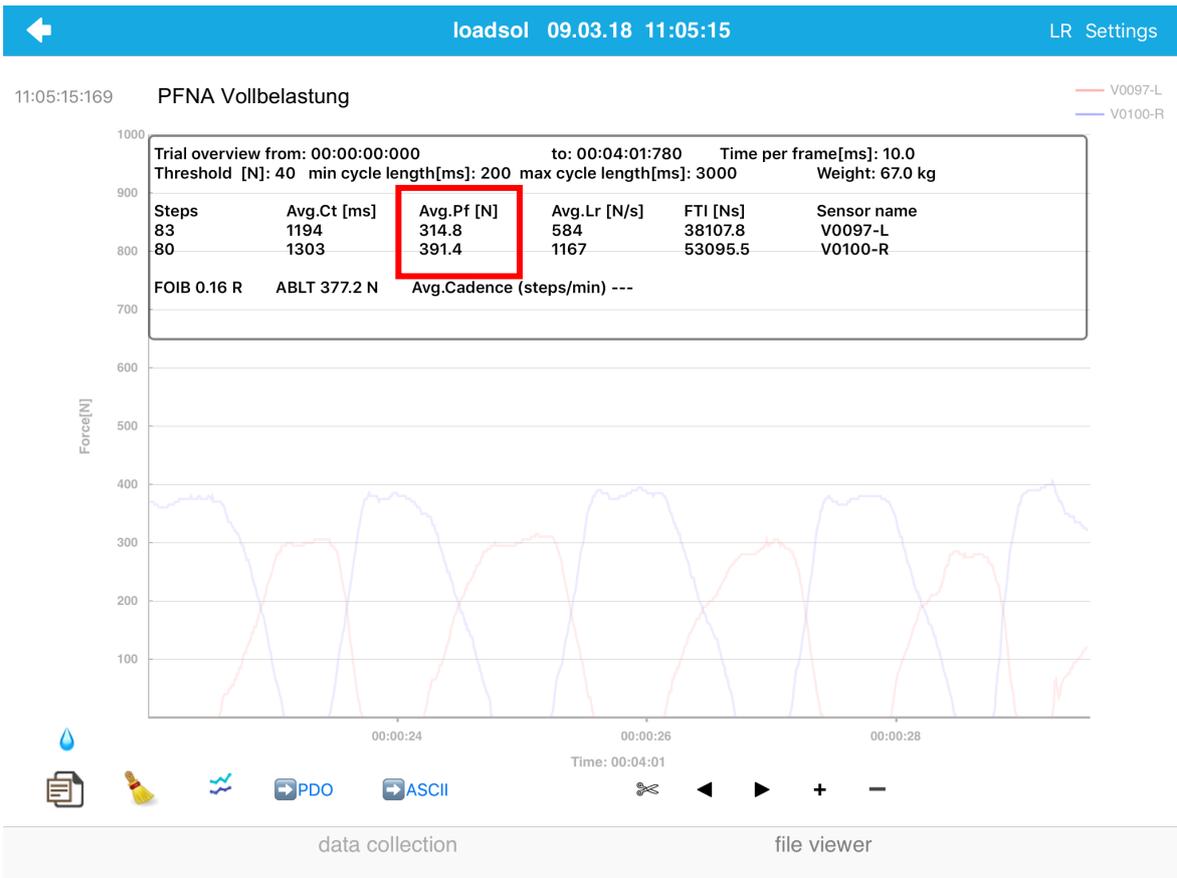


Abbildung 4: Beispiel Auswertung iPad

Zu sehen ist exemplarisch eine Auswertung auf dem Tabletcomputer. Im Hintergrund ist die Belastung der gesunden (blau), wie frakturierten (rot) Extremität in zwei verschiedenen Farben dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit abgebildet, auf der y-Achse die Kraft in Newton. Außerdem zu sehen ist die von dem Programm berechnete durchschnittliche Spitzenbelastung (Avg. Pf [N]) beider Extremitäten.

Die hier gemessene Patientin der Gruppe „Vollbelastung“ wog 61kg. Für die Ganganalyse wurde die Patientin mit einem Gehwagen mobilisiert.

Neben der durchschnittlichen Spitzenbelastung werden, wie in **Abbildung 4** noch weitere Parameter berechnet, die für die hier diskutierte Fragestellung aber nicht von Relevanz waren.

2.3 Statistische Methoden

Die statische Auswertung und Erstellung der Graphen und Tabellen dieser Arbeit erfolgte mit IBM SPSS® Statistics Version 25 (IBM Germany GmbH, Ehningen, Germany) und Microsoft® Excel Version 16.18.

Um signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufzudecken, wurde sowohl der Mann-Whitney-U-Test als auch der t-Test verwendet. Der Mann-Whitney-U-Test wurde für die nicht normalverteilten Parameter Parker-Mobility-Score prä-Fraktur und Ganggeschwindigkeit (m/s) verwendet. Der t-Test hingegen für die normalverteilten Parameter Parker-Mobility-Score post-op und durchschnittliche Spitzenbelastung (N).

Ob in den zu vergleichenden Gruppen eine Normalverteilung vorlag, wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests überprüft.

Mit dem Programm G*Power Version 3.1 (Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf) wurde eine post-hoc Poweranalyse durchgeführt [40].

Bei einer Effektgröße von 1,28 für den postoperativen Parker-Mobility-Score und 1,08 für die Ganggeschwindigkeit kann davon ausgegangen werden, dass die Gruppen mit 19, beziehungsweise 22 Patienten ausreichen groß sind und zu aussagekräftigen Ergebnissen führen.

Für die gesamte Auswertung galt ein p-Wert von $< 0,5$ als statistisch signifikant.

3 Ergebnisse

3.1 Demographische Daten

Insgesamt wurden 41 Patienten in die Studie eingeschlossen und 76 Patienten ausgeschlossen (siehe **Abbildung 2**).

Die 19 Patienten der Gruppe „Teilbelastung“ waren im Durchschnitt $84,37 \pm 6,65$ Jahre alt. Ihr Körpergewicht in Newton betrug durchschnittlich $639,08 \text{ N} \pm 187,14 \text{ N}$, der Body-Mass-Index (BMI) $20,73 \pm 5,04$. 14 der 19 Patienten waren weiblich, 5 männlich.

Die 22 Patienten der Gruppe „Vollbelastung“ waren im Durchschnitt $84,18 \pm 5,86$ Jahre alt. Ihr Körpergewicht in Newton betrug durchschnittlich $633,64 \text{ N} \pm 85,18 \text{ N}$, der Body-Mass-Index (BMI) $23,70 \pm 2,23$. 14 der 22 Patienten waren weiblich, 8 männlich.

Im Mittel betrug der ASA Score (American Society of Anesthesiologists) $2,84 \pm 0,38$ in der Gruppe Teilbelastung und $2,77 \pm 0,69$ in der Gruppe Vollbelastung.

	Teilbelastung (n=19)	Vollbelastung (n=22)
<u>Demographische Daten</u>		
Alter (Jahre)	$84,37 \pm 6,65$	$84,18 \pm 5,86$
Körpergewicht (N)	$639,08 \pm 187,14$	$633,64 \pm 85,18$
BMI (kg/m ²)	$20,73 \pm 5,04$	$23,70 \pm 2,23$
Geschlecht weiblich, n (%)	14 (73,7)	14 (63,6)
ASA Score	$2,84 \pm 0,38$	$2,77 \pm 0,69$
MMST	$27,32 \pm 1,64$	$28,50 \pm 3,04$
<u>AO-Klassifikation</u>		
AO 31-A1, n (%)	7 (36,8 %)	9 (40,9 %)
AO 31-A2, n (%)	11 (57,9 %)	12 (54,5 %)
AO 31-A3, n (%)	1 (5,3 %)	1 (4,5 %)

<u>Gehilfe</u>		
Gehwagen, n (%)	16 (84,2 %)	18 (81,8 %)
Gehstützen, n (%)	0	3 (13,6 %)
Rollator, n (%)	3 (15,8 %)	1 (4,6 %)

Tabelle 1: Demographische Daten, AO-Klassifikation und verwendete Gehilfen

Für keinen der demographischen Parameter ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Testgruppen.

3.2 Barthel-Index, EQ-5D und PMS zur Aktivitätsbeurteilung

In **Tabelle 2** sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Scores für beide Gruppen aufgelistet. Präoperativ lässt sich für keinen Score ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen feststellen. Die postoperativen Einschränkungen in Mobilität (PMS), Selbständigkeit (Barthel-Index) und Lebensqualität (EQ-5D) korrelieren mit schlechteren Ergebnissen beider Gruppen für alle Scores. Während Barthel-Index und EQ-5D jedoch für beide Gruppen gleichermaßen fallen, nimmt der PMS bei Patienten mit Teilbelastung stärker ab als bei Patienten mit Vollbelastung. So nimmt der PMS in der Gruppe „Teilbelastung“ um 5,32 Punkte ab, in der Gruppe „Vollbelastung“ nur um 3,36 Punkte ($p < 0,001$) (**Abbildung 5**). Sowohl für Barthel-Index als auch für EQ-5D ergeben sich postoperativ keine signifikanten Unterschiede.

	Teilbelastung (n=19)	Vollbelastung (n=22)
Barthel-Index (prä-OP)	96,84 ± 4,15	96,59 ± 6,05
Barthel-Index (post-OP)	67,37 ± 10,59	66,36 ± 13,11
EQ-5D (prä-OP)	93,68 ± 8,31	95,00 ± 10,12
EQ-5D (post-OP)	48,42 ± 18,64	51,36 ± 10,37
PMS (prä-OP)	8,53 ± 0,84	8,09 ± 1,63
PMS (post-OP)	3,21 ± 1,03	4,73 ± 1,32
Δ PMS	5,32	3,36

Tabelle 2: Scores im prä- und postoperativem Vergleich

Aufgeführt sind alle erhobenen Scores (Barthel-Index, EQ-5D und PMS) im prä- und postoperativen Vergleich. Blau markiert ist der signifikante Unterschied beim postoperativen Parker Mobility Score (PMS) zwischen den beiden Testgruppen Teil- bzw. Vollbelastung ($p < 0,001$). Ebenfalls aufgeführt ist der Betrag der Differenz zwischen prä- und postoperativem Vergleich (Δ PMS). Für Barthel-Index und EQ-5D ergeben sich postoperativ keine signifikanten Unterschiede.

prä-OP = präoperativ; post-OP = postoperativ

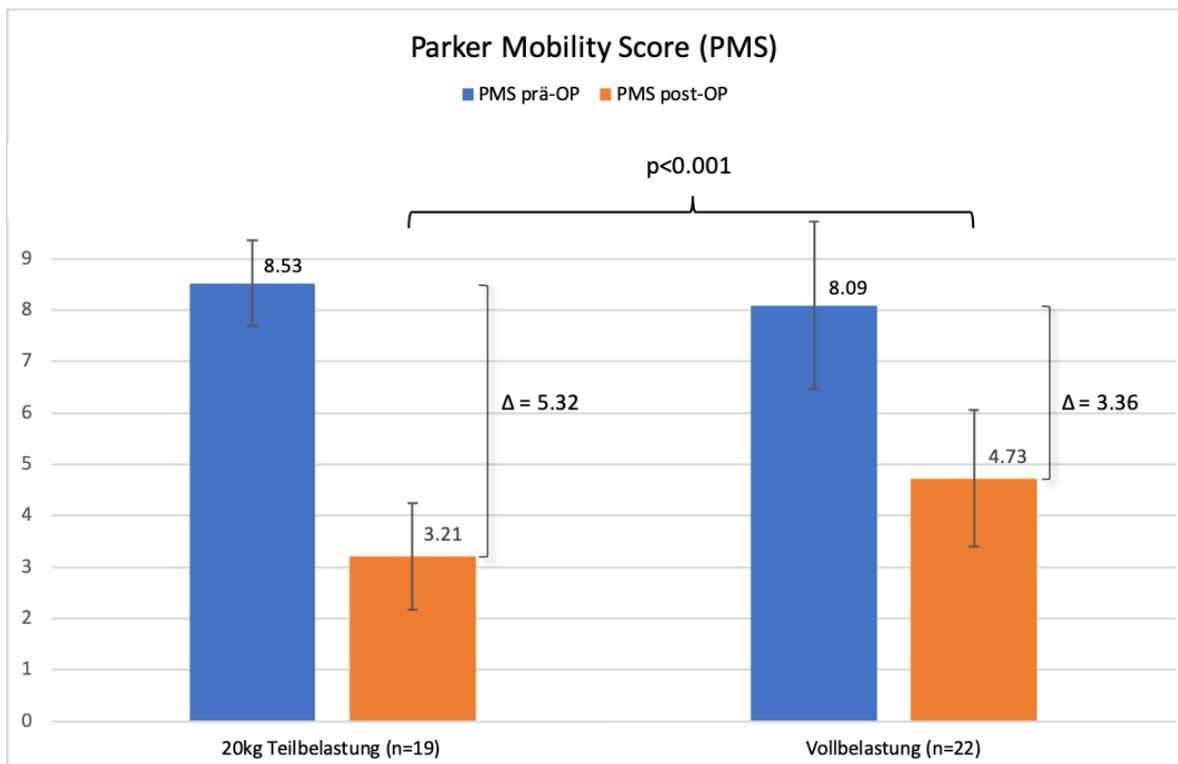


Abbildung 5: Parker Mobility Score für beide Gruppen (prä- und postoperativ)

Im Balkendiagramm dargestellt sind die PMS Ergebnisse prä- und postoperativ für beide Gruppen. Während die blauen Balken den präoperativen PMS abbilden, wird der postoperative PMS durch den orangenen Balken veranschaulicht. Die erreichte Punktzahl im PMS – maximal 9 – wird auf der y-Achse abgebildet. Die Patienten mit Teilbelastung schneiden im postoperativen PMS mit 3,21 Punkten signifikant schlechter ab als Patienten mit Vollbelastung. ($p < 0,001$)

3.3 Ganganalyse

3.3.1 Durchschnittliche Spitzenbelastung

Während der Ganganalyse wurde die durchschnittliche Spitzenbelastung beider Extremitäten in Newton erfasst. Patienten mit Teilbelastung belasteten die operierte Extremität im Schnitt mit $353,08 \text{ N} \pm 103,39 \text{ N}$, Patienten mit Vollbelastung mit $350,25 \text{ N} \pm 61,90 \text{ N}$. Die durchschnittlichen Belastungen der beiden Gruppen weisen keinen signifikanten Unterschied auf. Die gewünschte Entlastung der operierten Extremität in der Gruppe „Teilbelastung“ findet folglich nicht statt.

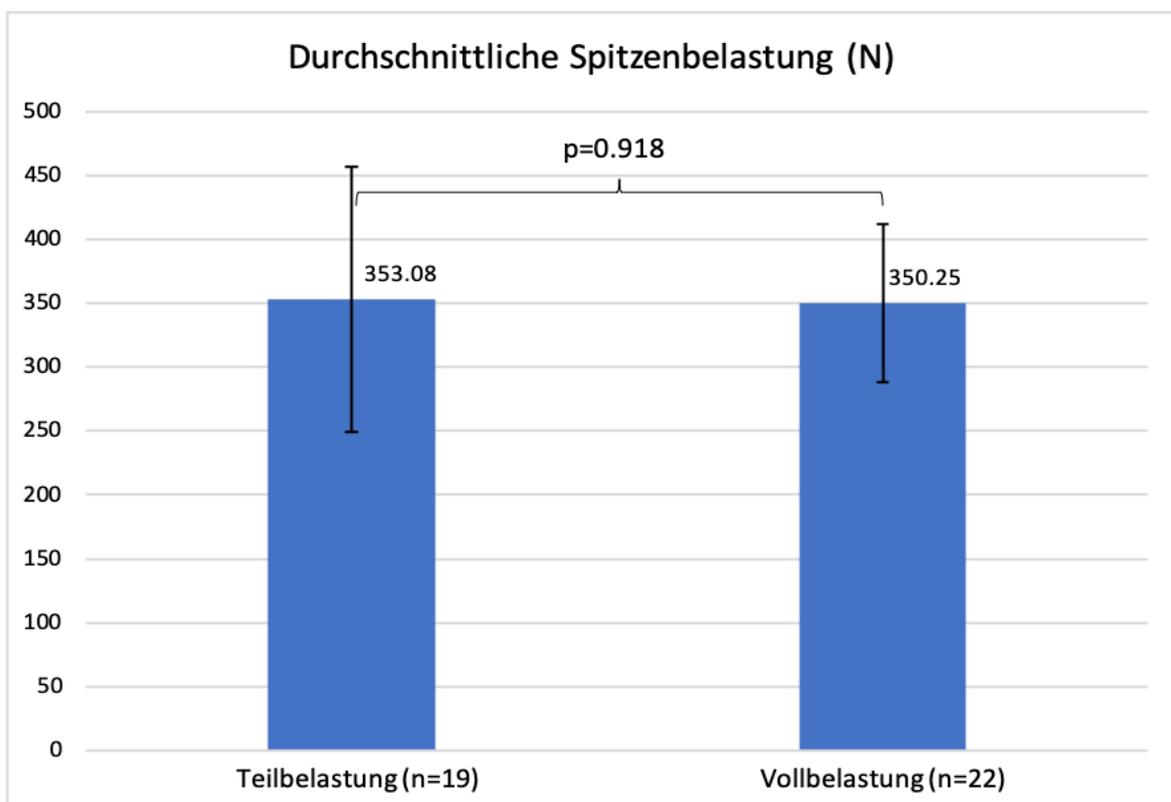


Abbildung 6: Durchschnittliche Spitzenbelastung beider Gruppen

Im Balkendiagramm dargestellt sind die durchschnittlichen Spitzenbelastungen für beide Gruppen. An der y-Achse aufgetragen ist die Belastung in Newton. Hinsichtlich der Belastung der operierten Extremität zeigte sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied ($p=0,918$), was sich auch in den nahezu identisch großen Balken in der Abbildung widerspiegelt.

3.3.2 Ganggeschwindigkeit

Neben der durchschnittlichen Spitzenbelastung wurde im Zuge der Ganganalyse auch die Ganggeschwindigkeit bestimmt. Während sich Patienten mit Vollbelastung durchschnittlich mit einer Geschwindigkeit von $0,28 \text{ m/s} \pm 0,14 \text{ m/s}$ fortbewegen, erreichen die Patienten mit Teilbelastung nur eine durchschnittliche Geschwindigkeit von $0,16 \text{ m/s} \pm 0,07 \text{ m/s}$ und gehen somit $0,12 \text{ m/s}$ langsamer ($p=0,003$).

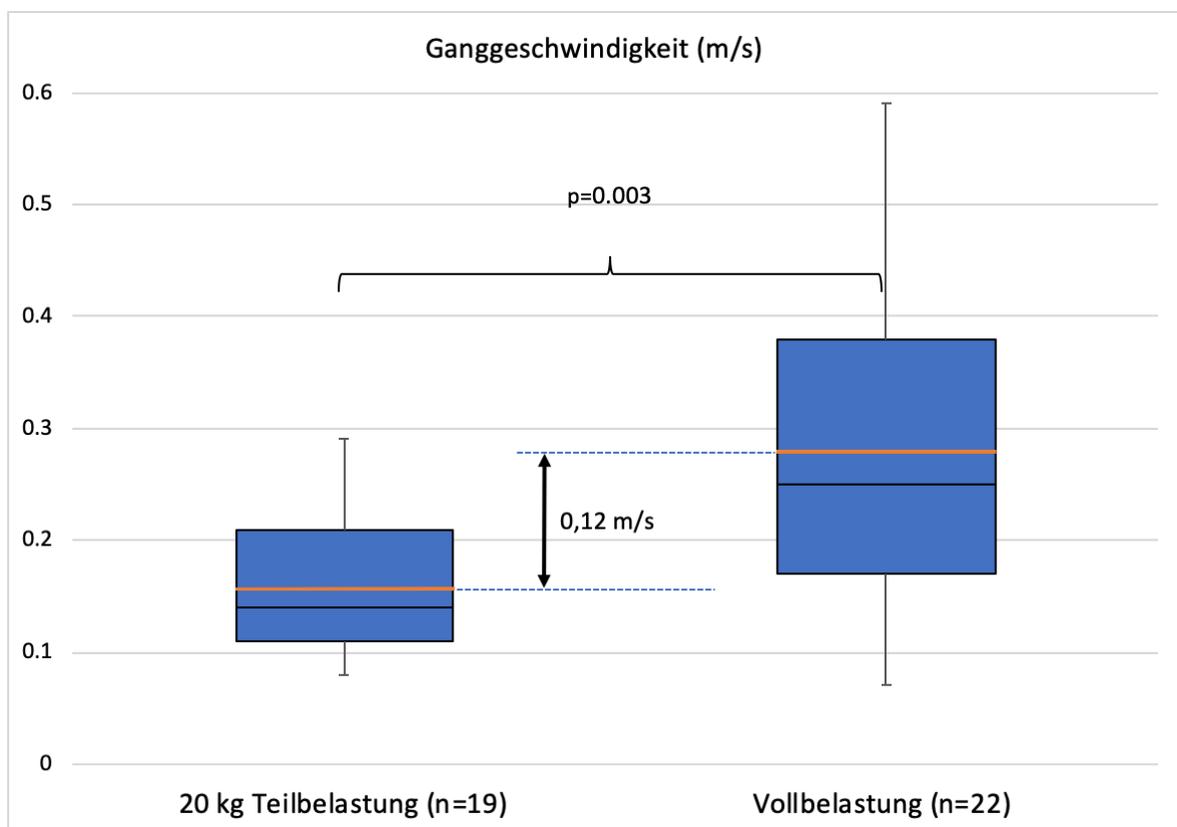


Abbildung 7: Boxplot Ganggeschwindigkeit beider Gruppen

Mittels Boxplots werden die Geschwindigkeiten dargestellt, mit der sich die Patienten beider Gruppen fortbewegen. Die Geschwindigkeit in m/s ist an der y-Achse aufgetragen. Der orangene Strich im jeweiligen Boxplot gibt die mittlere Geschwindigkeit für die entsprechende Gruppe an. Die Patienten mit Teilbelastung gehen im Schnitt $0,12 \text{ m/s}$ langsamer als Patienten mit Vollbelastung.

4 Diskussion

4.1 Mobilisation als Kernelement der orthogeriatrischen Versorgung

Ältere, multimorbide und nur bedingt selbständige Patienten stellen sowohl für Ärzte als auch für Physiotherapeuten und Pflegekräfte eine besondere Herausforderung in der alterstraumatologischen Patientenversorgung dar. Mobilität und Selbständigkeit bei Patienten mit proximaler Femurfraktur zu erhalten bzw. wiederherzustellen ist ein wichtiges Therapieziel. Hierfür ist es unabdingbar die Grundkonstitution des Patienten bei der postoperativen Behandlung zu berücksichtigen [41]. Um alterstraumatologischen Patienten die bestmögliche Versorgung zu gewährleisten hat sich ein stationäres Setting etabliert, das sowohl unfallchirurgische als auch geriatrische Behandlungsansätze miteinander vereint. Im Rahmen dieser kombinierten Versorgung werden Komorbiditäten des Patienten berücksichtigt, Ernährungs- und Flüssigkeitsdefizite ausgeglichen, Risikopatienten für die Entwicklung eines Delirs früh detektiert, täglich eingenommene Medikamente auf unerwünschte Interaktionen oder Nebenwirkungen überprüft und bei Bedarf eine Osteoporosetherapie eingeleitet. Diese verschiedenen Therapieansätze bilden die Grundlage für eine erfolgreiche Mobilisation, die im Zentrum der orthogeriatrischen Behandlung steht [42].

Inwiefern Patienten von diesem orthogeriatrischen Setting profitieren wurde in verschiedenen Studien untersucht. Die Patienten aller Studien erlitten eine Hüftfraktur und waren 70 Jahre oder älter. Sowohl direkt nach der Operation als auch im weiteren Verlauf (4 und 12 Monate postoperativ) schnitten Patienten mit orthogeriatrischer Versorgung besser ab als Patienten, die eine rein unfallchirurgische Behandlung erhielten. Taraldsen et al. verwendeten den Short Physical Performance Battery Test (SPPB) um die Patienten der beiden Versorgungskonzepte am 4. postoperativen Tag miteinander zu vergleichen. Patienten des orthogeriatrischen Settings erzielten bessere Ergebnisse im SPPB Test, der Gleichgewicht, Beinkraft und Ganggeschwindigkeit beurteilt [43]. Den gleichen Test zogen Prestmo et al. 4 Monate nach der Operation heran, um ebenfalls die beiden Konzepte miteinander zu vergleichen. Auch nach 4 Monaten schnitten Patienten des orthogeriatrischen Settings im SPPB Test besser ab. Zudem gaben diese Patienten an, weniger Angst vor einem erneuten Sturz zu

haben [44]. Zusammen mit der besseren selbstempfundenen Mobilität der Patienten, die Thingstad et al. 4 und 12 Monate nach der Operation bei orthogeriatrischer Behandlung feststellen konnten, bedeutet das mehr Sicherheit beim Gehen für betroffene Patienten und damit einhergehend mehr Selbständigkeit und Mobilität [45].

Auch die Patienten dieser Studie sind postoperativ auf eine orthogeriatrische Behandlung angewiesen. Trotz ihres Alters und der bestehenden Multimorbidität (s. ASA Score **Tabelle 1**) waren alle Patienten vor ihrem Sturz selbständig und in ihrer Mobilität kaum eingeschränkt. Das spiegelt sich in der präoperativ erreichten Punktzahl des Parker Mobility Scores wider. Beide Gruppen erreichen nahezu die volle Punktzahl – 8,53 von 9 in der Gruppe Teilbelastung und 8,09 von 9 in der Gruppe Vollbelastung. Bei vergleichbaren Ausgangsbedingungen gilt für alle Patienten dieser Studie, unabhängig von der postoperativ erlaubten Belastung, das gleiche Rehabilitationsziel: Erhalt und Wiederherstellung von Mobilität und Selbständigkeit.

Damit der Patient die oben beschriebene Selbständigkeit und Sicherheit beim Gehen erlangt, sollte die Mobilisation nach proximalen Femurfrakturen so früh wie möglich erfolgen. Sie steht aus den folgenden Gründen im Fokus der orthogeriatrischen Rehabilitation:

(1) Die postoperative Gestaltung der Physiotherapie ist entscheidend für die Wiederherstellung der Mobilität. Nach der Operation sollte möglichst schnell versucht werden den Patienten in den Stand zu mobilisieren und mit ihm erste Schritte zu gehen. Wenn diese ersten Mobilisierungsmaßnahmen verspätet stattfinden, beeinflusst das den Rehabilitationsprozess negativ [7].

(2) Bei Patienten mit proximaler Femurfraktur handelt es sich in der Regel um ein älteres Patientenkollektiv. Mobilitätsdefizite verschiedenen Ausmaßes bestehen häufig schon vor dem Sturz. Insbesondere für diese Patienten ist eine frühe Mobilisation von großer Bedeutung, da Immobilisation und geringe körperliche Aktivität das Risiko eines weiteren körperlichen Abbaus erhöhen. So sind Patienten

mit schon bestehenden Einschränkungen der Mobilität in besonderem Maße von einer erst spät stattfindenden Mobilisation betroffen [43].

(3) Ohne entsprechende Mobilisation baut der Körper sehr schnell Muskelmasse ab. Durch Studien wurde nicht nur belegt, wie schnell der Muskelverlust eintritt, sondern auch, dass alte Menschen noch schneller Muskelmasse verlieren als jüngere Patienten [46]. Das wiederum führt dazu, dass sich im Rahmen eines stationären Aufenthalts bereits am zweiten Tag sowohl eine Verschlechterung der Grundkonstitution als auch der Mobilität bemerkbar machen können [47]. Aus diesem Grund ist es wichtig, geriatrische Patienten früh zu mobilisieren und sie zu ermutigen, so wenig Zeit wie möglich liegend im Bett zu verbringen [46].

(4) Die Abnahme der Muskelmasse als Folge unzureichender Mobilisation wirkt sich außerdem negativ auf das Gangbild aus. Der Gang des Patienten wird zunehmend unsicherer und das Gehen ist mit immer größerer Anstrengung verbunden. Nur mit großem Kraftaufwand können selbst kurze Strecken bewältigt werden. Aus diesem Grund vermeiden betroffene Patienten, wenn möglich das Gehen, sind dadurch aber in ihrem Alltag oft sehr eingeschränkt und auf Hilfe anderer angewiesen [45].

Die postoperative Teilbelastung lässt sich bei geriatrischen Patienten nur schwer mit einer frühen Mobilisation vereinbaren. Bei dem Versuch die Teilbelastung umzusetzen - was meist jedoch nicht gelingt - ist die Angst des Patienten etwas falsch zu machen, und die Anstrengung die Teilbelastung zu erfüllen, so groß, dass die Mobilisierung des Patienten darunter leidet. Eine angeordnete Teilbelastung führt also nicht zur gewünschten Entlastung, jedoch zu Defiziten im Bereich Mobilität.

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse dieser Dissertation stützen die hier aufgestellte Hypothese.

4.2 Umsetzbarkeit einer postoperativen Teilbelastung

Vasarhelyi et al. untersuchten in ihrer Studie, ob eine Teilbelastung vom Patienten umgesetzt werden kann. Sowohl junge als auch alte Patienten wurden in die Studie

eingeschlossen. Beide Gruppen sollten das frisch operierte Bein mit nicht mehr als 200 N belasten, was ungefähr einer Teilbelastung von 20kg entspricht. Keiner der 23 Patienten schaffte es, sich an die maximal erlaubte Belastung zu halten. Alle brachten mehr Gewicht auf das operierte Bein, als eigentlich vom Operateur erlaubt. Insbesondere die älteren Patienten verfehlten das Belastungsziel von 20kg, sie belasteten das betroffene Bein noch stärker als die Gruppe der jüngeren Patienten [48].

19 der 41 im Rahmen der hier vorliegenden Studie untersuchten Patienten wurden durch die Physiotherapie angeleitet postoperativ eine Teilbelastung von 20kg umzusetzen. Mittels Sensorsohle wurde die durchschnittliche Spitzenbelastung beider Gruppen gemessen. Hierbei zeigte sich, dass beide Gruppen trotz unterschiedlicher Vorgaben, Teil- bzw. Vollbelastung, das operierte Bein nahezu identisch belasteten. $353,08 \text{ N} \pm 103,39 \text{ N}$ in der Gruppe Teilbelastung, $350,25 \text{ N} \pm 61,90 \text{ N}$ in der Gruppe Vollbelastung.

Die Tatsache, dass Patienten eine Teilbelastung nicht entsprechend umsetzen können wurde im Rahmen dieser Dissertation ein weiteres Mal bestätigt. Das im Vordergrund stehende Problem ist jedoch, dass alleine der Versuch die Teilbelastung umzusetzen für den Patienten nachteilig sein kann. Im Vergleich zu den 22 Patienten mit erlaubter Vollbelastung, schneiden die 19 Patienten der Gruppe Teilbelastung sowohl bei der Ganggeschwindigkeit als auch beim Parker Mobility Score schlechter ab. Beides sind Instrumente, die es erlauben die Mobilität des Patienten objektiv zu beurteilen.

4.3 Reduzierte Ganggeschwindigkeit bei Patienten mit Teilbelastung

In mehreren Übersichtsarbeiten wurde untersucht, ob und in welchem Ausmaß man Rückschlüsse aus der Ganggeschwindigkeit eines Patienten ziehen kann [49] [50] [51]. Alle kamen zu dem Ergebnis, dass die Ganggeschwindigkeit durchaus ein valides Instrument darstellt, um abzuschätzen wie der Alltag eines alten, aber noch selbständig lebenden Menschen, im Verlauf der nächsten Jahre aussehen wird.

Je langsamer die Patienten gehen, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten von Mobilitätsdefiziten und Stürzen, sowie eine zunehmende Abhängigkeit bei Aktivitäten des täglichen Lebens [49] [50]. Ebenfalls mit reduzierter Geschwindigkeit assoziiert sind eine höhere Mortalität, sowie eine vermehrt stattfindende Hospitalisierung [49] [51]. Abellan et al. und Studenski et al. definierten langsames Gehen durch eine Geschwindigkeit von $\leq 0,8$ m/s [49] [51]. Verghese et al. ordneten erst eine Ganggeschwindigkeit von $\leq 0,7$ m/s als langsames Gehen ein und konnten feststellen, dass diese Patienten ein 1,5-fach höheres Risiko haben zu stürzen [52].

Mit einer Ganggeschwindigkeit von durchschnittlich 0,16 m/s (TB) und 0,28 m/s (VB) gehen sowohl die Patienten mit Teilbelastung als auch die Patienten mit Vollbelastung sehr langsam. Alle 41 Patienten dieser Dissertation liegen damit weit unter der definierten Grenze für langsames Gehen von 0,8 m/s bzw. 0,7 m/s. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass diese Grenze für Patienten festgelegt wurde, die sich selbständig zuhause versorgen. Die allgemein reduzierte Ganggeschwindigkeit beider Gruppen dieser Arbeit ist auf den Zeitpunkt der Messung und die noch nicht lange zurückliegende Versorgung der pertrochantären Femurfraktur zurückzuführen.

Vergleicht man die Geschwindigkeiten der beiden Gruppen Teil- und Vollbelastung miteinander, so kann man feststellen, dass die Patienten mit Vollbelastung 0,12 m/s schneller gehen als die Patienten, welche versuchen eine Teilbelastung umzusetzen. Durch die allgemein reduzierte Ganggeschwindigkeit findet dieser Vergleich zwar auf niedrigem Niveau statt, ist aber von klinischer Bedeutung. Von einem klinisch relevanten Unterschied der Ganggeschwindigkeit nach Hüftfraktur spricht man ab einer Differenz von 0,1 m/s [53] [54]. Mit einer Differenz von 0,12 m/s ist dieses Kriterium erfüllt und der Unterschied zwischen den beiden Gruppen dieser Dissertation (0,16 m/s vs. 0,28 m/s) so groß, dass er klinisch relevante Konsequenzen für den Patienten mit angeordneter Teilbelastung hat.

Welche Konsequenz sich aus einer postoperativ reduzierten Ganggeschwindigkeit für den Patienten ergibt, war Gegenstand der Studie von Gerhardini et al.. Hierfür wurde zeitnah (6. - 7. postoperativer Tag) nach Versorgung der bestehenden Hüftfraktur die Ganggeschwindigkeit der Patienten gemessen. Alle 62 Patienten

wurden anschließend anhand ihrer Ganggeschwindigkeit in zwei Gruppen aufgeteilt und über einen Zeitraum von 12 Monaten beobachtet. Entscheidend für die Gruppeneinteilung war, ob der Patient schneller oder langsamer als 0,2 m/s ging. Im Verlauf der Studie wurde deutlich, dass sowohl einen Monat als auch zwei und zwölf Monate nach Hüftfraktur insbesondere die Patienten funktionell eingeschränkt sind, welche sich postoperativ mit deutlich reduzierter Ganggeschwindigkeit präsentierten ($<0,2$ m/s) [55].

Die im Rahmen dieser Dissertation untersuchten 19 Patienten mit angeordneter Teilbelastung liegen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,16 m/s unter der von Gerhardini et al. festgelegten Grenze von 0,2 m/s, welche ein schlechteres Langzeitergebnis impliziert. Mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,28 m/s sind die Patienten mit Vollbelastung über der kritischen Grenze von 0,2 m/s einzuordnen.

Die frühe postoperative Erhebung der Ganggeschwindigkeit und das vergleichbare Patientenkollektiv lässt ein Übertragen der Ergebnisse von Gerhardini et al. auf das Patientenkollektiv dieser Dissertation zu. Damit wird die Hypothese bestätigt, dass Patienten durch den Versuch eine Teilbelastung umzusetzen, sowohl kurzfristig als auch langfristig in ihrer Mobilität und Funktionalität eingeschränkt sind.

4.4 Mobilitätsdefizite durch Teilbelastung - Ergebnisse des Parker Mobility Score

Die Defizite im Bereich Mobilität spiegeln sich auch in den Ergebnissen des postoperativen Parker Mobility Scores wider. Alle im Zuge dieser Dissertation untersuchten Patienten erreichten vor dem Sturz eine sehr hohe Punktzahl im Parker Mobilität Score (TB-Gruppe: 8,53; VB-Gruppe: 8,09), was einem hohen Grad an Mobilität entspricht. Operationsbedingt erreichten beide Gruppen am Tag der Messung eine niedrigere Punktzahl im Parker Mobility Score als vor dem Sturz. Auffallend ist jedoch, dass die Patienten mit Teilbelastung (3,21 Punkte) im Vergleich zu den Patienten mit Vollbelastung (4,73 Punkte) noch schlechter abschneiden.

Der Grad der Mobilität eines Patienten wird im Parker Mobility Score durch Punkte von 0-9 wiedergegeben. Die so erreichten Punkte korrelieren wiederum mit der 1-Jahresmortalität. Schnell et al. stellten in ihrer Studie fest, dass Patienten mit niedrigem PMS (0-4 Punkte) ein relativ höheres Mortalitätsrisiko haben, als Patienten, die im Parker Mobility Score 5 oder mehr Punkte erreichen [12].

Ein postoperativer PMS von 3,21 bedeutet für die in dieser Dissertation untersuchten 19 Patienten mit Teilbelastung nicht nur ausgeprägte Defizite im Bereich Mobilität, sondern auch eine erhöhte 1-Jahresmortalität.

Mit einem PMS von 4,73 sind die 22 Patienten mit Vollbelastung zwar ebenfalls in ihrer Mobilität eingeschränkt, allerdings nur in geringerem Ausmaß. Zudem impliziert ein PMS von 4,73 laut Schnell et al. im Vergleich ein besseres 1-Jahresüberleben.

Jeweils prä- und postoperativ erhoben wurden außerdem der Barthel Index und der EQ-5D. Wie auch beim Parker Mobility Score schnitten beide Gruppen postoperativ schlechter ab als präoperativ. Allerdings ergaben sich sowohl für den Barthel Index als auch für den EQ-5D keine postoperativen Unterschiede zwischen den Gruppen Voll- und Teilbelastung. Die Mobilität der Patienten wird in beiden Scores zwar berücksichtigt und erfragt, nimmt jedoch nur einen verhältnismäßig kleinen Teil des gesamten Fragebogens ein. Defizite der Mobilität fallen dadurch bei der Auswertung des Barthel Index bzw. des EQ-5Ds nicht so sehr ins Gewicht. Dies erklärt auch, warum sich postoperativ nur für den Parker Mobility Score signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen Voll- und Teilbelastung ergeben.

4.5 Limitationen

Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten stellen eine Momentaufnahme des 5. postoperativen Tags dar. Um die hier diskutierten Ergebnisse noch weiter zu bekräftigen, wären erneute Messungen im Abstand von mehreren Wochen sinnvoll, z.B. zwei und sechs Wochen. Ebenso wäre eine erneute Untersuchung nach einem Jahr zur Beurteilung des Langzeitergebnisses interessant. Auch eine kontinuierliche

Messung über mehrere Wochen könnte, zusätzlich zu den gemessenen Momentaufnahmen, neue Erkenntnisse liefern.

Abgesehen davon sind gerade die ersten Tage nach einer Operation bei geriatrischen Patienten sehr entscheidend für den weiteren Rehabilitationsprozess [14]. Mobilitätsdefizite, die sich bereits in dieser frühen Phase manifestieren, sollten deshalb Gegenstand weiterer Studien sein.

4.6 Fazit

Aus den Ergebnissen dieser Studie wird ersichtlich, dass der Versuch eine Teilbelastung umzusetzen bei den jeweiligen Patienten zu reduzierter Ganggeschwindigkeit und einem schlechteren Parker Mobility Score führt. Vergleicht man die Belastung der operierten Extremität mit der Kontrollgruppe, denen eine Vollbelastung erlaubt ist, fällt auf, dass beide Gruppen die frisch operierte Extremität gleich stark belasten. Eine tatsächliche Entlastung der operierten Extremität bei Patienten mit Teilbelastung findet nicht statt. Es ist also davon auszugehen, dass ältere Patienten nicht in der Lage sind eine Teilbelastung umzusetzen, jedoch in ihrer Mobilität stärker eingeschränkt sind, als Patienten, die postoperativ vollbelasten dürfen. Dieses Defizit kann eine höhere 1-Jahresmortalitätsrate und andere Komplikation zur Folge haben. Aus diesem Grund sollte die Mobilisation von geriatrischen Patienten nach pertrochantärer Femurfraktur in schmerzadaptierter Vollbelastung erfolgen.

5 Zusammenfassung

Nach Versorgung einer proximalen Femurfraktur gilt es im Rahmen des postoperativen Managements die Selbstständigkeit des Patienten wiederherzustellen und seine Mobilität trotz Funktionseinschränkungen zu erhalten. Entscheidend für das Erreichen dieser Ziele ist die Gestaltung der ersten postoperativen Tage, eine Mobilisation des Patienten sollte so zeitnah wie möglich erfolgen. Obwohl es eine klare Empfehlung für die schmerzadaptierte Vollbelastung gibt und durch Studien mehrfach belegt wurde, dass insbesondere alte Patienten eine Teilbelastung nicht umsetzen können, verordnen weiterhin etwa 25% der Operateure ihren Patienten eine postoperative Teilbelastung (Stand 2018). Die vorliegende Studie erfolgte unter der Annahme der Hypothese, dass eine postoperativ angeordnete Teilbelastung nicht zur gewünschten Entlastung, jedoch zu eingeschränkter Mobilität führt.

Im Zuge dieser Dissertation wurde untersucht, welchen Einfluss eine Teilbelastung auf den unmittelbaren postoperativen Verlauf nimmt. Hierfür wurden Patienten zweier Gruppen miteinander verglichen, alle waren 75 Jahre oder älter und hatten eine proximale Femurfraktur, die mit einem proximalen Femurnagel-Antirotation (PFNA) versorgt wurde. Einziger Unterschied zwischen den beiden Gruppen: 19 der 41 Patienten wurden durch die Physiotherapie angeleitet, die vom Operateur verordnete Teilbelastung umzusetzen; die anderen 22 Patienten wurden unter schmerzadaptierter Vollbelastung mobilisiert. Nach 5 – 7 Physiotherapieeinheiten wurde mit allen Patienten eine Ganganalyse durchgeführt. Als Messinstrument diente die Einlegesohle loadsol® der Firma Novel (München, Deutschland). Außerdem wurden am Tag der Ganganalyse Selbstständigkeit und Mobilität des Patienten anhand verschiedener Scores (Parker Mobility Score, Barthel-Index, EQ-5D) erfasst.

Die mittels Einlegesohle gemessene Belastung der operierten Extremität war trotz unterschiedlicher Vorgaben (Vollbelastung vs. Teilbelastung) in beiden Gruppen gleich. Die gewünschte Entlastung fand in der Gruppe „Teilbelastung“ also nicht statt. Patienten, die versuchten eine Teilbelastung umzusetzen liefen während der Ganganalyse 0,12 m/s langsamer als Patienten, die beim Gehen ihr Bein

vollbelasteten. Ab einer Differenz von 0,1 m/s kann von einem klinisch relevanten Unterschied der Ganggeschwindigkeit gesprochen werden. Auch im Parker Mobility Score (PMS) schnitten die Patienten der Gruppe „Teilbelastung“ schlechter ab und erreichten weniger Punkte als die Patienten der Gruppe „Vollbelastung“ (3,21 vs. 4,73). Im Hinblick auf die demographischen Daten, die ASA Klassifikation, den Barthel-Index und den EQ-5D konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen beobachtet werden.

Die Ergebnisse dieser Dissertation zeigen, dass eine Belastungsbeschränkung nicht zur gewünschten Entlastung der betroffenen Extremität führt, für den Patienten jedoch einen Mobilitätsverlust zur Folge hat. Dieser Verlust ist insofern gravierend, da sowohl eine reduzierte Ganggeschwindigkeit als auch ein niedriger Parker Mobility Score mit einem schlechteren Langzeitergebnis und höherer Mortalität assoziiert sind. Man muss davon ausgehen, dass Patienten mit Teilbelastung sowohl unmittelbar nach der Operation als auch über einen längeren Zeitraum in der eigenen Mobilität stark eingeschränkt sind und der gesamte Rehabilitationsprozess unter der verordneten Teilbelastung leidet. In jedem Fall sollten Belastungsbeschränkungen vermieden werden, um eine frühzeitige Mobilisierung bei voller Belastung zu erreichen.

6 Veröffentlichungen

Veröffentlichung der Ergebnisse in „Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery“ Nr. 02/2019. D. Pfeufer, A. Zeller, S. Mehaffey, W. Böcker, C. Kammerlander und C. Neuerburg, „Weight-bearing restrictions reduce postoperative mobility in elderly hip fracture patients“[56].

Präsentation der Ergebnisse im Rahmen des „MuSkITYR“ Programms auf dem Kongress Osteologie 2019 (28. – 30. März 2019) in Frankfurt am Main.

7 Abkürzungsverzeichnis

ICC	-	Intraclass Correlation Coefficient
MMST	-	Mini-Mental-Status-Test
PMS	-	Parker Mobility Score
BMI	-	Body Mass Index
ASA	-	American Society of Anesthesiologists
SPPB	-	Short Physical Performance Battery
TB	-	Teilbelastung
VB	-	Vollbelastung

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifikation der Femurfrakturen auf Höhe der Trochanterregion...	2
Abbildung 2: Flussdiagramm Auswahl Patientenkollektiv	9
Abbildung 3: Einlegesohlen loadsol®	12
Abbildung 4: Beispiel Auswertung iPad.....	14
Abbildung 5: Parker Mobility Score für beide Gruppen (prä- und postoperativ) ..	18
Abbildung 6: Durchschnittliche Spitzenbelastung beider Gruppen.....	19
Abbildung 7: Boxplot Ganggeschwindigkeit beider Gruppen.....	20

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demographischen Daten, AO-Klassifikation und verwendete Gehilfen	17
Tabelle 2: Scores im prä- und postoperativem Verlgleich	18

10 Literaturverzeichnis

- [1] F. Bonnaire, H. Zenker, C. Lill, A. T. Weber, und B. Linke, „Treatment strategies for proximal femur fractures in osteoporotic patients“, *Osteoporos. Int. J. Establ. Result Coop. Eur. Found. Osteoporos. Natl. Osteoporos. Found. USA*, Bd. 16 Suppl 2, S. S93–S102, März 2005, doi: 10.1007/s00198-004-1746-7.
- [2] A. H. Morris, J. D. Zuckerman, und AAOS Council of Health Policy and Practice, USA. American Academy of Orthopaedic Surgeons, „National Consensus Conference on Improving the Continuum of Care for Patients with Hip Fracture“, *J. Bone Joint Surg. Am.*, Bd. 84-A, Nr. 4, S. 670–674, Apr. 2002.
- [3] J. Raunest, R. Engelmann, M. Jonas, und E. Derra, „[Morbidity and mortality in para-articular femoral fractures in advanced age. Results of a prospective study]“, *Unfallchirurg*, Bd. 104, Nr. 4, S. 325–332, Apr. 2001, doi: 10.1007/s001130050735.
- [4] Leitlinie Unfallchirurgie Pertrochantäre Oberschenkelfraktur 2015 Zugriffen am 17.05.20. [Online]. Verfügbar unter: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-002l_S2e_Pertrochantaeere_Oberschenkelfraktur_2015-07-abgelaufen.pdf
- [5] T. D. Ottesen *u. a.*, „Increased complications in geriatric patients with a fracture of the hip whose postoperative weight-bearing is restricted“, *Bone Jt. J.*, Bd. 100-B, Nr. 10, S. 1377–1384, Okt. 2018, doi: 10.1302/0301-620X.100B10.BJJ-2018-0489.R1.
- [6] L. Carlin *u. a.*, „Exploring Canadian surgeons’ decisions about postoperative weight bearing for their hip fracture patients“, *J. Eval. Clin. Pract.*, Bd. 24, Nr. 1, S. 42–47, 2018, doi: 10.1111/jep.12645.
- [7] M. Morri, C. Forni, M. Marchioni, E. Bonetti, F. Marseglia, und A. Cotti, „Which factors are independent predictors of early recovery of mobility in the older adults’ population after hip fracture? A cohort prognostic study“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 138, Nr. 1, S. 35–41, Jan. 2018, doi: 10.1007/s00402-017-2803-y.
- [8] O. Johnell, „The socioeconomic burden of fractures: today and in the 21st century“, *Am. J. Med.*, Bd. 103, Nr. 2A, S. 20S-25S; discussion 25S-26S, Aug. 1997.
- [9] P. a. E. Rosell und M. J. Parker, „Functional outcome after hip fracture. A 1-year prospective outcome study of 275 patients“, *Injury*, Bd. 34, Nr. 7, S. 529–532, Juli 2003.
- [10] P. Ariza-Vega, M. T. Kristensen, L. Martín-Martín, und J. J. Jiménez-Moleón, „Predictors of long-term mortality in older people with hip fracture“, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Bd. 96, Nr. 7, S. 1215–1221, Juli 2015, doi: 10.1016/j.apmr.2015.01.023.

- [11] C. Kammerlander, M. Gosch, U. Kammerlander-Knauer, T. J. Luger, M. Blauth, und T. Roth, „Long-term functional outcome in geriatric hip fracture patients“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 131, Nr. 10, S. 1435–1444, Okt. 2011, doi: 10.1007/s00402-011-1313-6.
- [12] S. Schnell, S. M. Friedman, D. A. Mendelson, K. W. Bingham, und S. L. Kates, „The 1-year mortality of patients treated in a hip fracture program for elders“, *Geriatr. Orthop. Surg. Rehabil.*, Bd. 1, Nr. 1, S. 6–14, Sep. 2010, doi: 10.1177/2151458510378105.
- [13] F. Bonnaire, C. Straßberger, M. Kieb, und P. Bula, „[Osteoporotic fractures of the proximal femur. What’s new?]“, *Chir. Z. Alle Geb. Oper. Medizin*, Bd. 83, Nr. 10, S. 882–891, Okt. 2012, doi: 10.1007/s00104-012-2340-8.
- [14] A. L. Siu, J. D. Penrod, K. S. Boockvar, K. Koval, E. Strauss, und R. S. Morrison, „Early ambulation after hip fracture: effects on function and mortality“, *Arch. Intern. Med.*, Bd. 166, Nr. 7, S. 766–771, Apr. 2006, doi: 10.1001/archinte.166.7.766.
- [15] H. K. Kamel, M. A. Iqbal, R. Mogallapu, D. Maas, und R. G. Hoffmann, „Time to ambulation after hip fracture surgery: relation to hospitalization outcomes“, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, Bd. 58, Nr. 11, S. 1042–1045, Nov. 2003.
- [16] G. B. Aharonoff, K. J. Koval, M. L. Skovron, und J. D. Zuckerman, „Hip fractures in the elderly: predictors of one year mortality“, *J. Orthop. Trauma*, Bd. 11, Nr. 3, S. 162–165, Apr. 1997.
- [17] J. Magaziner, E. M. Simonsick, T. M. Kashner, J. R. Hebel, und J. E. Kenzora, „Survival experience of aged hip fracture patients“, *Am. J. Public Health*, Bd. 79, Nr. 3, S. 274–278, März 1989.
- [18] L. B. Oldmeadow, E. R. Edwards, L. A. Kimmel, E. Kipen, V. J. Robertson, und M. J. Bailey, „No rest for the wounded: early ambulation after hip surgery accelerates recovery“, *ANZ J. Surg.*, Bd. 76, Nr. 7, S. 607–611, Juli 2006, doi: 10.1111/j.1445-2197.2006.03786.x.
- [19] B. T. Wall, M. L. Dirks, und L. J. C. van Loon, „Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: implications for age-related sarcopenia“, *Ageing Res. Rev.*, Bd. 12, Nr. 4, S. 898–906, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.arr.2013.07.003.
- [20] J. Ryg, L. Rejnmark, S. Overgaard, K. Brixen, und P. Vestergaard, „Hip fracture patients at risk of second hip fracture: a nationwide population-based cohort study of 169,145 cases during 1977–2001“, *J. Bone Miner. Res. Off. J. Am. Soc. Bone Miner. Res.*, Bd. 24, Nr. 7, S. 1299–1307, Juli 2009, doi: 10.1359/jbmr.090207.
- [21] M. L. Dirks *u. a.*, „One Week of Bed Rest Leads to Substantial Muscle Atrophy and Induces Whole-Body Insulin Resistance in the Absence of Skeletal Muscle Lipid Accumulation“, *Diabetes*, Bd. 65, Nr. 10, S. 2862–2875, 2016, doi: 10.2337/db15-1661.

- [22] O. Gonschorek, A. P. Verheyden, A. Tiemann, und C. Josten, „Komplikationen mit dem proximalen Femurnagel (PFN)“, *Trauma Berufskrankh.*, Bd. 5, Nr. 0, S. s171–s174, März 2003, doi: 10.1007/s10039-002-0575-1.
- [23] A. Lenich, H. Vester, M. Nerlich, E. Mayr, U. Stöckle, und B. Füchtmeier, „Clinical comparison of the second and third generation of intramedullary devices for trochanteric fractures of the hip--Blade vs screw“, *Injury*, Bd. 41, Nr. 12, S. 1292–1296, Dez. 2010, doi: 10.1016/j.injury.2010.07.499.
- [24] V. Schwachmeyer, P. Damm, A. Bender, J. Dymke, F. Graichen, und G. Bergmann, „In vivo hip joint loading during post-operative physiotherapeutic exercises“, *PloS One*, Bd. 8, Nr. 10, S. e77807, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0077807.
- [25] L. Murena u. a., „Predictors of cut-out after cephalomedullary nail fixation of pertrochanteric fractures: a retrospective study of 813 patients“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 138, Nr. 3, S. 351–359, März 2018, doi: 10.1007/s00402-017-2863-z.
- [26] G. Caruso u. a., „A six-year retrospective analysis of cut-out risk predictors in cephalomedullary nailing for pertrochanteric fractures: Can the tip-apex distance (TAD) still be considered the best parameter?“, *Bone Jt. Res.*, Bd. 6, Nr. 8, S. 481–488, Aug. 2017, doi: 10.1302/2046-3758.68.BJR-2016-0299.R1.
- [27] X. Yaozeng, G. Dechun, Y. Huilin, Z. Guangming, und W. Xianbin, „Comparative study of trochanteric fracture treated with the proximal femoral nail anti-rotation and the third generation of gamma nail“, *Injury*, Bd. 41, Nr. 12, S. 1234–1238, Dez. 2010.
- [28] A. Kashigar, A. Vincent, M. J. Gunton, D. Backstein, O. Safir, und P. R. T. Kuzyk, „Predictors of failure for cephalomedullary nailing of proximal femoral fractures“, *Bone Jt. J.*, Bd. 96-B, Nr. 8, S. 1029–1034, Aug. 2014, doi: 10.1302/0301-620X.96B8.33644.
- [29] K. J. Koval, K. D. Friend, G. B. Aharonoff, und J. D. Zukerman, „Weight bearing after hip fracture: a prospective series of 596 geriatric hip fracture patients“, *J. Orthop. Trauma*, Bd. 10, Nr. 8, S. 526–530, 1996.
- [30] C. Sherrington, S. R. Lord, und R. D. Herbert, „A randomized controlled trial of weight-bearing versus non-weight-bearing exercise for improving physical ability after usual care for hip fracture“, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Bd. 85, Nr. 5, S. 710–716, Mai 2004.
- [31] J. Wu, S. Kurrle, und I. D. Cameron, „Restricted weight bearing after hip fracture surgery in the elderly: economic costs and health outcomes“, *J. Eval. Clin. Pract.*, Bd. 15, Nr. 1, S. 217–219, Feb. 2009, doi: 10.1111/j.1365-2753.2008.00943.x.

- [32] M. Raivio, O. Korkala, K. Pitkala, und R. Tilvis, „Rehabilitation Outcome in Hip-Fracture: Impact of Weight-Bearing Restriction-A Preliminary Investigation“, *Phys. Occup. Ther. Geriatr.*, Bd. 22, Nr. 4, S. 1–9, Feb. 2005, doi: 10.1300/J148v22n04_01.
- [33] C. Kammerlander, D. Pfeufer, L. A. Lisitano, S. Mehaffey, W. Böcker, und C. Neuerburg, „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“, *J. Bone Joint Surg. Am.*, Bd. 100, Nr. 11, S. 936–941, Juni 2018, doi: 10.2106/JBJS.17.01222.
- [34] T. Mittlmeier und D. Rosenbaum, „[Clinical gait analysis]“, *Unfallchirurg*, Bd. 108, Nr. 8, S. 614–629, Aug. 2005, doi: 10.1007/s00113-005-0978-0.
- [35] G. T. Burns, J. Deneweth Zandler, und R. F. Zernicke, „Validation of a wireless shoe insole for ground reaction force measurement“, *J. Sports Sci.*, S. 1–10, Nov. 2018, doi: 10.1080/02640414.2018.1545515.
- [36] M. F. Folstein, S. E. Folstein, und P. R. McHugh, „‘Mini-mental state’. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician“, *J. Psychiatr. Res.*, Bd. 12, Nr. 3, S. 189–198, Nov. 1975.
- [37] M. J. Parker und C. R. Palmer, „A new mobility score for predicting mortality after hip fracture“, *J. Bone Joint Surg. Br.*, Bd. 75, Nr. 5, S. 797–798, Sep. 1993.
- [38] F. I. Mahoney und D. W. Barthel, „FUNCTIONAL EVALUATION: THE BARTHEL INDEX“, *Md. State Med. J.*, Bd. 14, S. 61–65, Feb. 1965.
- [39] Loadsol Biomechanik Flyer. Zugegriffen am 17.05.20. [Online]. Verfügbar unter: https://www.novel.de/wp-content/uploads/2019/03/loadsol_biomechanics.pdf
- [40] F. Faul, E. Erdfelder, A.-G. Lang, und A. Buchner, „G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences“, *Behav. Res. Methods*, Bd. 39, Nr. 2, S. 175–191, Mai 2007.
- [41] M. Heinonen, P. Karppi, T. Huusko, H. Kautiainen, und R. Sulkava, „Post-operative degree of mobilization at two weeks predicts one-year mortality after hip fracture“, *Aging Clin. Exp. Res.*, Bd. 16, Nr. 6, S. 476–480, Dez. 2004.
- [42] U. C. Liener, K. Peters, E. Hartwig, R. Hoffmann, und B. Bücking, „Orthogeriatric“, *Z. Für Orthop. Unfallchirurgie*, Bd. 156, Nr. 03, S. 335–347, Juni 2018, doi: 10.1055/s-0043-116675.
- [43] K. Taraldsen *u. a.*, „Physical behavior and function early after hip fracture surgery in patients receiving comprehensive geriatric care or orthopedic care-- a randomized controlled trial“, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, Bd. 69, Nr. 3, S. 338–345, März 2014, doi: 10.1093/gerona/glt097.
- [44] A. Prestmo *u. a.*, „Comprehensive geriatric care for patients with hip fractures: a prospective, randomised, controlled trial“, *The Lancet*, Bd. 385, Nr. 9978, S. 1623–1633, Apr. 2015, doi: 10.1016/S0140-6736(14)62409-0.

- [45] P. Thingstad *u. a.*, „The long-term effect of comprehensive geriatric care on gait after hip fracture: the Trondheim Hip Fracture Trial—a randomised controlled trial“, *Osteoporos. Int.*, Bd. 27, Nr. 3, S. 933–942, März 2016, doi: 10.1007/s00198-015-3313-9.
- [46] P. Kortebein *u. a.*, „Functional Impact of 10 Days of Bed Rest in Healthy Older Adults“, *J. Gerontol. Ser. A*, Bd. 63, Nr. 10, S. 1076–1081, Okt. 2008, doi: 10.1093/gerona/63.10.1076.
- [47] C. H. Hirsch, L. Sommers, A. Olsen, L. Mullen, und C. H. Winograd, „The Natural History of Functional Morbidity in Hospitalized Older Patients“, *J. Am. Geriatr. Soc.*, Bd. 38, Nr. 12, S. 1296–1303, 1990, doi: 10.1111/j.1532-5415.1990.tb03451.x.
- [48] A. Vasarhelyi, T. Baumert, C. Fritsch, W. Hopfenmüller, G. Gradl, und T. Mittlmeier, „Partial weight bearing after surgery for fractures of the lower extremity--is it achievable?“, *Gait Posture*, Bd. 23, Nr. 1, S. 99–105, Jan. 2006, doi: 10.1016/j.gaitpost.2004.12.005.
- [49] G. Abellan van Kan *u. a.*, „Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force“, *J. Nutr. Health Aging*, Bd. 13, Nr. 10, S. 881–889, Dez. 2009.
- [50] S. Perera *u. a.*, „Gait Speed Predicts Incident Disability: A Pooled Analysis“, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, Bd. 71, Nr. 1, S. 63–71, Jan. 2016, doi: 10.1093/gerona/glv126.
- [51] S. Studenski *u. a.*, „Gait Speed and Survival in Older Adults“, *JAMA J. Am. Med. Assoc.*, Bd. 305, Nr. 1, S. 50–58, Jan. 2011, doi: 10.1001/jama.2010.1923.
- [52] J. Verghese, R. Holtzer, R. B. Lipton, und C. Wang, „Quantitative Gait Markers and Incident Fall Risk in Older Adults“, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, Bd. 64A, Nr. 8, S. 896–901, Aug. 2009, doi: 10.1093/gerona/glp033.
- [53] K. M. Palombaro, R. L. Craik, K. K. Mangione, und J. D. Tomlinson, „Determining meaningful changes in gait speed after hip fracture“, *Phys. Ther.*, Bd. 86, Nr. 6, S. 809–816, Juni 2006.
- [54] R. W. Bohannon und S. S. Glenney, „Minimal clinically important difference for change in comfortable gait speed of adults with pathology: a systematic review“, *J. Eval. Clin. Pract.*, Bd. 20, Nr. 4, S. 295–300, Aug. 2014, doi: 10.1111/jep.12158.
- [55] S. Gherardini *u. a.*, „Prognostic Implications of PredischARGE Assessment of Gait Speed After Hip Fracture Surgery“, *J. Geriatr. Phys. Ther.* 2001, Bd. 42, Nr. 3, S. 148–152, Sep. 2019, doi: 10.1519/JPT.0000000000000144.

- [56] D. Pfeufer, A. Zeller, S. Mehaffey, W. Böcker, C. Kammerlander, und C. Neuerburg, „Weight-bearing restrictions reduce postoperative mobility in elderly hip fracture patients“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 139, Nr. 9, S. 1253–1259, Sep. 2019, doi: 10.1007/s00402-019-03193-9.

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die diese Arbeit möglich gemacht haben.

Herrn PD Dr. med Carl Neuerburg möchte ich für die Überlassung des Promotionsthemas und die Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Daniel Pfeufer für die engagierte Betreuung und das entgegengebrachte Vertrauen. Die stets wertvollen Anregungen und die Unterstützung bei Durchführung und Ausarbeitung der Arbeit trugen sehr zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Bei Chiara Grabmann möchte ich mich für die unkomplizierte Zusammenarbeit bei Erhebung der Daten bedanken.

Meinen Eltern danke ich für ihre unermüdliche Unterstützung in jeglicher Hinsicht.