

Aus der Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. Wolfgang Böcker

**Umsetzung der postoperativen Teilbelastung bei älteren
Hüftfrakturpatienten. Eine Belastungsanalyse mittels
Einlagesohle.**

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

vorgelegt von
Leonard Adolf-Lisitano

aus
Gräfelfing

2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. med. Carl Neuerburg

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Andreas Fottner
PD Dr. Volker Braunstein

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

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2020

Eidesstattliche Versicherung

Adolf-Lisitano, Leonard

(Name, Vorname)

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

„Umsetzung der postoperativen Teilbelastung bei älteren Hüftfrakturpatienten. Umsetzung der postoperativen Teilbelastung bei älteren Hüftfrakturpatienten. Eine Belastungsanalyse mittels Einlagesohle.“

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.

Garching, den 01.07.2019

Leonard Adolf-Lisitano

Inhalt

1. Einleitung.....	5
1.1. Hintergrund	5
1.2. Bedeutung der Belastung nach Frakturen in der Alterstraumatologie	5
1.3. Aktuelle Nachbehandlungsschemata	7
1.4. Kraftmessung mittels Einlegesohlen und andere aktuelle Biofeedbackmethoden.....	8
1.5. Literatur zur Studie	12
1.6. Zielsetzung.....	13
2. Material und Methoden	14
2.1. Einschlusskriterien	14
2.2. Studiendesign und Durchführung	15
2.3. Verwendete Scores	17
2.4. Statistik.....	18
3. Ergebnisse und Diskussion.....	19
3.1. Allgemeine Ergebnisse.....	19
3.2. Maximal Belastung innerhalb der Testgruppen	19
3.3. Zeit der Überbelastung innerhalb der Studiengruppen.....	24
3.4. Unterschied der Gruppen in PMS, Barthel-Index und EQ-5D	25
3.5. PMS, Barthel-Index und EQ5D im prä- versus postoperativen Vergleich	25
3.6. Unterschiede bei verschiedenen Gehilfen	28
3.7. Umsetzbarkeit der postoperativen Teilbelastung	29
3.7.1. Kontrollgruppe (18 - 40 Jahre).....	29
3.7.2. Testgruppe (> 75 Jahre)	29
3.8. Diskussion.....	29
3.9. Limitationen und Stärken der durchgeführten Studie	34
4. Zusammenfassung	35
5. Veröffentlichungen im Rahmen des Promotionsverfahrens.....	36
6. Abkürzungsverzeichnis	37
7. Literaturverzeichnis.....	38
8. Danksagungen.....	41

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Hüftfrakturen, die häufig im Rahmen von Bagatellverletzungen auf dem Boden einer Osteoporose entstehen, sind typische Frakturen älterer Patienten. Durch die demographische Entwicklung in den westlichen Ländern, insbesondere in Deutschland, nehmen der Anteil der über 70-Jährigen in der Bevölkerung und damit auch die Zahl osteoporotischer Frakturen stetig zu.¹ Die Inzidenz von proximalen Femurfrakturen soll weltweit von 1,7 Millionen im Jahr 1990 auf bis zu 6,3 Millionen im Jahr 2050 ansteigen.² Vor diesem Hintergrund muss eine effiziente Behandlung mit schnellstmöglicher Wiedereingliederung in das gewohnte Umfeld erfolgen, um sowohl die Lebensqualität der Patienten zu verbessern als auch Kosten im Gesundheitssystem gering zu halten.

1.2. Bedeutung der Belastung nach Frakturen in der Alterstraumatologie

Nach einer proximalen Femurfraktur ist die Mobilität der Patienten stark eingeschränkt. Immobilität und Bettlägerigkeit sind besonders bei geriatrischen Patienten problematisch und gehen oft mit schweren Folgekomplikationen einher. Die 1-Jahres-Mortalität liegt hierbei zwischen 14% und 36%.³ Zu den häufigsten schweren Komplikationen gehören Thrombosen, postoperatives Delir, Harnwegsinfektionen, Pneumonien und Druckulcera.

Des Öfteren wird bei älteren Patienten eine postoperative Teilbelastung verschrieben, die auch in den orthopädischen Guidelines 2015 der American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) als „eventuell angebracht“ deklariert ist.⁴ Besonders weniger aktive, ältere Patienten mit pertrochantären Femurfrakturen würden aber von einer frühen Mobilisierung, die durch eine

¹ „Bevölkerung nach Altersklassen (Deutschland): Deutschland in Zahlen“.

² Friedman und Mendelson, „Epidemiology of Fragility Fractures“.

³ Zuckerman, „Hip Fracture“.

⁴ „Surgeons AAoO. Appropriate Use Criteria For Postoperative Rehabilitation of Low Energy Hip Fractures in the Elderly2015 - Google-Suche“.

vorgegebene Teilbelastung erschwert und eventuell verzögert wird, profitieren.⁵ Zudem ist sowohl die 1-Jahres- als auch die Gesamt-Mortalität nach einer Schenkelhalsfraktur bei erlaubter Vollbelastung signifikant niedriger als bei Patienten, die eine Teilbelastung einhalten sollen.^{6 7}

Um Komplikationen zu vermeiden und die Mortalität bei diesen Patienten nachhaltig zu senken, muss folglich die Zeit der Immobilität und Hospitalisierung verkürzt werden. Erreichbar ist dieses Ziel durch eine möglichst frühe Mobilisierung, ein orthogeriatrisches Kommanagement – zur besseren Kontrolle von Komorbiditäten – und ein effizientes Entlassungsmanagement.^{8 9}

Diese interdisziplinären Anforderungen werden in besonderem Ausmaß in Alterstraumazentren mit multiprofessionellen Teams umgesetzt. Dort werden die Patienten nicht nur von Unfallchirurgen oder Geriatern behandelt, sondern von einem fächerübergreifenden Team, das gemeinsam Entscheidungen trifft und die Behandlungsverantwortung trägt.¹⁰ Diese enge Zusammenarbeit von Geriatern und Unfallchirurgen kann die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus signifikant verkürzen, die individuelle Versorgung verbessern und die anschließende Nachsorge erleichtern.^{11 12}

Auch die Entwicklung eines postoperativen Delirs tritt mit höherem Alter und vermehrten Komorbiditäten häufiger auf und führt zu einer Verzögerung der Mobilisation und Rehabilitation. Lundstrom et al. konnten in einer randomisierten Studie zeigen, dass die Therapie des postoperativen Delirs bei über 70-Jährigen mit einer Schenkelhalsfraktur durch die Zusammenarbeit von Unfallchirurgen/Orthopäden und Geriatern (auf einer geriatrischen Station) im Vergleich zu rein orthopädischen Stationen signifikant verbessert wird. Die Dauer

⁵ Schwachmeyer u. a., „In Vivo Hip Joint Loading during Post-Operative Physiotherapeutic Exercises“.

⁶ Ariza-Vega u. a., „Predictors of Long-Term Mortality in Older People with Hip Fracture“.

⁷ Langenhan u. a., „Aggressive Surgical Treatment of Periprosthetic Femur Fractures Can Reduce Mortality“.

⁸ Kammerlander u. a., „[Co-management in geriatric traumatology]“.

⁹ Neuerburg u. a., „[Proximal femoral fractures in the elderly]“.

¹⁰ Kammerlander u. a., „[Co-management in geriatric traumatology]“.

¹¹ Henderson u. a., „Dedicated Orthogeriatric Service Reduces Hip Fracture Mortality“.

¹² Friedman u. a., „Impact of a Comanaged Geriatric Fracture Center on Short-Term Hip Fracture Outcomes“.

eines aufgetretenen Delirs, die Komplikationsrate und die Aufenthaltsdauer im Akutkrankenhaus konnten dadurch zusätzlich verringert werden.¹³

Maßnahmen zur Verkürzung der Liegezeit führen außerdem – bei der üblichen stationären Therapie ohne geriatrischer Komplexbehandlung und intensivierter physiotherapeutischer Mobilisierung – zu einem besseren Erhalt von Muskelmasse und funktioneller Kraft. Durch eine komplette Entlastung werden diese Faktoren negativ beeinflusst. Insbesondere ältere Patienten leiden bei prolongierter Bettruhe unter Muskelatrophie und können diese Defizite nur schwer wieder ausgleichen.¹⁴ Bereits bei jungen gesunden Männern führte eine Woche strikte Bettruhe nach einer Studie von Dirks et al. zu einem signifikanten Verlust von Muskelgewebe, des Quadrizepsfemoris-Querschnitts und der Insulinsensitivität im ganzen Körper.¹⁵

Um die Hauptziele der operativen Intervention, nämlich die Wiederherstellung des funktionellen Status und der Unabhängigkeit im Alltag, zu erreichen, ist eine vollbelastende Mobilisation notwendig.¹⁶

1.3. Aktuelle Nachbehandlungsschemata

Zur Nachbehandlung einer operativ versorgten Schenkelhalsfraktur sind in der AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.) -Guideline neben den allgemeinen postoperativen Maßnahmen (Thromboseprophylaxe, Analgesie, Flüssigkeits- und Elektrolytbilanzierung) und den speziellen chirurgischen Maßnahmen (Wundkontrolle, Lagerung, Röntgen etc.) vor allem physiotherapeutische Behandlungen aufgeführt.

Bei der Physiotherapie stehen nicht nur Frühmobilisation – zur Verhinderung von Druckulcera, Minderung des Risikos einer Tiefen Beinvenentrombose(TVT) und Reduktion pulmonaler Komplikationen – im Vordergrund, sondern auch die

¹³ Lundstrom u. a., „Postoperative Delirium in Old Patients with Femoral Neck Fracture: A Randomized Intervention Study.“

¹⁴ Wall, Dirks, und van Loon, „Skeletal Muscle Atrophy during Short-Term Disuse“.

¹⁵ 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“.

¹⁶ Neuerburg u. a., „[Proximal femoral fractures in the elderly]“.

schrittweise Anleitung zur Atemtherapie, Bewegungs- sowie isometrischen Übungen und Gangschulungen.¹⁷

Häufig wird eine schmerzadaptierte Teilbelastung für 6 Wochen vorgegeben. Nach dieser Zeit soll bei z.B. oberen Sprunggelenkfrakturen die Gelenkstellung mittels Röntgen kontrolliert und im Anschluss mit der Aufbelastung begonnen werden. Hierbei soll dem Patienten in den ersten Therapiestunden mit einer Personenwaage ein Gefühl für die Teilbelastung vermittelt werden. Mit dieser Methode hat der Patient allerdings – im Gegensatz zu Biofeedbackmethoden – keinerlei Rückmeldung, ob die Teilbelastung beim Laufen wirklich eingehalten wird. Eine Nichteinhaltung der Teilbelastung erhöht allerdings das Risiko eines Versagens der Fixierung und somit einer Fehlstellung im Gelenk.

1.4. Kraftmessung mittels Einlegesohlen und andere aktuelle Biofeedbackmethoden

Biofeedback-Systeme sind Geräte, die in Echtzeit Daten zu aktuellen körperlichen Zuständen liefern - im Fall der Ganganalyse bei Teilbelastung zur aktuellen Last auf beiden Fußsohlen. Die Belastung kann durch verschiedene technische Verfahren gemessen werden.

Mit Sensoren ausgestattet ermitteln Kraftmessplatten die momentan auf die Platte wirkende Kraft. So lassen sich sehr gut die wirkenden Kräfte bei beispielsweise einem Sprung bestimmen. Um die Einhaltung einer Teilbelastung während des Gehens zu überprüfen, benötigt man allerdings mehrere Platten hintereinander, um eine ausreichende Laufstrecke für die Messung zu erhalten. Für eine Ganganalyse werden somit ein Ganglabor mit ausreichendem Platzangebot sowie mehrere Messplatten benötigt. Außerdem ergibt sich je nach Bauart, Sensorenverteilung und Schrittlänge die Problematik, beide Füße einzeln zu betrachten und nicht nur die Summe der Belastungen zu messen, so dass keine Aussage über die Belastung des operierten Fußes getroffen werden kann.

Eine weitere verbreitete Möglichkeit zur Ganganalyse mit Biofeedback sind mit Sensoren ausgestattete Laufbänder.¹⁸ Genau wie bei den Kraftmessplatten lassen

¹⁷ „012-001I_S2e_Schenkelhalsfraktur_2015-10_01.pdf“.

sich große Mengen an Daten wie Kraft, Kontaktzeit, Schrittlänge, Geschwindigkeit, Belastungsverteilung und andere Gangparameter erheben. Im Gegensatz zu den Kraftmessplatten kann außerdem bei geringerem Platzbedarf ein Gangbild über eine längere Strecke mit oder ohne Steigungen gemessen werden.

Beide Systeme eignen sich prinzipiell zum Training und zur Verlaufskontrolle nach Verletzungen, sind aber nicht mobil, so dass der Patient in ein Ganglabor gebracht werden muss. Dadurch entsprechen die Messungen nicht exakt der Alltagsbelastung. Des Weiteren ist die Verwendung von Gehhilfen, vor allem Rollatoren und Gehwägen, wie sie in der Alterstraumatologie nach Schenkelhalsfrakturen oft verwendet werden, auf dem Laufband nicht möglich.

Mit Flächensensoren ausgestattete Einlegesohlen sind in der Lage, die Kraft zwischen dem belasteten Fuß und dem Fußbett des Schuhs zu messen. Die Sensorsohlen können überall eingesetzt werden und ermöglichen somit realitätsnahe Messungen sowohl auf der Station als auch im Freien oder beim Treppensteigen.

In der vorliegenden Studie wurden Pedoped® (in loadsol® umbenannt) Einlegesohlen der Firma Novel eingesetzt.¹⁹ Diese Sensoren lassen sich in jeden Schuh einlegen, sind batteriebetrieben und werden über eine App vom Smartphone oder Tablet-PC gesteuert.

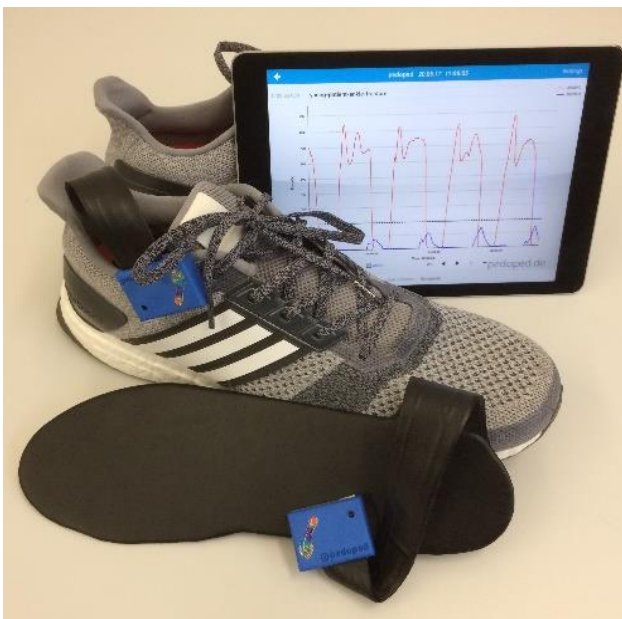


Abbildung 1: zeigt beispielhaft ein Paar Sohlen mit Sportschuhen und die damit durchgeführte Messung eines jungen Patienten mit 20 kg Teilbelastung nach Weber B Fraktur des Sprunggelenks (blaue Kurve).

¹⁸ „Laufband quasar® med | h/p/cosmos“.

¹⁹ „loadsol“.

Die Messfläche der Pedoped®-Sohlen besteht aus einem einzigen, flächigen, kapazitiven Sensor.²⁰ Durch diese Technik kann der Sensor die insgesamt wirkende Kraft exakt angeben – unabhängig davon, an welcher Stelle er gerade belastet wird. Messfehler aufgrund der Belastungsverschiebung während des Abrollens werden so vermieden. Die Sensoren messen neben Kraft und Zeit auch Beschleunigungen in allen drei Achsen, berechnen Kraft-Zeit-Integrale und vergleichen die Belastung von linkem und rechtem Fuß.

Um ein direktes Biofeedback zu erhalten, besteht die Möglichkeit, in der App Belastungsgrenzen für einzelne Sensoren einzustellen. Bei Überschreiten der Grenzen gibt das mobile Gerät (Ipod, Ipad oder Ähnliches) ein optisches oder akustisches Signal. So kann zum Beispiel in der Physiotherapie die Überbelastung einer operativ versorgten Fraktur verhindert und der Patient effektiv bei der Einübung einer Teilbelastung unterstützt werden. (Das Biofeedback wurde in der vorliegenden Studie nicht eingesetzt.)

Burns et al. haben im Juni 2017 die Pedoped® Sohlen mit der Kraftmessplatte AMTI Accupower® und dem Laufband h/p/cosmos Quasar® in den Kategorien «Gehen», «Laufen» und «Springen» verglichen.²¹ Die Sohlen zeigten beim Springen eine exzellente ($\geq 0,9$) Korrelation mit der Kraftmessplatte, beim Gehen eine gute (0,75-0,89) und beim Laufen eine ebenfalls exzellente ($\geq 0,9$) Korrelation mit dem Laufband. Auch bei der gemessenen Kontaktzeit beim Gehen und Laufen zeigten sich gute bzw. exzellente Übereinstimmungen.²²

Zudem prüft die Firma Novel jede Sohle vor der Auslieferung, indem die Sohlen auf eine Kistler Kraftmessplattform gelegt werden und eine Person barfuß darüber läuft. Die entsprechenden Messungen der in dieser Studie verwendeten Sohlen zeigten durchwegs nur sehr geringe Abweichungen ($< 10\%$; bei 8 von 10 Sohlen sogar $< 5\%$).²³

²⁰ „loadsol“.

²¹ Burns, Zendler, und Zernicke, „Wireless Insoles to Measure Ground Reaction Force: Step-by-Step Validity in Hopping, Walking and Running“.

²² Burns, Zendler, und Zernicke.

²³ Neumann, „Kistler-Tests_loadsols LMU München“.

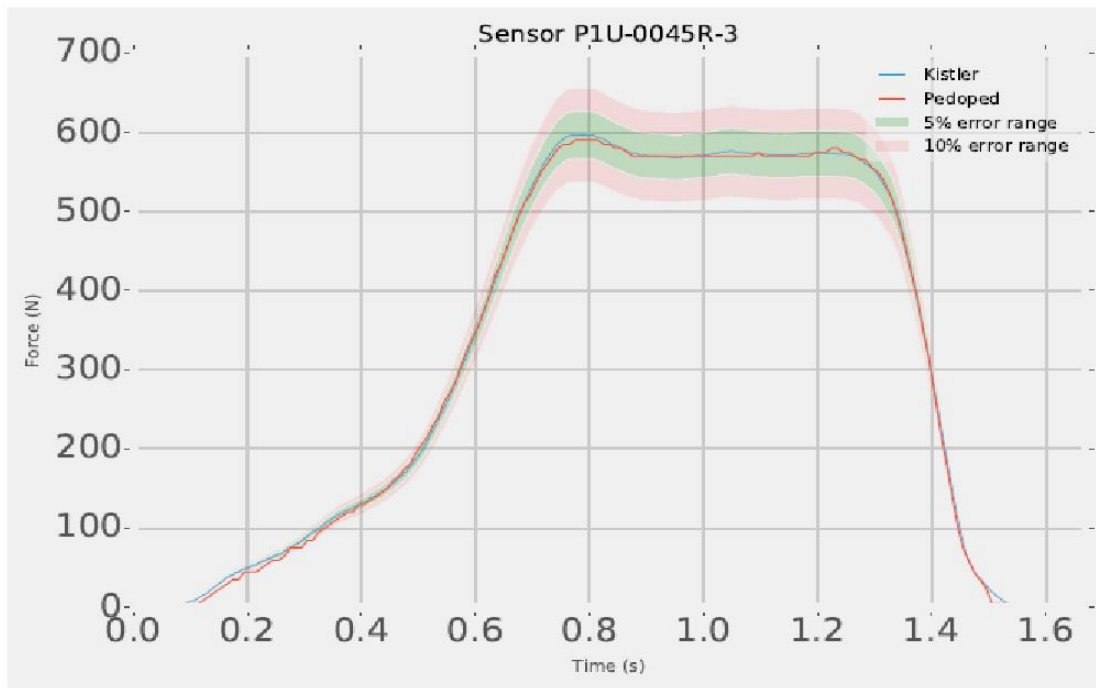


Abbildung 2: Die Grafik zeigt die Kraftkurven (Kraft (N) auf der y-Achse gegen die Zeit (s) auf der x-Achse) der Pedoped®-Sohle (rot) und der Kistler Messplattform (blau). Zudem wurden in der Grafik ein $\pm 5\%$ und $\pm 10\%$ Fehlerbereich angegeben.

Die Pedoped®-Sohlen sind somit ein valides Instrument zur Messung von Kräften, die auf die Fußsohle wirken, zur realitätsnahen Ganganalyse und zur Schulung von Patienten, die eine Teilbelastung einhalten sollen.

1.5. Literatur zur Studie

Zur Literaturrecherche wurden die Onlinedatenbank „Pubmed“ und die „Cochrane library“ (online) verwendet und nach Teilbelastung bei Traumapatienten durchsucht.

Zu Beginn der Studie gab es – neben der Fachliteratur und diversen Guidelines wie z.B. den OrthoGuidlines der AAOS – nur wenige Arbeiten, in denen die tatsächliche Belastung des operierten Beins untersucht wurde. Nennenswert ist hier die Arbeit von Koval et al. zur Belastung von proximalen Femurfrakturen in den ersten 12 postoperativen Wochen.²⁴ Ältere Patienten beschränkten hier die Last auf dem operierten Bein – bei erlaubter Vollbelastung – freiwillig im Vergleich zum gesunden Bein. Zudem belasteten die Patienten, die mit einer Endoprothese (Hemiprothese) versorgt wurden, in den ersten Wochen das betroffene Bein signifikant stärker als die übrigen Patienten (Platten- oder Schraubenosteosynthese bzw. konservative Therapie stabiler Frakturen). Nach 12 Wochen zeigten sich für die verschiedenen Versorgungen keine signifikanten Unterschiede mehr.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gab es eine Arbeit von Braun et al., welche die postoperative Belastung mittels Sensorsohlen behandelt.²⁵ Hier wurde allerdings ein anderer Ansatz mit erlaubter Vollbelastung für 12 Patienten mit intertrochantären Femurfrakturen und Dauermessungen gewählt. Zudem wurden nicht explizit geriatrische Patienten untersucht, so dass der jüngste Patient erst 65 Jahre alt war. Folglich kann durch diese Studie keine Aussage bezüglich der Fähigkeit geriatrischer Patienten zur Teilbelastung, insbesondere nach Marknagelosteosynthese proximaler Femurfrakturen, getroffen werden.

²⁴ Koval u. a., „Postoperative Weight-Bearing after a Fracture of the Femoral Neck or an Intertrochanteric Fracture“.

²⁵ Braun u. a., „Weight-Bearing Recommendations after Operative Fracture Treatment-Fact or Fiction?“

1.6. Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist es zu analysieren, ob über 75-jährige Patienten nach einer proximalen Femurfraktur, die mit einem intramedullären Nagel (PFN-A: Proximaler Femurnagel-Antirotation) versorgt wurde, eine vorgeschriebene Teilbelastung einhalten können. Die zu überprüfende Annahme ist, dass es vor allem für ältere Patienten aufgrund verschiedener Komorbiditäten wie Osteoporose und Sarkopenie schwer bis unmöglich ist, eine Teilbelastung korrekt zu erlernen. Als Vergleichskollektiv werden junge – 18- bis 40-jährige – Patienten mit einer Fraktur der unteren Extremität – überwiegend Sprunggelenksfrakturen – herangezogen. In dieser Studie wird die tatsächliche Belastung des operierten Beins nach ausreichender physiotherapeutischer Übung mit Schuheinlage-Sensoren auf einem alltagsnahen Parcours gemessen.²⁶

²⁶ Kammerlander u. a., „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“.

2. Material und Methoden

2.1. Einschlusskriterien

Alle im Studienzeitraum operierten Patienten an den Standorten Campus Innenstadt und Großhadern, die eine proximale Femurfraktur erlitten hatten und mit einem „proximalen Femurnagel – Antiration“ (PFN-A) versorgt wurden, wurden hinsichtlich eines Studieneinschlusses gescreent.

Anschließend wurden alle Patienten, die jünger als 75 Jahre waren, ausgeschlossen. Um die Fähigkeit, eine Teilbelastung einzuhalten, möglichst gut beurteilen zu können, wurden außerdem alle Patienten mit Mehrfachverletzungen ausgeschlossen, da diese durch die weiteren Verletzungen zusätzlich eingeschränkt sind.

Des Weiteren wurden alle Patienten, die vor der Fraktur nicht mobil oder selbstständig waren, ausgeschlossen, um sicherzustellen, dass eine Beeinträchtigung der Mobilität nicht schon vorher vorgelegen hat.

Abschließend wurde ein MMSE (Minimal Mental State Examination) -Test durchgeführt, woraufhin Patienten mit einem Wert unter 26 von 30 Punkten ausgeschlossen wurden. Kognitive Einschränkungen – Demenz, Delir, Z.n. Apoplex und Ähnliches – behindern das Verstehen und Erlernen einer Teilbelastung und würden somit das Ergebnis negativ beeinflussen.

Die so ausgewählten Patienten wurden anschließend – wie im Ethikantrag (Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München AZ 214-16) angegeben – aufgeklärt und um die Teilnahme an der Studie gebeten. Dies führte zu keinen weiteren Ausschlüssen.

Dieses Procedere wurde an beiden Standorten – Campus Innenstadt und Großhadern – angewandt. Alle Patienten, die während ihres Aufenthalts im Krankenhaus nicht gut genug mobilisiert werden konnten, um die Teststrecke zu absolvieren, wurden nachträglich ausgeschlossen. Dies betraf vor allem Patienten, die frühzeitig in ein heimatnahes Krankenhaus verlegt wurden.

In der Kontrollgruppe wurden alle – 18- bis 40-jährigen – Patienten mit einer operativ versorgten Fraktur der unteren Extremität, die operationsbedingt eine 20kg-Teilbelastung einhalten mussten, konsekutiv eingeschlossen.

Mehrfachverletzte und polytraumatisierte Patienten wurden ausgeschlossen. Die Probanden wurden aufgeklärt und nahmen freiwillig an der Studie teil. Auch die Probanden der Kontrollgruppe mussten sich einem MMSE-Test unterziehen, dies führte allerdings zu keinen Ausschlüssen.

Alle Patienten wurden über die Studienteilnahme aufgeklärt und haben eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie – diese kann jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden – unterschrieben.

2.2. Studiendesign und Durchführung

Es handelt sich um eine prospektive Studie, in der alle Patienten, die die obengenannten Einschlusskriterien in einer Klinik der Maximalversorgung mit zwei Klinikstandorten (Campus Innenstadt & Großhadern) erfüllt haben, aufgenommen wurden.

Für die Patienten der Studiengruppe (>75 Jahre) wurde im postoperativen Anordnungsbogen eine 20 kg-Teilbelastung für 7 Tage vorgeschrieben, so dass alle Patienten während der Physiotherapie dieselben Voraussetzungen hatten. Die Physiotherapeuten an den Standorten Großhadern und Innenstadt arbeiteten nach standardisierten Protokollen mit allen Patienten gleichermaßen. Für den Therapeuten waren die Studienpatienten nicht gekennzeichnet und konnten somit nicht von den übrigen Patienten unterschieden werden. Zusätzlich wurden die Physiotherapeuten vor Beginn der Studie durch Vorträge detailliert über die Studie und das damit einhergehende Training der Teilbelastung informiert.

Nach frühestens drei Physiotherapie-Einheiten wurden die Patienten mit den Einlegesohlen ausgestattet und absolvierten die Ganganalyse. Aufgrund der längeren stationären Aufenthalte wurden die älteren Patienten durchschnittlich fünf- bis siebenmal mobilisiert und geschult.

Den Patienten wurde zu Beginn der Messung nochmals erklärt, dass es um die Evaluation der Teilbelastung geht und dass sie das operierte Bein so belasten sollten, wie sie es zuvor geübt hatten. Als Hilfsmittel wurden Unterarmgehstützen verwendet. Einige der älteren Patienten waren bis zur Entlassung jedoch noch

nicht in der Lage, mit Unterarmgehstützen zu laufen. In diesen Fällen wurde die Messung mit einem Gehwagen durchgeführt.

Die Messung startete im Sitzen auf einem festen Stuhl mit Armlehnen. Zwanzig Meter vom Stuhl entfernt wurde eine Markierung angebracht. Die Patienten wurden anschließend gebeten, bis zu der Markierung zu laufen, dann zu wenden, zurückzulaufen und sich wieder auf den Stuhl zu setzen. Erst im Sitzen wurde die Messung beendet.

Die erhobenen Daten lassen sich demnach in vier Abschnitte gliedern – Aufstehen, Laufen, Wenden und Hinsetzen – und spiegeln die Belastung in alltäglichen Situationen wieder. Die Daten wurden anschließend auf einem iPad gespeichert und später am Computer mit der entsprechenden Software (Pedoped Viewer 25.3.6) ausgewertet.



Abbildung 3: Beispielhaft ist hier eine Messung eines typischen Patienten mit dem oben erwähnten Gehwagen auf der Station dargestellt. Die Pedoped®-Sohlen wurden in die Schuhe eingelegt und die blaue Box mit der Sendeeinheit seitlich am Schuh befestigt. Die erhobenen Daten wurden am Ipad in der Hand des Untersuchers angezeigt.

2.3. Verwendete Scores

Von allen Patienten wurden Name und Geburtsdatum erfasst und anschließend, zur Anonymisierung, durch eine Nummer ersetzt. Zusätzlich wurden die Diagnosen, operative Versorgung mit Datum, die aktuelle Medikation und die Komorbiditäten dokumentiert.

Zur Abschätzung der kognitiven Fähigkeiten wurde ein MMSE (Minimal Mental State Examinaton) Test durchgeführt und dokumentiert.

Um die Mobilität, die einen wichtigen Outcome-Parameter bei proximalen Femurfrakturen darstellt²⁷, zu quantifizieren, wurde der PMS (Parker Mobility Score)²⁸ sowohl für den Zustand vor der Fraktur als auch zum Zeitpunkt der Messung erfasst. Als objektiver Test zur Mobilität zum Zeitpunkt der Messung wurde außerdem ein „Timed up and go“-Test durchgeführt.²⁹

Ein weiterer wichtiger Parameter ist nach Liem et al. die Funktionalität im Alltag („Activities of daily living“)³⁰, die durch den Barthel-Index wiedergegeben wird. Auch der Barthel-Index wurde sowohl für den Ist-Zustand als auch – retrospektiv – vor der Fraktur erhoben, um die Auswirkungen der Verletzung auf die Selbstständigkeit im Alltag abschätzen zu können.

Haywood et al. zeigten in ihrer Arbeit „Quality of life in older people“, dass die Lebensqualität für die Patienten besonders wichtig ist. Diese wurde deshalb – ebenfalls im Vorher-Nachher-Vergleich – mit dem EQ-5D-Fragebogen erfasst.³¹

Die Erfassung von Zuständen vor der Fraktur war retrospektiv gut möglich, da alle Patienten mit kognitiven Einschränkungen und Demenzerkrankungen von vornherein ausgeschlossen wurden. Der „Timed up and go“-Test kann nicht retrospektiv durchgeführt werden und ist deshalb als Parameter für die aktuelle Mobilität zu sehen.

²⁷ Liem u. a., „Identifying a Standard Set of Outcome Parameters for the Evaluation of Orthogeriatric Co-Management for Hip Fractures“.

²⁸ Parker und Palmer, „A New Mobility Score for Predicting Mortality after Hip Fracture“.

²⁹ Hutchings, Fox, und Chesser, „Proximal Femoral Fractures in the Elderly“.

³⁰ Liem u. a., „Identifying a Standard Set of Outcome Parameters for the Evaluation of Orthogeriatric Co-Management for Hip Fractures“.

³¹ Haywood, Garratt, und Fitzpatrick, „Quality of Life in Older People“.

Aus den Daten der Sensoren wurden die maximale Belastung des operierten Beines, sowohl als Absolutwert in Newton, als auch in Prozent der vorgegebenen Belastung von 20 kg bzw. 196,2 Newton, sowie der prozentuale Anteil der Zeit, in der das Bein mit mehr als den vorgegebenen 20 kg belastet wurde, berechnet. Unmittelbar vor Versuchsbeginn wurden die Patienten mit einer Personenwaage gewogen. Aus der Strecke (40 Meter) und der dafür benötigten Zeit wurde die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet. Außerdem wurde die maximale Belastung – ebenfalls als Absolutwert und Prozentual – für die einzelnen Abschnitte – „Aufstehen“, „Gehen“, „Wenden“ und „Hinsetzen“ – erfasst, um festzustellen, in welchen Situationen das operierte Bein am stärksten belastet wurde.

Abschließend wurde zusätzlich die Belastung des operierten Beins in Prozent des Körpergewichts berechnet. So lässt sich unterscheiden, ob die Patienten, falls sie die 20 kg-Teilbelastung nicht einhalten, überhaupt nicht teilbelasten oder zumindest eine Teilbelastung mit mehr als 20 kg durchführen.

2.4. Statistik

In der explorativen Datenanalyse wurden die Mittelwerte \pm Standardabweichung berechnet und entsprechend grafisch dargestellt. Für die Feststellung von Unterschieden und Signifikanzentscheidungen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Der Q-Q-Plot zeigt zwar normalverteilte Werte bei den maximalen Belastungen, Zeiten über der Belastungsgrenze und Gewicht, nicht aber bei den übrigen Faktoren. Daher wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) nur für die Erstgenannten durchgeführt.

Als Signifikanzniveau für alle Tests wurde eine Wahrscheinlichkeit $p < 0,05$ festgelegt.

Alle Analysen und Grafiken wurden mit SPSS 24 (IBM Germany GmbH, Ehningen, Deutschland) berechnet und erstellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Allgemeine Ergebnisse

Insgesamt wurden 40 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, in die Studie aufgenommen. In die Studiengruppe, der über 75-Jährigen mit proximaler Femurfraktur konnten 20 von 67 Patienten mit einem mittleren Alter von 84,7 Jahren \pm 6,64 – 14 Frauen und 6 Männer – eingeschlossen werden. In die Kontrollgruppe wurden ebenfalls 20 Patienten mit einem mittleren Alter von 27,35 Jahren \pm 5,10 eingeschlossen. Davon waren 11 Frauen und 9 Männer. Alle Patienten wurden zwischen Juli 2016 und Juni 2017 in die Studie eingeschlossen.

Eine anatomische Reposition und korrekte Implantatlage wurden bei allen Patienten radiologisch nachgewiesen. Es sind keine Wundheilungsstörungen oder andere Komplikationen, die eine Mobilisierung verhindert hätten, aufgetreten.

Von 20 Patienten mit proximaler Femurfraktur waren 5 in der Lage, den Parcours mit Unterarmgehstützen zu absolvieren, 15 verwendeten einen Gehwagen. Der MMSE-Mittelwert lag in dieser Gruppe bei 27,25 \pm 1,62. In der Vergleichsgruppe konnten alle Patienten mit Unterarmgehstützen laufen, der MMSE war 29,60 \pm 0,59.

3.2. Maximal Belastung innerhalb der Testgruppen

Während der Ganganalyse war keiner der über 75-Jährigen mit proximaler Femurfraktur in der Lage, die 20 kg-Teilbelastung einzuhalten. 90% belasteten das Bein mit mehr als 30 kg (150% der Vorgabe), 65% sogar mit mehr als 40 kg (200% der Vorgabe).

In der Kontrollgruppe konnten 60 % der Patienten die Teilbelastung während der Messung einhalten. Weitere 20 % überschritten die 20 kg um maximal ein Fünftel (entsprechen 24 kg). Allerdings gab es auch in dieser Gruppe Patienten (10%), die das Doppelte der vorgegebenen Belastung überschritten (40 kg entsprechend 200% der Vorgabe). Die höchsten Belastungen am operierten Bein traten bei allen Patienten im Abschnitt „Laufen“ auf.

Der Unterschied zwischen den Gruppen bei der maximalen Belastung zeigte sich im Mann-Whitney-U-Test (2-seitigem Signifikanztest) signifikant (<0.001).³²

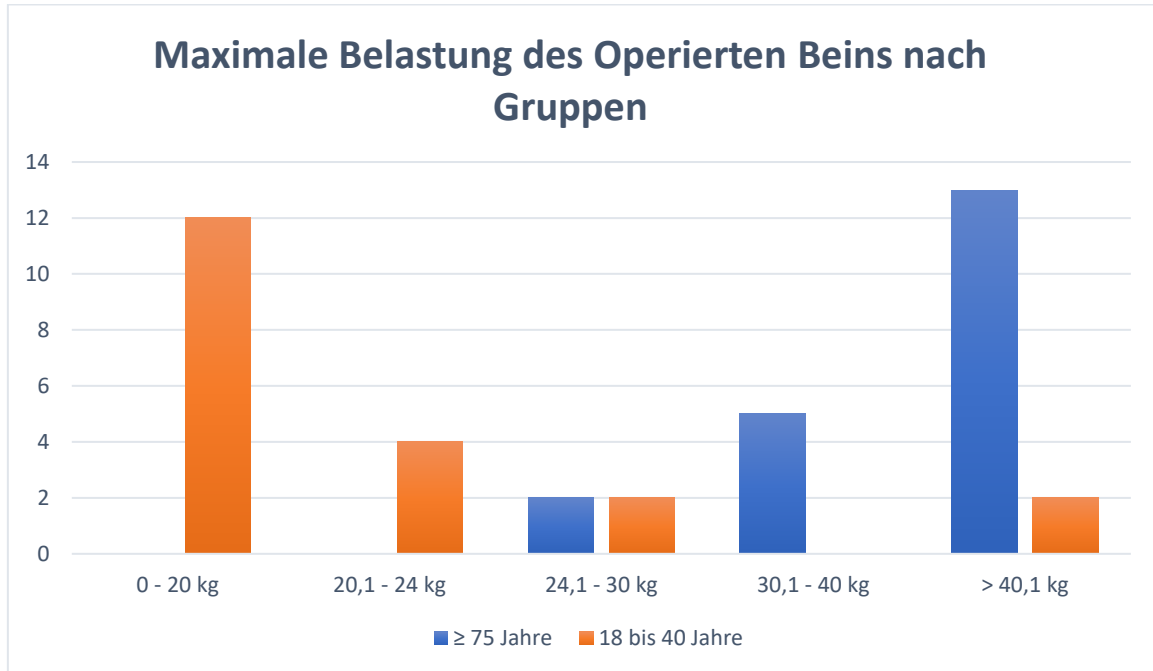


Abbildung 4: In der Grafik sind die Belastungswerte aller Patienten in Gruppen dargestellt. Die Gruppen wurden in 0-20 kg entsprechend „Teilbelastung eingehalten“, 20,1-24 kg „Zielbelastung leicht überschritten“, 24,1-30 kg „Zielbelastung überschritten“, 30,1-40 kg „Zielbelastung deutlich überschritten“ und > 40 kg „mehr als das Doppelte der Zielbelastung“ eingeteilt. Die orangenen Balken stellen die Patienten der Kontrollgruppe, die blauen die der Testgruppe dar.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen typische Messergebnisse für einen Patienten der Test- (>75 Jahre) bzw. Kontrollgruppe (18 – 40 Jahre), jeweils als Bildschirmfoto der App. Die blaue Linie stellt den Verlauf der Belastung des operierten Beines dar, die rote die des gesunden Beins. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Teilbelastungsgrenze von 20 kg bzw. 196,2 N. Die Bereiche, in denen die farbigen Linien nicht zu sehen sind, entsprechen einer vollständigen Entlastung beim Abheben des Fußes von Boden. Jede Erhebung von der Nulllinie entspricht somit

³² Kammerlander u. a., „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“.

einem Schritt. Die x-Achse stellt die Zeit in Sekunden (s), die y-Achse die zu diesem Zeitpunkt wirkende Kraft in Newton (N) dar.³³

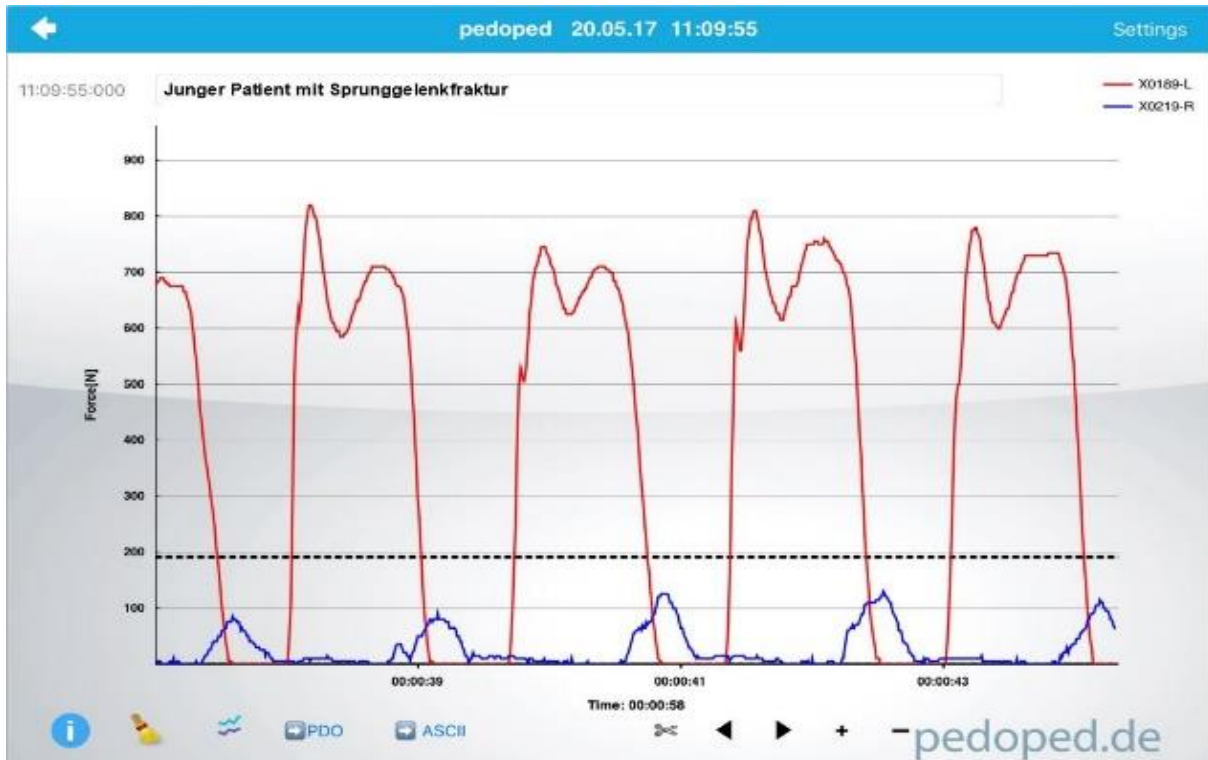


Abbildung 5: Hier ist ein Ausschnitt der Messung eines jungen Patienten (Kontrollgruppe) mit Sprunggelenksfraktur dargestellt. Die rote Linie stellt die auf das gesunde Bein wirkende Kraft dar. Es zeigt sich ein typischer zweigipfliger Verlauf durch das Aufsetzen mit der Ferse (1. Gipfel) und das Abstoßen vom Boden am Ende des Kontakts (2. Gipfel). Dieser Verlauf entspricht dem normalen Gangbild eines gesunden Patienten. Die blaue Linie zeigt den Verlauf der Belastung des operierten Beins. Die maximale Belastung (höchster Punkt der blauen Linie) liegt in diesem Ausschnitt bei ca. 12 kg, der Patient hält die Teilbelastung ein. Durch die Entlastung und Bewegungseinschränkung ist der zweigipflige Verlauf aufgehoben.

³³ Kammerlander u. a.

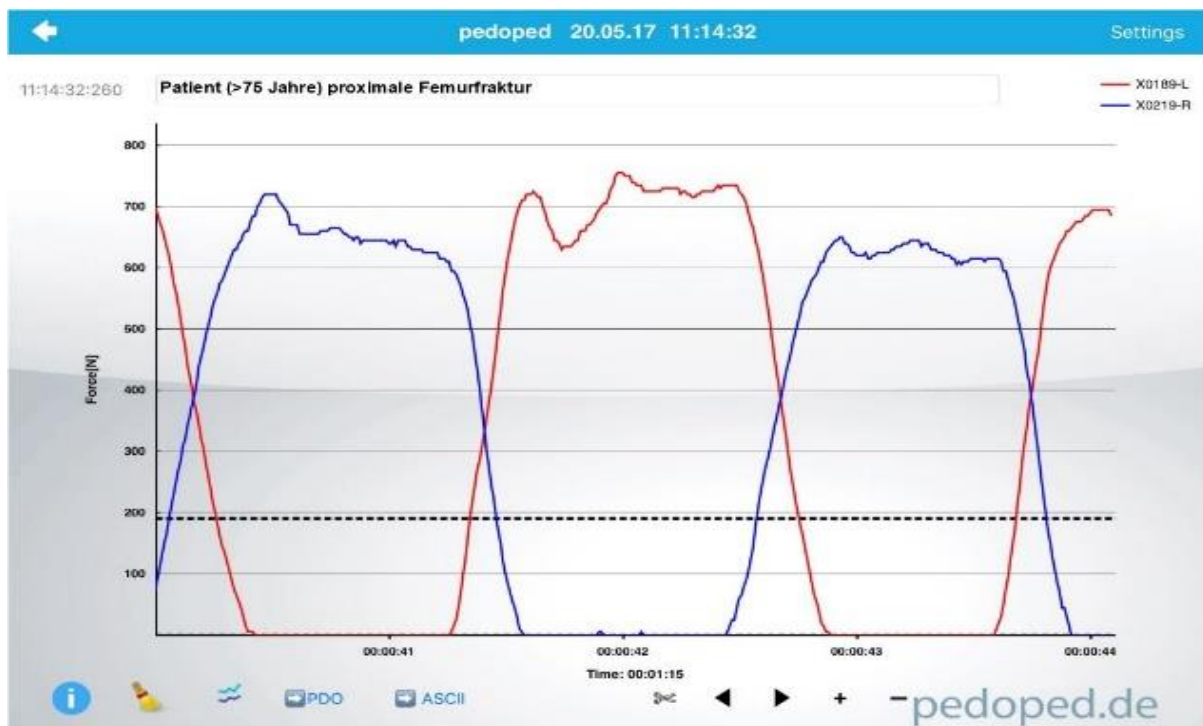


Abbildung 6: In diesem Ausschnitt der Messung eines Patienten der Testgruppe mit proximaler Femurfraktur stellt die blaue Line entsprechend der vorhergehenden Grafik wieder das operierte und somit zu entlastende Bein dar. Es ist zu erkennen, dass die Spitzenlast etwas geringer als am gesunden Bein ist, aber dennoch deutlich über den vorgegebenen 20 kg (gestrichelte Linie bei 196,2 N) liegt.

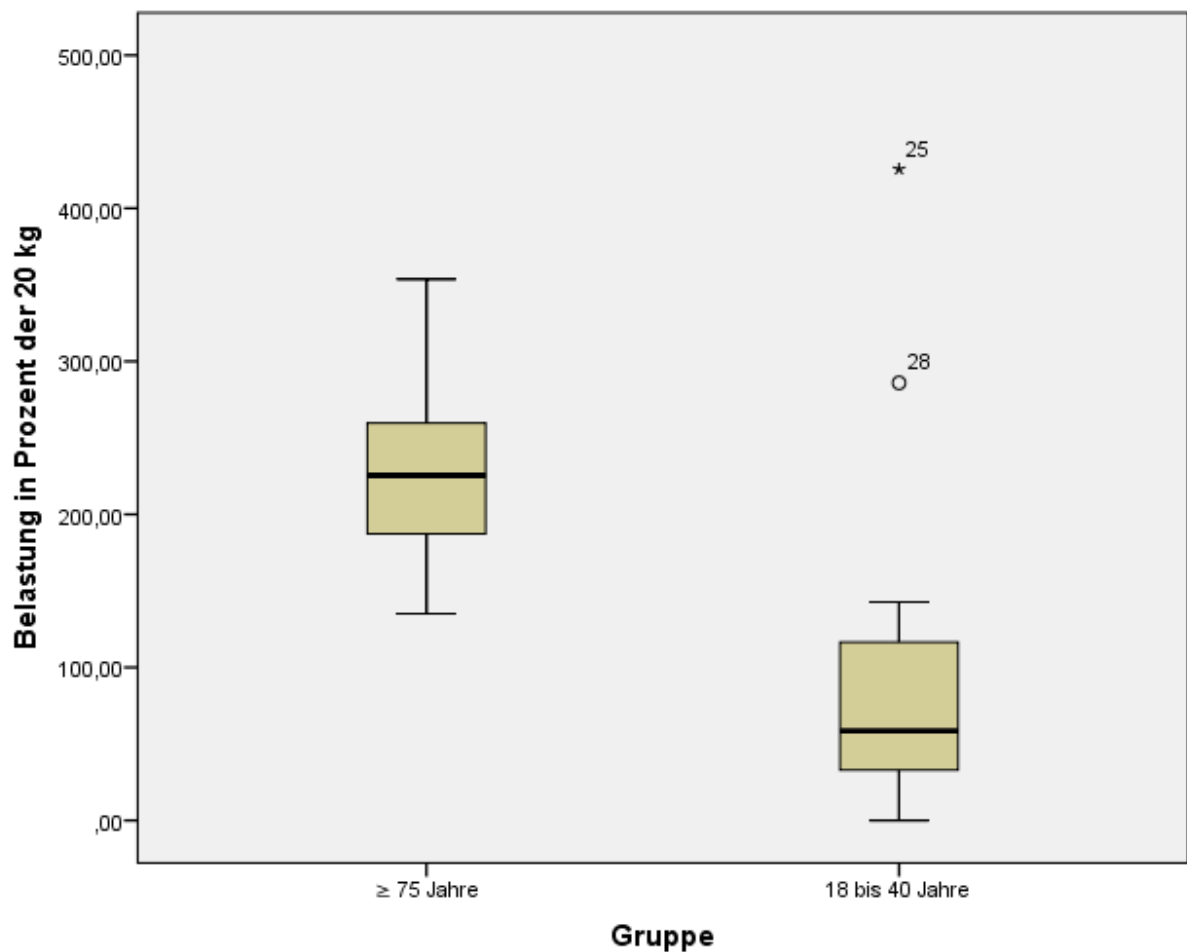


Abbildung 7: Die Boxplots stellen die maximale Belastung des operierten Beins in Prozent der erlaubten 20 kg dar. So entspricht ein Wert von 100% auf der y-Achse 20 kg Belastung. Auf der x-Achse wurden die Patienten in Test- (≥ 75 Jahre) bzw. Kontrollgruppe (18-40 Jahre) aufgeteilt. Der dicke Linie innerhalb der Rechtecke stellt den Median der Gruppe, die obere bzw. untere Begrenzung des Rechtecks das obere bzw. untere Quartil dar. Die an das Rechteck angrenzenden T-förmigen Enden entsprechen dem oberen bzw. unteren Whisker. Die Whisker entsprechen dem höchsten bzw. niedrigsten Messwert, der nicht mehr als das 1,5-fache des Inter-Quartilen-Abstands (IQR) vom Rechteck (also dem oberen bzw. unteren Quartil) entfernt ist. Werte, die zwischen dem 1,5- und 3-fachen IQR von den Quartilen entfernt liegen, werden mit einem kleinen Kreis, Werte die weiter als der 3-fache IQR entfernt sind, mit einem Stern dargestellt. Der hier in der Grafik dargestellte Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf die maximale Belastung ist statistisch signifikant (Mann-Whitney-U Test)

3.3. Zeit der Überbelastung innerhalb der Studiengruppen

Der Prozentsatz der Gesamtmesszeit, in der ein Sensor oberhalb der festgelegten Grenze belastet wird, wurde mit der Pedoped App berechnet. So zeigt ein Wert von 10% an, dass der Patient die Teilbelastung in 90% der Messzeit eingehalten und in 10% überschritten hat. Dies gibt keine Auskunft über die Höhe der Überbelastung, lässt aber eine Einschätzung zu, ob der Patient nur gelegentlich zu stark auftritt oder regelhaft überhaupt keine Teilbelastung einhält.

Nur ein Patient in der Gruppe der proximalen Femurfrakturen konnte hier einen Wert unter 10% erreichen – in der jungen Gruppe waren es 90%. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist signifikant.³⁴

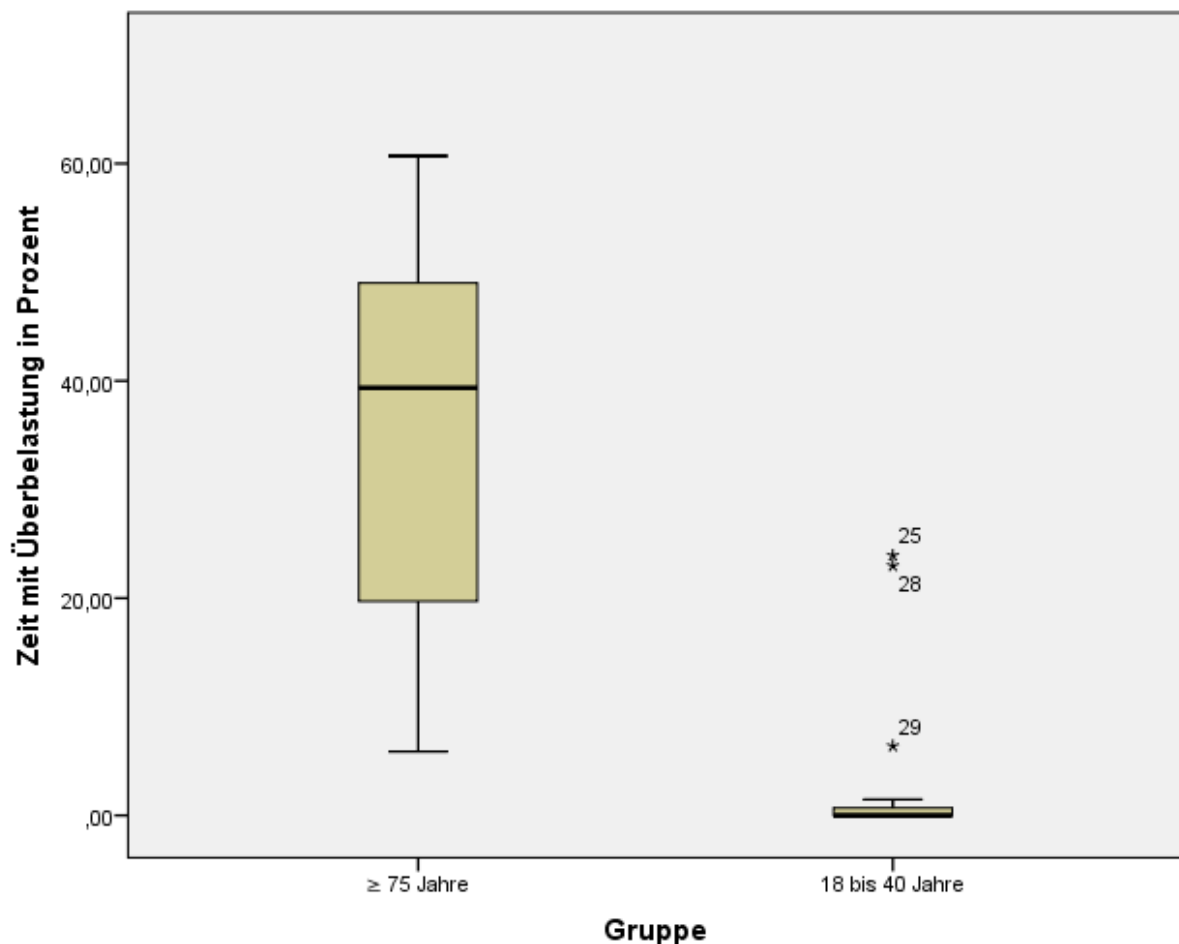


Abbildung 8: Die x-Achse dieses Boxplots entspricht der Zeit in Prozent der Gesamtmesszeit, in der das operierte Bein vom Patienten mit mehr als 20 kg belastet wurde. Die Art der Darstellung entspricht, wie auch in den folgenden Grafiken, der

³⁴ Kammerlander u. a.

Erklärung in Abbildung 5. In der Kontrollgruppe (18-40 Jahre) liegen der Median, das untere Quartil sowie der untere Whisker bei 0 %, da weniger als die Hälfte der Patienten in dieser Gruppe das operierte Bein mit mehr als 20 kg belastet haben. Die Zeit oberhalb von 20 kg ist somit für all diese Patienten 0 % der Messzeit. In der Testgruppe ist dagegen eine deutliche Streuung der Werte mit großem IQR erkennbar.

3.4. Unterschied der Gruppen in PMS, Barthel-Index und EQ-5D

Bei den Prä-Fraktur-Werten des PMS zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, da alle Patienten, die vor der Fraktur nicht mobil waren, von vornherein ausgeschlossen wurden. Die im EQ-5D erfasste Lebensqualität sowie die Selbstständigkeit im Alltag (Barthel-Index) waren bei den älteren Patienten hingegen bereits vor der Fraktur signifikant reduziert im Vergleich zum jüngeren Kontrollkollektiv.

Zum Zeitpunkt der Messung waren die Werte – PMS, EQ-5D und Barthel-Index – in der Vergleichsgruppe signifikant höher.³⁵

3.5. PMS, Barthel-Index und EQ5D im prä- versus postoperativen Vergleich

Die Scores für Mobilität, Selbstständigkeit und Lebensqualität wurden bei allen Patienten durch die mit der Fraktur einhergehende Immobilität und Schmerzen verringert. Bei der Lebensqualität (EQ-5D) zeigte sich vor dem Frakturereignis ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Das Ausmaß der Verschlechterung zeigte im Mann-Whitney-U-Test jedoch keinen Unterschied. Die Einschränkung der Lebensqualität durch die Fraktur betrifft die Gruppen folglich gleichermaßen.

Die Mobilität und Selbstständigkeit im Alltag werden bei der Testgruppe über 75 Jahren hingegen stärker beeinträchtigt als im jungen Vergleichskollektiv. So

³⁵ Kammerlander u. a.

zeigten sich bei der Differenz der Prä-Fraktur zu den Post-Operationswerten sowohl bei den PMS als auch den Barthel-Index-Werten für die Testgruppe signifikant höhere Unterschiede als in der Kontrollgruppe.³⁶

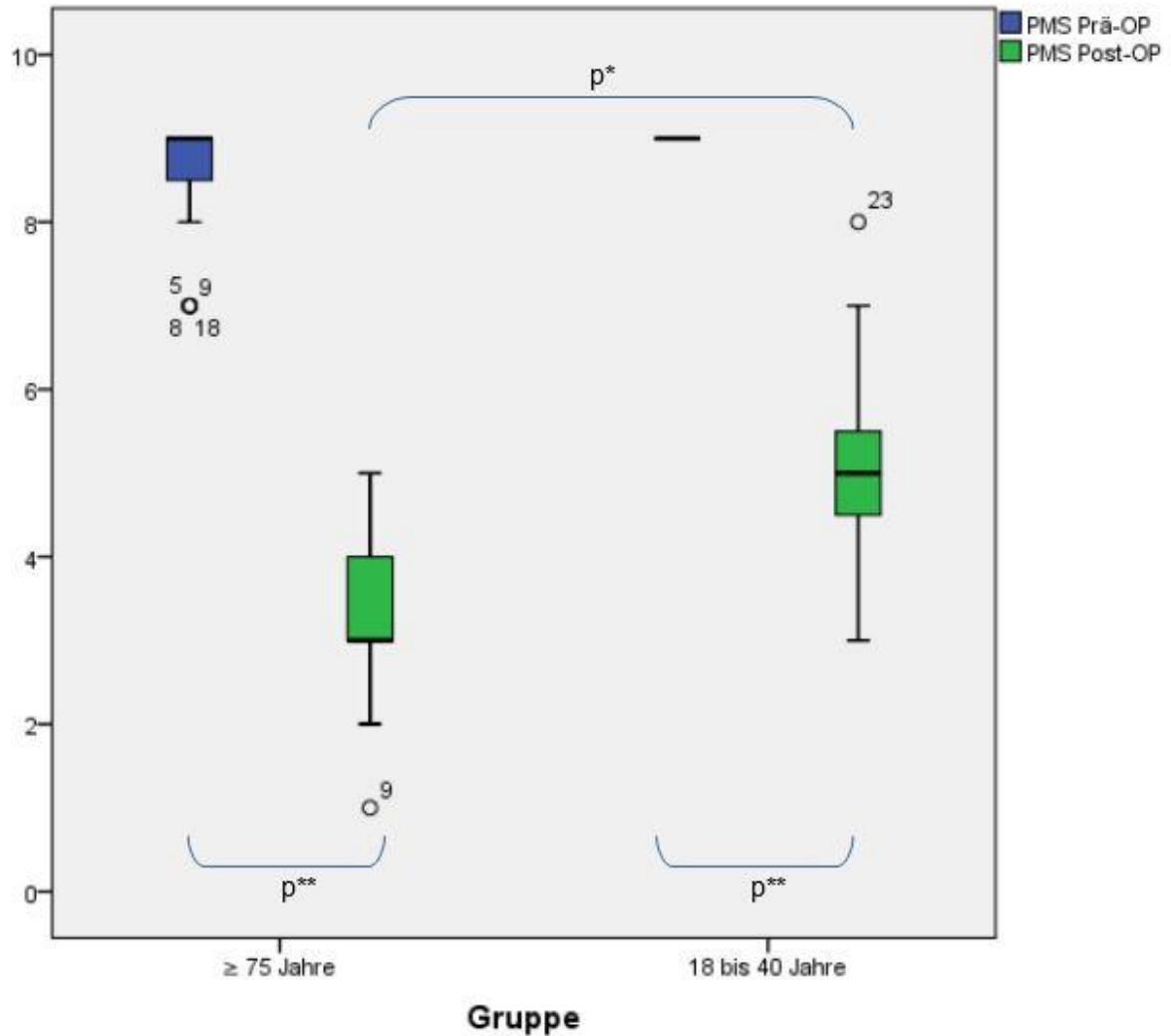


Abbildung 9: Die Grafik zeigt die Boxplots der PMS-Werte (y-Achse; Werte von 0 - 9 möglich) für die Gruppen jeweils vor Fraktur (blau) und zum Zeitpunkt der Messung (grün). Die blauen Klammern stellen die Unterschiede mit einem Signifikanzniveau von p^* entsprechend $\alpha \leq 0,05$ (signifikant) bzw. p^{**} von $\alpha \leq 0,01$ (hoch signifikant) dar. Die übrigen Definitionen entsprechen der Erläuterung in Abbildung 5. Da alle vor der Fraktur nicht mobilen Patienten ausgeschlossen wurden, gibt es keinen signifikanten Unterschied bei den PMS-Werten vor der Fraktur. Die PMS-Werte waren in beiden Gruppen bei der

³⁶ Kammerlander u. a.

Messung signifikant niedriger als vor der Fraktur, bei der Testgruppe zudem signifikant niedriger als in der Vergleichsgruppe.

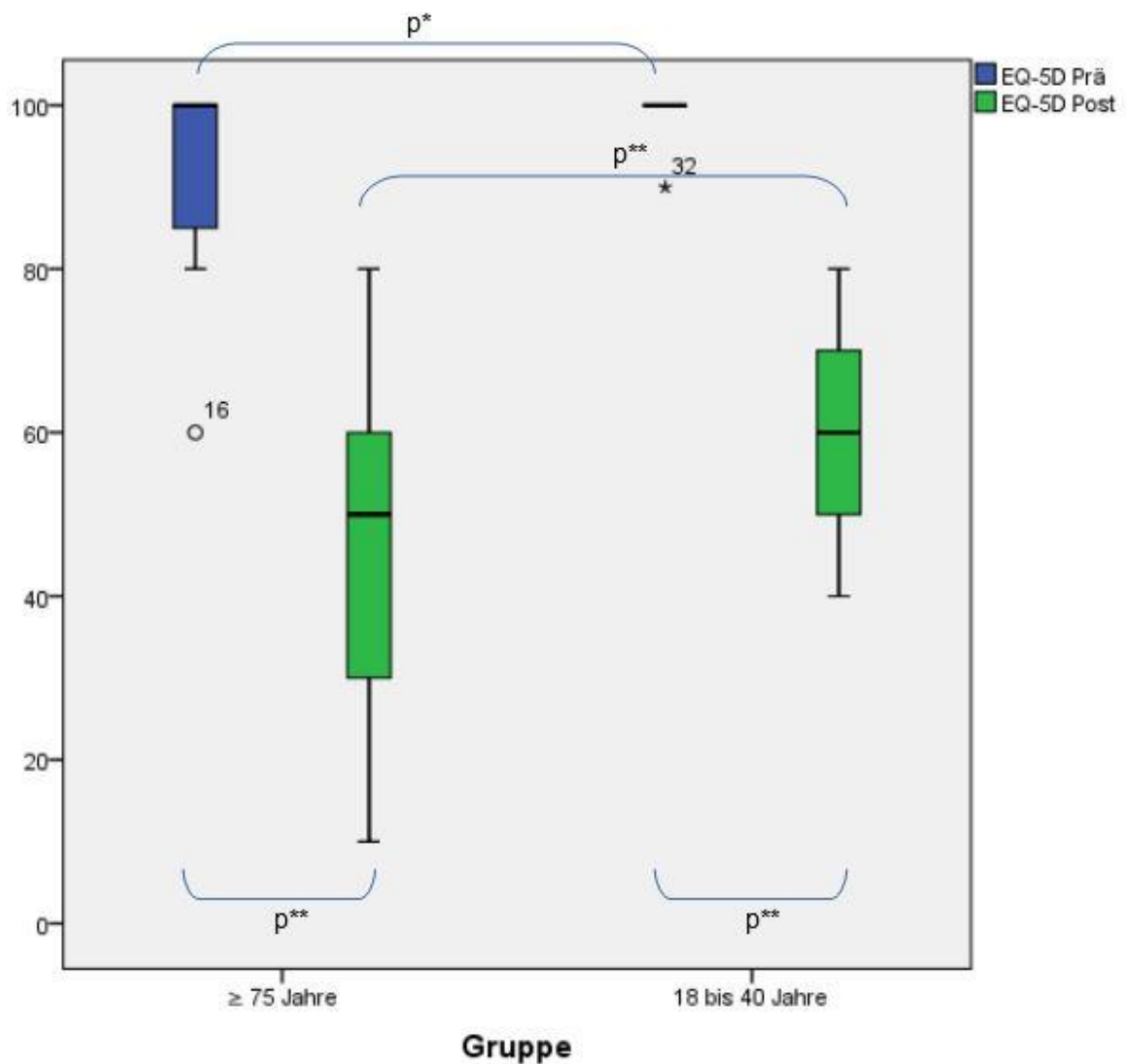


Abbildung 10: Hier sind analog zu Abbildung 9 die EQ-5D-Werte (y-Achse; Werte von 0 - 100 möglich) vor der Fraktur und nach der Operation für die Test- bzw. Kontrollgruppe dargestellt. Da aufgrund der Lebensqualität keine Patienten ausgeschlossen wurden, fand hier keine Selektion der Werte vor der Fraktur statt. Es zeigte sich sowohl vor der Fraktur und zum Zeitpunkt der Messung, als auch bei der Differenz (vor-Fraktur-Wert und Wert zum Messzeitpunkt) signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Der Prä-Post Vergleich innerhalb der Gruppen war bei beiden Gruppen signifikant.

Tabelle 1: Basisdaten und Aktivität der Patienten als Mittelwerte und Standardabweichungen

	Testgruppe (> 75 Jahre)	Kontrollgruppe (18 – 40 Jahre)
Gewicht ^x	55,60 ± 13,00	71,24 ± 14,62
ASA Score ^x	2,85 ± 0,37	1,75 ± 0,64
Parker Mobility Score Prä-/Post-OP ^x	8,55 ± 0,83 / 3,20 ± 1,01**	9 ± 0 / 5,05 ± 1,19**
Barthel-Index Prä- ^x /Post-OP ^x	96,25 ± 4,83 / 66,75 ± 10,67**	100 ± 0 / 95,25 ± 3,80**
EQ-5D Prä- ^x /Post-OP ^x	92,00 ± 11,05 / 47,00 ± 19,22**	99,50 ± 5,00 / 60,00 ± 12,14**

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gruppen bezüglich Gewicht, ASA-Score (American Society of Anesthesiologists), Mobilität, Selbstständigkeit im Alltag und Lebensqualität angegeben. Die mit einem * markierten Werte unterscheiden sich im Prä-Post-Vergleich (innerhalb der Gruppe) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,05$, die mit ** bei einem Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0,01$. Zusätzlich wurden die Werte, die sich im nicht parametrischen Test für unabhängige Stichproben zwischen den Gruppen auf einem Niveau von $\alpha \leq 0,05$ unterschieden haben, mit ^x versehen.³⁷

3.6. Unterschiede bei verschiedenen Gehilfen

In der Testgruppe (>75 Jahre) wurden sowohl Unterarmgehstützen (n=5) als auch Gehwägen (n=15) als Hilfsmittel bei der Mobilisierung verwendet. Hierbei zeigten weder die Belastung – Maximale Belastung, Zeit der Überbelastung – noch die Scores – PMS, Barthel-Index, MMSE, EQ-5D – signifikante ($\alpha \leq 0,05$) Unterschiede. Da in der Kontrollgruppe alle Patienten mit Unterarmgehstützen mobilisiert wurden, entfällt der Vergleich hier.

³⁷ Kammerlander u. a.

3.7. Umsetzbarkeit der postoperativen Teilbelastung

3.7.1. Kontrollgruppe (18 - 40 Jahre)

Der Großteil der jungen Patienten war in der Lage, nach den physiotherapeutischen Übungen auf einem 40 Meter langen Parcours eine 20 kg-Teilbelastung einzuhalten oder zumindest nicht wesentlich (mehr als 20 % entsprechend 4 kg) zu überschreiten. Auch in dieser Gruppe gibt es Ausreißer, die die vorgegebene Belastung um mehr als das Doppelte überschritten. Es lässt sich also nicht pauschal sagen, dass alle Patienten zwischen 18 und 40 Jahren mit den aktuellen Mitteln zeitnah lernen, eine 20 kg-Teilbelastung einzuhalten.

3.7.2. Testgruppe (> 75 Jahre)

Keiner der älteren Patienten konnte eine Teilbelastung von 20 kg einhalten. Dennoch gab es auch hier deutliche Unterschiede: So konnten immerhin zwei Patienten das betroffene Bein mit weniger als 30 kg belasten. Dies ist zwar für eine vorgegebene Belastung von 20 kg deutlich zu viel, entspricht jedoch keiner Vollbelastung.

3.8. Diskussion

Eine eingeschränkte Mobilität bei älteren Patienten führt zu einem Verlust der Unabhängigkeit, der oft mit Angst vor weiteren Stürzen einhergeht und die Lebensqualität und physische Belastbarkeit weiter einschränkt. Stürze verursachen ein breites Spektrum an Verletzungen, von Hämatomen bis hin zu schweren Frakturen und Schädelhirntraumata.³⁸ In diesem Zusammenhang stellt die physische Funktionalität einen guten Kurzzeit-Vorhersage-Wert für die Sturzneigung dar und ist somit für geriatrische Patienten besonders wichtig.

Zusätzlich ist vor allem bei Patienten mit kognitiven Einschränkungen wie einer Demenzerkrankung das Outcome nach proximalen Femurfrakturen sehr stark von der Mobilität abhängig.³⁹ Der Erhalt der Mobilität und der physischen Fähigkeiten

³⁸ Lauretani u. a., „Brain-Muscle Loop' in the Fragility of Older Persons“.

³⁹ Welmer u. a., „Cognitive and Physical Function in Relation to the Risk of Injurious Falls in Older Adults“.

sollten deshalb eine hohe Priorität bei der Therapie alterstraumatologischer Patienten haben.

Eine Immobilisierung in der frühen postoperativen Phase führt außerdem zu einem schnellen Verlust von Muskel- und Knochenmasse, der – wie Swift et al. im Tierversuch zeigen konnten – durch eine Teilbelastung nicht suffizient aufgehalten wird.⁴⁰ Zudem steigt mit zunehmendem Alter auch die Zahl und Schwere von Komorbiditäten und die physiologischen Reserven, über die ein junger gesunder Patient verfügt, sind kaum noch vorhanden.

Aus diesen Gründen ist ein orthogeriatrisches Kommanagement für die Therapie von proximalen Femurfrakturen inzwischen weit verbreitet und anerkannt. Diese interdisziplinäre Behandlung verbessert sowohl das klinische Outcome als auch die Mobilität der Patienten.⁴¹

Ungeachtet dessen wird bei unfallchirurgischen Patienten häufig postoperativ eine Teilbelastung angeordnet und als wichtiger Bestandteil der Operationsnachsorge erachtet, obwohl es keinen wissenschaftlichen Nachweis für eine Verbesserung des Outcomes gibt.⁴² Teilbelastung soll einerseits durch regelmäßige Belastung osteoblastische Vorgänge im Knochen anregen, andererseits das operierte Gebiet nicht so stark belasten, dass es zu einem Versagen oder Ausbrechen des Implantats kommt. Das Vorgeben einer maximalen Belastung ist hier dennoch nicht zielführend. So konnten Koval et al. zeigen, dass Patienten mit einer Schenkelhalsfraktur oder intertrochantären Femurfraktur aufgrund des Schmerzes auch bei erlaubter Vollbelastung das entsprechende Bein zunächst vorsichtig belasten und anschließend die Belastung langsam steigern.⁴³

Viele Patienten sind zudem nicht in der Lage, eine mit einer Personenwaage, der Hand-Unter-Fuß-Methode oder verbaler Anleitung erlernte Belastung adäquat zu reproduzieren.⁴⁴ Daher war die Grundannahme dieser Studie, dass über 75-Jährige nach einer proximalen Femurfraktur nicht in der Lage sind, eine 20 kg Teilbelastung einzuhalten.

⁴⁰ Swift u. a., „Partial Weight Bearing Does Not Prevent Musculoskeletal Losses Associated with Disuse“.

⁴¹ Prestmo u. a., „Comprehensive Geriatric Care for Patients with Hip Fractures“.

⁴² Hustedt u. a., „Current Advances in Training Orthopaedic Patients to Comply with Partial Weight-Bearing Instructions“.

⁴³ Koval u. a., „Postoperative Weight-Bearing after a Fracture of the Femoral Neck or an Intertrochanteric Fracture“.

⁴⁴ Yu u. a., „Orthopedic Inpatients' Ability to Accurately Reproduce Partial Weight Bearing Orders“.

Keiner der älteren Patienten in dieser Studie konnte die Teilbelastung auf dem alltagsnahen Parcours einhalten. Bei der jungen Vergleichsgruppe waren es 60 %, die die Teilbelastung korrekt eingehalten bzw. 80 %, die die Belastung um nicht mehr als 20 % – was akzeptabel ist – überschritten haben. Dieser Unterschied zwischen den Gruppen ist statistisch hoch signifikant ($\alpha \leq 0,001$).⁴⁵

Braun et al. haben in einer Studie mit Sohlensensoren die Compliance zur Einhaltung von Teilbelastung – allerdings mit einer anderen Fragestellung – untersucht. Hier wurden die Patienten nach Frakturen in Gruppen eingeteilt und die gesamt Compliance als Zielwert $\pm 30\%$ gemessen. Für Sprunggelenksfrakturen (Weber B) – die auch den Großteil der Patienten in der Kontrollgruppe dieser Studie stellen – wurde hier ebenfalls 20 kg Teilbelastung vorgegeben, bei den proximalen Femurfrakturen dagegen Vollbelastung erlaubt.⁴⁶

Die Studie trifft also keine Aussage über die Fähigkeiten geriatrischer Patienten, nach proximalen Femurfrakturen eine Teilbelastung auszuführen, bestätigt aber die Ergebnisse, dass selbst bei jungen Patienten nicht sicher von einer adäquaten Umsetzung der Vorgaben ausgegangen werden kann. Braun et al. geben für die Compliance bei den Sprunggelenksfrakturen 25 % an, in unserer Studie ergibt sich – legt man dieselbe Definition zugrunde – ein Wert von 80 %. Dieser Unterschied ist dadurch zu erklären, dass Braun et al. eine Dauermessung über mehrere Tage bis Wochen ausgewertet haben, in der vorliegenden Studie aber eine einzelne Messung mit explizitem Hinweis auf die Teilbelastung durchgeführt wurde. Die Ergebnisse widersprechen sich folglich nicht, sondern ergänzen sich: So ist der Großteil der jungen Patienten mit Sprunggelenkfraktur zwar in der Lage, eine Teilbelastung zu erlernen und kurz darauf im vorgegebenen Parcours einzuhalten, nicht aber diese Anforderungen im Alltag dauerhaft umzusetzen.

Bei den proximalen Femurfrakturen erlaubten Braun et al. Vollbelastung und beobachteten einen Anstieg der Compliance über die Dauer der Beobachtung. Die Patienten belasten das betroffene Bein, wohl auf Grund von Schmerzen, zu Beginn etwas weniger und steigern die Belastung dann selbständig. Diese Beobachtung bekräftigt die Ergebnisse dieser Studie, in der 65% der Patienten

⁴⁵ Kammerlander u. a., „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“.

⁴⁶ Braun u. a., „Weight-Bearing Recommendations after Operative Fracture Treatment-Fact or Fiction?“

das betroffene Bein in der frühen postoperativen Phase mit mehr als 40 kg belastet haben. Hierbei war die Gesamtbelastung in Relation zum Körpergewicht in beiden Studien sehr ähnlich.

Der Abbau von Belastungsbeschränkungen ist folglich wichtig, um weitere Stürze und den Verlust von Muskelmasse zu verhindern. Zudem verringert die freie Nachbehandlung die Angst von Physiotherapeuten, während postoperativen Übungen eine Überbelastung mit konsekutivem Implantatversagen zu verursachen, was wiederum zu einer früheren Mobilisation führt.

Patienten mit Hüftfrakturen, die unabhängig und kognitiv nicht eingeschränkt sind, haben ein signifikant besseres Outcome und schöpfen ihr Rehabilitationspotential besser aus als kognitiv eingeschränkte, abhängige Personen.⁴⁷ Es ist also davon auszugehen, dass die Ergebnisse durch den Ausschluss von kognitiv eingeschränkten Patienten mittels des MMSE-Tests nicht beeinflusst wurden, da diese Patienten Schwierigkeiten hätten, die Anweisungen der Physiotherapeuten umzusetzen. Im Gegenteil wäre eher zu erwarten, dass das Studienkollektiv im Vergleich zur Gesamtheit der über 75-jährigen Patienten den Teil mit dem besseren Rehabilitationspotential darstellt und somit die Teilbelastung besser hätte einhalten können als die Gesamtheit der Patienten.

Um den Einfluss der Belastungsbeschränkung auf die Mobilität zu quantifizieren, wurde der PMS (Parker-Mobility-Score) retrospektiv für die Zeit vor der Fraktur und zum Zeitpunkt der Messung erhoben. Interessanterweise hatte die postoperative 20 kg-Teilbelastung einen signifikant größeren negativen Effekt auf die PMS-Werte in der Gruppe der proximalen Femurfrakturen als bei der jungen Kontrollgruppe. Da der PMS einen sehr guten prädiktiven Wert für die Ein-Jahres-Mortalität bei älteren Hüftfrakturpatienten darstellt, ist diese Beobachtung von hoher Relevanz und unterstreicht die Wichtigkeit einer frühestmöglichen Mobilisierung der Patienten.⁴⁸

Ähnlich verhält es sich mit den Alltagsaktivitäten, die durch den Barthel-Index dargestellt werden. Auch hier war die Einschränkung der älteren Patienten signifikant höher als in der Vergleichsgruppe. In einer randomisierten Studie von

⁴⁷ Hershkovitz u. a., „Factors Affecting Short-Term Rehabilitation Outcomes of Disabled Elderly Patients with Proximal Hip Fracture“.

⁴⁸ Schnell u. a., „The 1-Year Mortality of Patients Treated in a Hip Fracture Program for Elders“.

Lathinen et al. zeigte sich zudem, dass durch physikalische oder geriatrische Rehabilitationsprogramme die Fähigkeit, unabhängig zu leben, nach 4 Monaten besonders bei Schenkelhalsfrakturen signifikant verbessert wird. Des Weiteren war in dieser Studie eine intensive Physiotherapie mit einer geringeren Mortalität verbunden.⁴⁹ Aus der Studie von Marques et al., ist bekannt, dass ein moderates Belastungstraining über 8 Monate das Risiko von Stürzen und sturzbedingten Frakturen bei älteren Frauen verringert.⁵⁰ Belastungsübungen der Beine führen außerdem zu geringeren muskuloskelettalen Schmerzen als sitzende Übungen.⁵¹ Folglich ist auch für den Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Unabhängigkeit im Alltag eine schmerzadaptierte Vollbelastung des betroffenen Beins mit umfangreicher Physiotherapie und Mobilisation nötig.

Betrachtet man die aktuelle Studienlage, summieren sich verschiedene Faktoren, die jeweils durch eine schmerzadaptierte Vollbelastung einzelne Parameter verbessern, zu einem Gesamtbild, das, selbst wenn die vorliegende Studie gezeigt hätte, dass eine Teilbelastung möglich wäre, eine vollbelastende Mobilisation bei über 75-jährigen Patienten mit proximaler Femurfraktur nahelegt. Aufgrund dieser Ergebnisse und der vorliegenden Studie – die geriatrischen Patienten konnten die Teilbelastung nicht einhalten – sollten geriatrische Patienten mit Femurfrakturen so versorgt werden, dass eine sofortige Belastung des Beins und damit eine frühzeitige Mobilisation unmittelbar postoperativ möglich sind.

Die größten Bedenken, die gegen eine Vollbelastung sprechen, sind das Versagen der Versorgung und erhöhte Re-Operationsraten. Diese Bedenken sind verständlich, da in der Literatur Re-Operationsraten von über 20% für gelenkerhaltende Fixation von Schenkelhalsfrakturen und 14% für intramedulläre Nägel bei pertrochantären Frakturen zu finden sind.⁵² Andererseits hängt das Risiko des Implantatversagens einer PFN-A-Marknagelosteosynthese vor allem von der Operationstechnik ab. Als wichtigster Faktor wird das Vermeiden einer Varus-Stellung des Kopf-Halsfragmentes, gefolgt von der Lage des Implantats,

⁴⁹ Lahtinen u. a., „Geriatric and Physically Oriented Rehabilitation Improves the Ability of Independent Living and Physical Rehabilitation Reduces Mortality“.

⁵⁰ Marques u. a., „Multicomponent Training Program with Weight-Bearing Exercises Elicits Favorable Bone Density, Muscle Strength, and Balance Adaptations in Older Women“.

⁵¹ Vogler u. a., „Reducing Risk of Falling in Older People Discharged from Hospital“.

⁵² Lenich u. a., „Clinical Comparison of the Second and Third Generation of Intramedullary Devices for Trochanteric Fractures of the Hip--Blade vs Screw“.

angesehen.^{53 54} Da Revisions-Operationen mit einer großen Belastung für den Patienten und schlechterem Outcome assoziiert sind, sollte ein Versagen der Versorgung vermieden werden. Um dennoch das Ziel der sofortigen Vollbelastung zu erreichen, etablieren sich momentan neue Behandlungsprotokolle für ältere Patienten mit unter anderem komplettem endoprothetischem Ersatz der Hüfte bei Schenkelhalsfrakturen sowie neuen operativen Techniken wie dem zusätzlichen Einsatz von Knochenzement.^{55 56}

3.9. Limitationen und Stärken der durchgeführten Studie

Eine Limitation dieser Studie ist der Vergleich unterschiedlicher Frakturen. Da isolierte proximale Femurfrakturen bei jungen Patienten extrem selten sind – im Studienzeitraum gab es im Klinikum der Universität München genau eine – wurden Patienten mit demselben Nachbehandlungsschema – 20 kg-Teilbelastung – ausgesucht. Die jungen Patienten der Vergleichsgruppe erhielten eine andere operative Versorgung als die der Testgruppe (über 75 Jahre), wodurch z.B. die Schmerzen und Schwellungen nach der Operation nicht exakt vergleichbar sind.

Da allerdings alle Patienten mit demselben Nachbehandlungsschema behandelt wurden, sind sie in Bezug auf die Teilbelastung dennoch gut vergleichbar. Die Aussagekraft der Studie wurde somit durch die Patientenauswahl nicht negativ beeinflusst.

Die Fallzahl von 20 Patienten pro Gruppe wurde zu Beginn der Studie festgelegt. Eine vorherige Fallzahlanalyse mit zu erwartenden Ergebnissen hatte eine Fallzahl von 16 Patienten pro Gruppe für eine Signifikanz $> 0,05$ und eine Power von 80 % ergeben. Die höhere Fallzahl führte zu hoch signifikanten Ergebnissen und ist für die Aussage der Studie mehr als ausreichend.

⁵³ Turgut u. a., „Which Factor Is Most Important for Occurrence of Cutout Complications in Patients Treated with Proximal Femoral Nail Antirotation?“

⁵⁴ Kang u. a., „Clinical Results of Internal Fixation of Subcapital Femoral Neck Fractures“.

⁵⁵ Grosso u. a., „Hemiarthroplasty for Displaced Femoral Neck Fractures in the Elderly Has a Low Conversion Rate“.

⁵⁶ Kammerlander u. a., „The Use of Augmentation Techniques in Osteoporotic Fracture Fixation“.

4. Zusammenfassung

Die rasche postoperative Re-Mobilisierung hat bei älteren Hüftfrakturpatienten zur Prävention von Folgekomplikationen und dem drohenden Verlust der Selbstständigkeit eine übergeordnete Bedeutung. Aus Angst vor einem sekundären Repositionsverlust der häufig Osteoporose-assoziierten Frakturen wird ungeachtet der Umsetzbarkeit noch immer häufig eine postoperative Teilbelastung auch bei älteren Hüftfrakturpatienten angeordnet, obwohl es gerade für diesen Patienten koordinativ kaum möglich zu sein scheint, diese Nachbehandlung umzusetzen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die Fähigkeiten über 75-jähriger Patienten, eine Teilbelastung nach operativer Versorgung von proximalen Femurfrakturen einzuhalten, zu evaluieren und mit jungen Patienten zu vergleichen. Hierzu wurden 40 Patienten – je 20 in der Gruppe der jungen bzw. älteren Patienten – konsekutiv eingeschlossen und nach standardisierter physiotherapeutischer Übung auf einem alltagsnahen Parcours gemessen. Der Parcours beinhaltet die Aktivitäten „Aufstehen“, „Hinsetzen“, „Laufen“ und „Wenden“. Die Belastungen insbesondere des betroffenen Beins wurden mit Pedoped-Einlegesohlen (Firma Novel) erfasst und anschließend statistisch ausgewertet.

Keiner der über 75-Jährigen in der Testgruppe war in der Lage, die vorgegebene 20 kg-Teilbelastung während der Messung einzuhalten oder nur geringfügig (bis zu 20 % entsprechend 24 kg) zu überschreiten. 65 % belasteten das betroffene Bein sogar mit mehr als 40 kg. In der jungen Kontrollgruppe konnten dagegen 80 % eine tolerable (bis zu 20 % erhöht; 24 kg) Teilbelastung durchführen, 60 % sogar die 20 kg einhalten. Dieser Unterschied ist signifikant ($\alpha \leq 0,01$).

Auch der Anteil der Zeit, in der das betroffene Bein mit mehr als 20 kg belastet wurde, zeigte deutliche und signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. So konnte in der Testgruppe lediglich ein Patient die Teilbelastung mehr als 90% der Messzeit einhalten. In der Kontrollgruppe waren es hingegen 90%.

Ebenfalls signifikante Unterschiede zeigten sich bei Barthel-Index, EQ-5D und MMSE vor der Verletzung bzw. Bartel-Index, EQ-5D und PMS nach der Verletzung, sowie der Verschlechterung von Barthel-Index, EQ-5D und PMS im Vorher-Nachher-Vergleich.

Unabhängig von diesen Ergebnissen zeigte die Recherche aktueller Literatur zum Thema „proximale Femurfraktur“ und besonders der Nachsorge einer solchen, dass eine Teilbelastung das Outcome und die Mobilität einschränkt. Zusammen mit den Ergebnissen, dass über 75-Jährige die Teilbelastung – selbst bei guter Mobilität vor Fraktur und nach Ausschluss aller hirnorganischen Störungen – nicht adäquat einhalten können, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass eine Teilbelastung vermieden werden sollte.

Über 75-jährige Patienten mit proximaler Femurfraktur sollten daher operativ so versorgt werden, dass sie unmittelbar nach der Operation voll belasten können, um eine schnellstmögliche Wiederherstellung der Mobilität und Selbstständigkeit zu erreichen. Dies führt zu einem besseren klinischen Outcome, erhöht die Lebensqualität, verringert die Gefahr von Stürzen und die Rehospitalisierungsrate.

5. Veröffentlichungen im Rahmen des Promotionsverfahrens

Im Rahmen des Promotionsverfahrens wurden die Ergebnisse bzw. Teilergebnisse der Studie in folgenden Veröffentlichungen verwendet:

- „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“ C. Kammerlander et al., The Journal of Bone and Joint Surgery, Jun 2018
- „Ist eine postoperative Teilbelastung für geriatrische Patienten nach Hüftfraktur möglich?“ D. Pfeufer et al., Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie 2017 (DKOU 2017), Abstract und Vortrag

6. Abkürzungsverzeichnis

AAOS	-	American Academy of Orthopaedic Surgens
AWMF	-	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BI	-	Barthelindex
EQ-5D	-	Lebensqualitätsfragebogen; hier wurde der EQ-5D-3L verwendet
FA	-	Firma
kg	-	Kilogramm
MMSE	-	Minimal Mental State Examination
N	-	Newton
OP	-	Operation
PFN-A	-	proximaler Femurnagel – Antirotaion
PMS	-	Parker Mobility Score
SD	-	Standardabweichung
TB	-	Teilbelastung
TVT	-	Tiefe Beinvenen Thrombose

7. Literaturverzeichnis

- „012-001I_S2e_Schenkelhalsfraktur_2015-10_01.pdf“. Zugegriffen 3. Oktober 2017. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-001I_S2e_Schenkelhalsfraktur_2015-10_01.pdf.
- Ariza-Vega, Patrocinio, Morten Tange Kristensen, Lydia Martín-Martín, und Jose Juan Jiménez-Moleón. „Predictors of Long-Term Mortality in Older People with Hip Fracture“. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 96, Nr. 7 (Juli 2015): 1215–21. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.01.023>.
- „Bevölkerung nach Altersklassen (Deutschland): Deutschland in Zahlen“. Zugegriffen 2. Oktober 2017. <https://www.deutschlandinzahlen.de/tab/deutschland/demografie/bevoelkerung-nach-altersklassen-deutschland>.
- Braun, Benedikt J., Nils T. Veith, Mika Rollmann, Marcel Orth, Tobias Fritz, Steven C. Herath, Jörg H. Holstein, und Tim Pohlemann. „Weight-Bearing Recommendations after Operative Fracture Treatment-Fact or Fiction? Gait Results with and Feasibility of a Dynamic, Continuous Pedobarography Insole“. *International Orthopaedics* 41, Nr. 8 (August 2017): 1507–12. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3481-7>.
- Burns, Geoffrey T., Jessica Deneweth Zender, und Roland Zernicke. „Wireless Insoles to Measure Ground Reaction Force: Step-by-Step Validity in Hopping, Walking and Running“, Juli 2017.
- Dirks, Marlou L., Benjamin T. Wall, Bas van de Valk, Tanya M. Holloway, Graham P. Holloway, Adrian Chabowski, Gijs H. Goossens, und Luc J. C. van Loon. „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* 65, Nr. 10 (Oktober 2016): 2862–75. <https://doi.org/10.2337/db15-1661>.
- Friedman, Susan M., Daniel A. Mendelson, Karilee W. Bingham, und Stephen L. Kates. „Impact of a Co-managed Geriatric Fracture Center on Short-Term Hip Fracture Outcomes“. *Archives of Internal Medicine* 169, Nr. 18 (12. Oktober 2009): 1712–17. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.321>.
- Friedman, Susan M., und Daniel Ari Mendelson. „Epidemiology of Fragility Fractures“. *Clinics in Geriatric Medicine* 30, Nr. 2 (Mai 2014): 175–81. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2014.01.001>.
- Grosso, Matthew J., Jonathan R. Danoff, Taylor S. Murtaugh, David P. Trofa, Andrew N. Sawires, und William B. Macaulay. „Hemiarthroplasty for Displaced Femoral Neck Fractures in the Elderly Has a Low Conversion Rate“. *The Journal of Arthroplasty* 32, Nr. 1 (Januar 2017): 150–54. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2016.06.048>.
- Haywood, Kirstie L., Andrew M. Garratt, und Ray Fitzpatrick. „Quality of Life in Older People: A Structured Review of Self-Assessed Health Instruments“. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* 6, Nr. 2 (April 2006): 181–94. <https://doi.org/10.1586/14737167.6.2.181>.
- Henderson, C. Y., E. Shanahan, A. Butler, B. Lenehan, M. O'Connor, D. Lyons, und J. P. Ryan. „Dedicated Orthogeriatric Service Reduces Hip Fracture Mortality“. *Irish Journal of Medical Science* 186, Nr. 1 (Februar 2017): 179–84. <https://doi.org/10.1007/s11845-016-1453-3>.
- Hershkovitz, Avital, Zulicha Kalandariov, Vered Hermush, Roni Weiss, und Shai Brill. „Factors Affecting Short-Term Rehabilitation Outcomes of Disabled Elderly Patients with Proximal Hip Fracture“. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 88, Nr. 7 (Juli 2007): 916–21. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.03.029>.
- Hustedt, Joshua W., Daniel J. Blizzard, Michael R. Baumgaertner, Michael P. Leslie, und Jonathan N. Grauer. „Current Advances in Training Orthopaedic Patients to Comply with Partial Weight-Bearing Instructions“. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 85, Nr. 1 (März 2012): 119–25.

Hutchings, Lynn, Rebecca Fox, und Tim Chesser. „Proximal Femoral Fractures in the Elderly: How Are We Measuring Outcome?“ *Injury* 42, Nr. 11 (November 2011): 1205–13. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.12.016>.

Kammerlander, C., M. Blauth, M. Gosch, und W. Böcker. „[Co-management in geriatric traumatology]“. *Der Orthopäde* 44, Nr. 9 (September 2015): 681–85. <https://doi.org/10.1007/s00132-015-3144-6>.

Kammerlander, Christian, Carl Neuerburg, Jorrit-Jan Verlaan, Werner Schmoelz, Theodore Miclau, und Sune Larsson. „The Use of Augmentation Techniques in Osteoporotic Fracture Fixation“. *Injury* 47 Suppl 2 (Juni 2016): S36-43. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(16\)47007-5](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(16)47007-5).

Kammerlander, Christian, Daniel Pfeufer, Leonard Adolf-Lisitano, Stefan Mehaffey, Wolfgang Böcker, und Carl Neuerburg. „Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions“. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 100, Nr. 11 (6. Juni 2018): 936–41. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01222>.

Kang, Joon Soon, Kyoung Ho Moon, Joong Sup Shin, Eun Ho Shin, Chi Hoon Ahn, und Geon Hong Choi. „Clinical Results of Internal Fixation of Subcapital Femoral Neck Fractures“. *Clinics in Orthopedic Surgery* 8, Nr. 2 (Juni 2016): 146–52. <https://doi.org/10.4055/cios.2016.8.2.146>.

Koval, K. J., D. A. Sala, F. J. Kummer, und J. D. Zuckerman. „Postoperative Weight-Bearing after a Fracture of the Femoral Neck or an Intertrochanteric Fracture“. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 80, Nr. 3 (März 1998): 352–56.

Lahtinen, Antti, Juhana Leppilahti, Sampa Harmainen, Jaakko Sipilä, Riitta Antikainen, Maija-Liisa Seppänen, Reeta Willig, u. a. „Geriatric and Physically Oriented Rehabilitation Improves the Ability of Independent Living and Physical Rehabilitation Reduces Mortality: A Randomised Comparison of 538 Patients“. *Clinical Rehabilitation* 29, Nr. 9 (September 2015): 892–906. <https://doi.org/10.1177/0269215514559423>.

Langenhan, Ronny, Per Trobisch, Pedro Ricart, und Axel Probst. „Aggressive Surgical Treatment of Periprosthetic Femur Fractures Can Reduce Mortality: Comparison of Open Reduction and Internal Fixation versus a Modular Prosthesis Nail“. *Journal of Orthopaedic Trauma* 26, Nr. 2 (Februar 2012): 80–85. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31821d6f55>.

„Laufband quasar® med | h/p/cosmos“. Zugegriffen 5. Oktober 2017. <https://www.h-p-cosmos.com/de/produkte/einzelprodukte/laufband-quasar-med>.

Lauretani, Fulvio, Tiziana Meschi, Andrea Ticinesi, und Marcello Maggio. „‘Brain-Muscle Loop’ in the Fragility of Older Persons: From Pathophysiology to New Organizing Models“. *Aging Clinical and Experimental Research*, 23. Februar 2017. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0729-4>.

Lenich, Andreas, Helen Vester, Michael Nerlich, Edgar Mayr, Ulrich Stöckle, und Bernd Füchtmeier. „Clinical Comparison of the Second and Third Generation of Intramedullary Devices for Trochanteric Fractures of the Hip--Blade vs Screw“. *Injury* 41, Nr. 12 (Dezember 2010): 1292–96. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.07.499>.

Liem, I. S., C. Kammerlander, N. Suhm, M. Blauth, T. Roth, M. Gosch, A. Hoang-Kim, u. a. „Identifying a Standard Set of Outcome Parameters for the Evaluation of Orthogeriatric Co-Management for Hip Fractures“. *Injury* 44, Nr. 11 (November 2013): 1403–12. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.06.018>.

„loadsol“. Originalmessung vor Auslieferung. Zur Verfügung gestellt am 5. Oktober 2017 mit freundlicher Genehmigung durch Holger Neumann/FA Novel. novel GmbH, Ismaningerstr. 51, 81675 München, Deutschland

Lundstrom, Maria, Birgitta Olofsson, Michael Stenvall, Stig Karlsson, Lars Nyberg, Undis Englund, Bengt Borssen, Olle Svensson, und Yngve Gustafson. „Postoperative Delirium in Old Patients with Femoral Neck Fracture: A Randomized Intervention Study.“ *Aging Clinical and Experimental Research* 19, Nr. 3 (Juni 2007): 178–86.

Marques, Elisa A., Jorge Mota, Leandro Machado, Filipa Sousa, Margarida Coelho, Pedro Moreira, und Joana Carvalho. „Multicomponent Training Program with Weight-Bearing Exercises Elicits Favorable Bone Density, Muscle Strength, and Balance Adaptations in Older Women“. *Calcified Tissue International* 88, Nr. 2 (Februar 2011): 117–29. <https://doi.org/10.1007/s00223-010-9437-1>.

Neuerburg, Carl, M. Gosch, W. Böcker, M. Blauth, und C. Kammerlander. „[Proximal femoral fractures in the elderly]“. *Zeitschrift Für Gerontologie Und Geriatrie* 48, Nr. 7 (Oktober 2015): 647–59; quiz 660–61. <https://doi.org/10.1007/s00391-015-0939-3>.

Neumann, Holger. „Kistler-Tests_loadsols LMU München“. Originalmessung zur Qualitätssicherung der FA Novel der in dieser Studie verwendeten Sohlen. Mit freundlicher Genehmigung durch Holger Neumann/Novel

Parker, M. J., und C. R. Palmer. „A New Mobility Score for Predicting Mortality after Hip Fracture“. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume* 75, Nr. 5 (September 1993): 797–98.

Prestmo, Anders, Gunhild Hagen, Olav Sletvold, Jorunn L. Helbostad, Pernille Thingstad, Kristin Taraldsen, Stian Lydersen, u. a. „Comprehensive Geriatric Care for Patients with Hip Fractures: A Prospective, Randomised, Controlled Trial“. *Lancet (London, England)* 385, Nr. 9978 (25. April 2015): 1623–33. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62409-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62409-0).

Schnell, Scott, Susan M. Friedman, Daniel A. Mendelson, Karilee W. Bingham, und Stephen L. Kates. „The 1-Year Mortality of Patients Treated in a Hip Fracture Program for Elders“. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation* 1, Nr. 1 (September 2010): 6–14. <https://doi.org/10.1177/2151458510378105>.

Schwachmeyer, Verena, Philipp Damm, Alwina Bender, Jörn Dymke, Friedmar Graichen, und Georg Bergmann. „In Vivo Hip Joint Loading during Post-Operative Physiotherapeutic Exercises“. *PloS One* 8, Nr. 10 (2013): e77807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077807>.

„Surgeons AAoO. Appropriate Use Criteria For Postoperative Rehabilitation of Low Energy Hip Fractures in the Elderly2015 - Google-Suche“. Zugegriffen 5. Oktober 2017. https://www.google.de/search?q=Surgeons+AAoO.+Appropriate+Use+Criteria+For+Postoperative+Rehabilitation+of+Low+Energy+Hip+Fractures+in+the+Elderly2015&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=JkLWWbmiCpPb8Aexx5DgDg.

Swift, Joshua M., Florence Lima, Brandon R. Macias, Matthew R. Allen, Elizabeth S. Greene, Yasaman Shirazi-Fard, Joshua S. Kupke, Harry A. Hogan, und Susan A. Bloomfield. „Partial Weight Bearing Does Not Prevent Musculoskeletal Losses Associated with Disuse“. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45, Nr. 11 (November 2013): 2052–60. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318299c614>.

Turgut, Ali, Önder Kalenderer, Levent Karapınar, Mert Kumbaracı, Hasan Ali Akkan, und Haluk Ağuş. „Which Factor Is Most Important for Occurrence of Cutout Complications in Patients Treated with Proximal Femoral Nail Antirotation? Retrospective Analysis of 298 Patients“. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 136, Nr. 5 (Mai 2016): 623–30. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2410-3>.

Vogler, Constance M., Catherine Sherrington, Susan J. Ogle, und Stephen R. Lord. „Reducing Risk of Falling in Older People Discharged from Hospital: A Randomized Controlled Trial Comparing Seated Exercises, Weight-Bearing Exercises, and Social Visits“. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 90, Nr. 8 (August 2009): 1317–24. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.01.030>.

Wall, Benjamin T., Marlou L. Dirks, und Luc J. C. van Loon. „Skeletal Muscle Atrophy during Short-Term Disuse: Implications for Age-Related Sarcopenia“. *Ageing Research Reviews* 12, Nr. 4 (September 2013): 898–906. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2013.07.003>.

Welmer, Anna-Karin, Debora Rizzuto, Erika J. Laukka, Kristina Johnell, und Laura Fratiglioni. „Cognitive and Physical Function in Relation to the Risk of Injurious Falls in Older Adults: A Population-Based Study“. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 72, Nr. 5 (1. Mai 2017): 669–75. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw141>.

Yu, Serena, Tony McDonald, Christabel Jesudason, Kathy Stiller, und Thomas Sullivan. „Orthopedic Inpatients' Ability to Accurately Reproduce Partial Weight Bearing Orders“. *Orthopedics* 37, Nr. 1 (Januar 2014): e10-18.

Zuckerman, J. D. „Hip Fracture“. *The New England Journal of Medicine* 334, Nr. 23 (6. Juni 1996): 1519–25. <https://doi.org/10.1056/NEJM199606063342307>.

8. Danksagungen

Ich möchte Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker, Herrn Prof. Dr. med. Christian Kammerlander und Herrn PD Dr. med. Carl Neuerburg für die Überlassung der Arbeit, die gute Betreuung und große Hilfsbereitschaft danken.

Danke besonders an Herrn Dr. med. Daniel Pfeufer für die ständige Unterstützung und grandiose Zusammenarbeit, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Außerdem möchte ich meinen Eltern, meiner Schwester und Mella dafür danken, dass sie mir während der Arbeit stets mit Rat und Tat zur Seite standen.