

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
vormals Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungs- Chirurgie
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor:

Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Prof. Dr. med. Boris Holzapfel

Augmentation des Knochen-Implantat-Interfaces:

Auswirkungen auf die Belastungsrate nach PFN-A-
Marknagelosteosynthese.

Dissertation

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

vorgelegt von

Fabian Kau

aus

St. Veit a. d. Glan, AUT

2021

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter:	PD Dr. Carl Neuerburg
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Matthias Graw
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. Daniel Pfeufer
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der Mündlichen Prüfung:	13.08.2021

Eidesstattliche Versicherung

Kau, Fabian

(Name, Vorname)

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel „Augmentation des Knochen-Implantat-Interfaces: Auswirkungen auf die Belastungsrate nach PFN-A-Marknagelosteosynthese.“ 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.

München, den 13.02.2021

Fabian Kau

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung.....	6
1.1 Hintergrund.....	6
1.2 Osteoporose-assoziierte Frakturen und Risikofaktoren	7
1.3 Primär-/Sekundärprävention Osteoporose-assoziiierter Frakturen	8
1.4 Proximale Femurfraktur.....	10
1.4.1 Intertrochantäre Femurfrakturen	11
1.4.2 Pertrochantäre Femurfraktur.....	11
1.4.3 subtrochantäre Femurfraktur	11
1.5 Frakturversorgung.....	12
1.5.1 Grundprinzipien	13
1.5.2 Augmentierte Marknagelosteosynthese mit dem PFN-A.....	14
1.5.3 Herausforderung osteoporotischer Knochen.....	15
1.6 Fragestellung.....	16
2. Material und Methoden	18
2.1 Auswahl Patientenkollektiv.....	18
2.2 Versuchsaufbau.....	20
2.2.1 Beurteilung der Funktionalität und Aktivität der Patienten mit Fragebögen. 20	
2.2.2 Ganganalyse	23
2.2.3 Messinstrument Sohle	25
2.2.4 Auswertung der Messung	26
2.3 Statistische Methoden	27
3. Ergebnisse.....	30
3.1 Demographische Daten.....	30
3.2 Aktivität der Patienten vor dem Sturz.....	31
3.2.1 Barthel Index	31
3.2.2 Parker Mobility Score	32

3.3	Aktivität der Patienten nach der Operation.....	34
3.3.1	Barthel Index	34
3.3.2	Parker Mobility Score	35
3.4	Ganganalyse	36
4.	Diskussion	39
4.1	Beantwortung der Fragestellung	39
4.2	Vereinbarkeit mit bestehenden Studien	40
4.3	Limitationen	42
4.4	Praktische Implikationen.....	42
4.5	Fazit.....	43
5.	Zusammenfassung	45
6.	Veröffentlichungen	47
7.	Abkürzungsverzeichnis	48
8.	Abbildungsverzeichnis	49
9.	Tabellenverzeichnis	50
10.	Literaturverzeichnis	51
11.	Danksagung.....	56
12.	Lebenslauf.....	57

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Frakturen des proximalen Femurs sind die häufigsten Frakturen bei älteren Erwachsenen. Fast 50% aller Frakturen betreffen die Trochanterregion (1). Typischerweise wird diese Art von Fraktur durch einen einfachen Sturz (einem low-energy Trauma) in Kombination mit einer schlechten osteoporotischen Knochenqualität verursacht. Der Anteil der über 70-Jährigen und somit auch die Zahl osteoporotischer Frakturen im Allgemeinen, nehmen in westlichen Ländern, so auch in Deutschland, stetig zu (2). Die Minderung der Mineralsalze im Knochen ist der führende Risikofaktor für Frakturen im höheren Alter. Jährlich erleiden in Europa ca. 3,5 Millionen Menschen eine Osteoporose-assoziierte Fraktur. Deutschlandweit leiden etwa 8 Millionen Menschen an Osteoporose, europaweit (EU-Gebiet) sind es ca. 27,5 Millionen Menschen (3). 36% der Frakturen aus 16 Frakturtypen (darunter auch die pertrochantäre Femurfraktur) sind auf Osteoporose zurückzuführen. (4). Bei Männern soll der Anteil der über 85-jährigen Patienten bis 2025 um 129% und bei Frauen um 79% steigen, Hernlund et al. schätzen einen Kostenanstieg für Therapien, die auf Osteoporose zurückzuführen sind, bis 2025 um 25%. Die Osteoporose-assoziierten Frakturen haben somit eine große volkswirtschaftliche Bedeutung. Innerhalb der EU belaufen sich die Kosten auf ca. 37 Milliarden Euro, davon belaufen sich 66% der Kosten auf die Frakturversorgung, 29% auf die Langzeitbehandlung nach einer Frakturversorgung und 5% auf die medikamentöse Therapie (5). In mehreren Studien wurde geschätzt, dass bis zum Jahr 2050 zwischen 4,5 und 6 Millionen Menschen pro Jahr eine Hüftfraktur erleiden werden (6) (7). Ziel ist es, für diese Patienten das bestmögliche funktionelle Ergebnis zu erreichen. Um an dieses Ziel zu gelangen, ist eine genaue Frakturfixation mit perfekter Reposition und Implantatinsertion sowie eine frühestmögliche postoperative Mobilisierung ohne Einschränkung der Gewichtsbelastung

erforderlich (8). Vor diesem Hintergrund muss eine schnellstmögliche Mobilisation und Rehabilitation nach Behandlung der Fraktur erfolgen, um die Lebensqualität des Patienten wieder zu steigern und die Kosten für das Gesundheitssystem möglichst gering zu halten.

1.2 Osteoporose-assoziierte Frakturen und Risikofaktoren

Die Entstehung einer Osteoporose ist multifaktoriell. Für die Knochendichte sind zu 75% die genetische Komponente und zu 25% die äußeren Faktoren verantwortlich (9). In vielen Studien werden positive familiäre Osteoporose- und Frakturanamnesen als wichtigste Risikofaktoren dargestellt (4). Unabhängig von der Knochendichte und den klinischen Risikofaktoren, wie einer Immobilisation oder multiple Stürze, die ebenfalls im Alter zunehmen, ist das Lebensalter als Risikofaktor anzusehen (10) (11). Anzunehmen ist, dass die Korrelation des Lebensalters mit dem Frakturrisiko wegen einer Verschlechterung biomechanischer Faktoren der Knochenarchitektur sowie der Knochenqualität im zunehmenden Alter verursacht wird. Bereits ohne Durchführung einer Knochendichtemessung kann bei Patienten mit einer peritrochantären Femurfraktur nach einem niedrigenergetischen Trauma eine Osteoporosetherapie bei postmenopausalen oder männlichen Patienten >60 Jahre indiziert sein (12).

Als weiterer Risikofaktor gilt die Gebrechlichkeit von Patienten, sie wird von Fried et al. als Symptomkomplex mit Auftreten von mindestens 3 der folgenden Kriterien definiert: ungewollter Gewichtsverlust, zunehmende Erschöpfung, Einschränkung der maximalen Handkraft, verminderte Ganggeschwindigkeit und eingeschränkte körperliche Aktivität (13). Gebrechliche Patienten mit Multimorbidität leiden häufig auch unter Sarkopenie, welche mit einem Verlust von Muskelmasse und/oder -kraft und/oder -funktion einher geht (14) (15). Ein Mangel an 1 α -hydroxylierten Vitamin D-Metaboliten (Calcitriol und Alfacalcidol), wie es bereits bei einer mäßigen Abnahme der Nierenfunktion vorkommt, trägt ebenfalls zu einem

erhöhten Sturzrisiko bei (16). Pro Jahr stürzen ein Drittel aller über 65-Jährigen, was Frakturen, Sturzangst, Verlust der Selbstständigkeit und eine erhöhte Mortalität zu Folge hat (17). Diese Zahl legt nahe, sich vermehrt mit der Prävention von Osteoporose-assoziierten Frakturen zu beschäftigen.

1.3 Primär-/Sekundärprävention Osteoporose-assoziiierter Frakturen

Moderne molekulardiagnostische Methoden können eine genetische Veranlagung für Osteoporose diagnostizieren. Die rechtzeitige Einweisung in das Screening der Osteodensitometrie, das FRAX-Modell zur Berechnung des Frakturrisikos und bei rechtzeitiger Beratung zu Präventionsmaßnahmen sowie einer angemessenen Behandlung, kann das Fortschreiten maßgeblich beeinflusst werden und somit als Primärprävention dienen (18).

In über 80% der der Osteoporose-assoziierten Frakturen handelt es sich um eine Erstdiagnose der Osteoporose. Eine leitliniengerechte Therapie gemäß des Dachverbandes Osteologie ist als Sekundärprävention indiziert (19).

Vor allem das Training von Gleichgewicht und Kraft spielt eine bedeutende Rolle in der Prävention von Stürzen im hohen Alter und reduziert somit das Risiko für Osteoporose-assoziierte Frakturen (17). In vorangegangenen Untersuchungen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Hochintensives Widerstandstraining und Schlagtraining (HiRIT) die Knochendichte sowie die körperliche Stärke bei postmenopausalen Frauen mit geringer Knochenmasse verbessert, ohne dabei Brüche zu erleiden. Verglichen mit Frauen, die ein Trainingsprogramm mit geringer Intensität absolvierten, wiesen die Patienten der HiRIT-Gruppe eine Zunahme der Knochendichte (bone mineral density test, BMD-Test) an der Lendenwirbelsäule und dem Schenkelhals auf (20). Es wurde auch beobachtet, dass geriatrische Patienten mit einer bereits geringfügigen Einschränkung bestimmter präoperativer Mobilitätstests eine signifikant höhere 1-Jahres-Mortalität haben als Patienten

ohne Einschränkung (21). Allgemein stellt im Alter eine wegen verminderter Knochenqualität zustande gekommene proximale Femurfraktur eine häufige Todesursache dar, mit einer Ein-Jahres-Mortalität von bis zu 30% (22) (23). Die Lebensqualität verschlechtert sich im Langzeitverlauf ebenfalls signifikant (24). Studien belegen, dass frühzeitige Mobilisierung Komplikationen wie Harnwegsinfektionen, Lungenentzündungen und progressiven Muskelverlust (25) sowie die Mortalität bei Patienten mit einer Hüftfraktur reduziert (26). Patienten, die bereits vor der Fraktur einen schlechten Gesundheitszustand aufwiesen, profitieren von der frühzeitigen Mobilisierung am meisten (27). Zusätzlich sinkt die Mortalität bei älteren Hüftfrakturpatienten, welche unmittelbar postoperativ mobilisiert werden gegenüber Patienten, bei denen dies erst nach einer immobilen Zeit von 2 Wochen geschieht (26). Das Programm Fracture Liaison Service (FLS), welches an manchen Krankenhäusern bereits angewendet wird, bietet eine nahtlose Integration der Versorgung durch Gesundheitsdienstleister, Pflegepersonal und Verwaltung. Die Nachsorge ist dadurch nicht von einzelnen Ärzten abhängig, sondern wird aus Sicht der öffentlichen Gesundheit behandelt. Ein FLS kann zu einer Abnahme der frakturbedingten Morbidität/Mortalität führen sowie zu einer Reduktion der Gesundheitsausgaben (28). Darüber hinaus kann die Refrakturnrate deutlich gesenkt werden (29). Die frühzeitige Mobilisation auch bei zementfreier Versorgung hat in der Regel keinen negativen Einfluss auf die Stabilität des Implantats im Knochen und sollte deshalb angestrebt werden (30). Bei der geriatrischen Rehabilitation muss dennoch in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einen der aktive alte Patient, der eine Fraktur bei körperlicher Aktivität erleidet. Hier ist das Ziel, seine ursprüngliche Aktivität wieder zu erlangen. Zum anderen der im Pflegeheim lebende Patient. Hier liegt die Sturzprävention an erster Stelle, um die Mortalität von über 90% zu reduzieren (31).

Es gilt herauszufinden, welche zusätzlichen Maßnahmen getroffen werden können, um Patienten nach einer Hüftfraktur möglichst früh und effizient zu mobilisieren. Diese Arbeit trägt einen Teil dazu bei.

1.4 Proximale Femurfraktur

Bei den proximalen Femurfrakturen wird im Wesentlichen zwischen Femurkopf-, Schenkelhals- und trochantären Frakturen unterschieden. In dieser Studie wurden keine Patienten mit einer Femurkopf- oder Schenkelhalsfraktur eingeschlossen, weshalb in den folgenden Unterpunkten ausschließlich auf die trochantäre Femurfraktur näher eingegangen wird.

Das Femur ist der größte menschliche Knochen. Er gliedert sich in das proximomediale Caput (Kopf), das anschließende Collum (Hals) und das Corpus (Schaft). Am Übergang vom Collum zum Corpus befindet sich dorsolateral der Trochanter major (großer Rollhügel) und dorsomedial der Trochanter minor (kleiner Rollhügel).

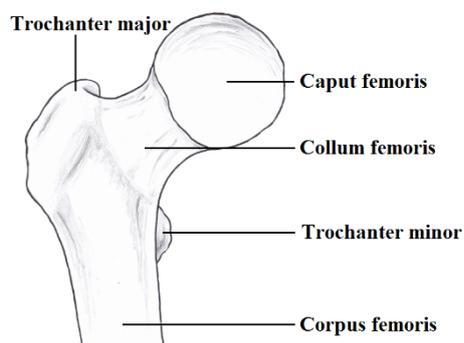
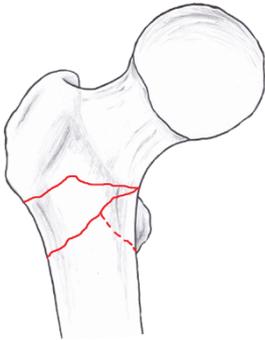


Abbildung 1. Anatomie des proximalen Femurs.

Eingeteilt werden Brüche im trochantären Bereich in inter-, per- und subtrocantäre Frakturen.

In der ICD-10 Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind diese zusammengefasst unter der Nummer S72.1 (subtrochantär S72.2) (32) und in der AO-Klassifikation unter der Nummer 31-A (subtrochantär 32-A1.1) (33) zu finden.

1.4.1 Intertrochantäre Femurfrakturen

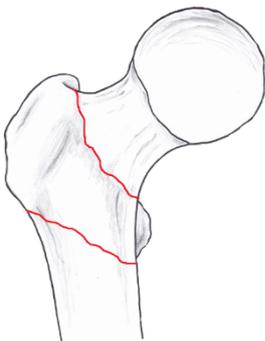


Eine Fraktur des Femurs im Bereich zwischen Trochanter major und Trochanter minor wird als intertrochantäre Femurfraktur bezeichnet.

Eine Absprengung des Trochanter minors ist ebenfalls möglich.

Abbildung 2. Frakturlinien einer intertrochantären Femurfraktur.

1.4.2 Pertrochantäre Femurfraktur



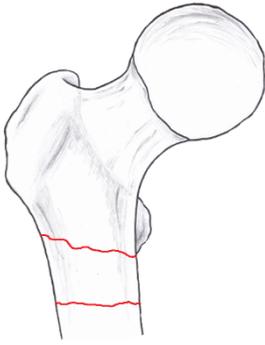
Eine Frakturlinie durch beide Trochanteren wird als pertrochantären Femurfraktur bezeichnet.

In dieser Studie ist diese Frakturbezeichnung die häufigste Diagnose.

Abbildung 3. Frakturlinien einer pertrochantären Femurfraktur.

1.4.3 subtrochantäre Femurfraktur

Eine Fraktur des Femurs distal der beiden Trochanteren wird als subtrochantäre Femurfraktur bezeichnet.



Streng genommen gehört eine Fraktur im subtrochantären Bereich zu den Femurschaftfrakturen. Auf Grund der Gemeinsamkeiten bezüglich Unfallmechanismus, Klinik und Therapie wird diese Frakturbezeichnung jedoch ebenfalls zu den proximalen Femurfrakturen gezählt.

Abbildung 4. Frakturlinien einer subtrochantären Femurfraktur.

1.5 Frakturversorgung

Trochantäre Hüftfrakturen stellen eine besondere Problematik der Alterstraumatologie dar. Die verminderte Knochenqualität infolge der Erkrankung mit Osteoporose sowie die ungünstige Biomechanik beeinflussen sich hierbei gegenseitig negativ. Steigt der Instabilitätsgrad, so muss die Osteosynthese sicherer und stabiler gestaltet werden. Bei stabilen Bruchformen kommt z.B. eine extramedulläre Osteosynthese, wie z.B. eine dynamischen Hüftschraube (DHS), als Versorgung in Frage, wohingegen Frakturen eines höheren Instabilitätsgrades mit einer intramedullären Versorgung behandelt werden. Die häufig bei dieser Indikation verwendeten und der in dieser Studie eingesetzte proximale Femurnagel-Antirotation (PFN-A), eine Marknagelosteosynthese, bewirken eine dynamische Fixation. Das bedeutet, dass die Stabilität des gesamten Verbundes durch kontrolliertes Sintern im Bereich der Fraktur und somit durch die interfragmentäre Kompression bei Belastung erhöht wird. Volle Belastungs- und Übungsstabilität sind damit zu erreichen. Vorausgesetzt wird eine zuverlässige Operationstechnik, nachdem eine geschlossene oder in manchen Fällen auch eine offene Reposition des Bruches stattgefunden hat und somit eine der vorgegebenen Positionierung angeglichenen Implantation des Osteosynthesematerials (34). Darüber hinaus weisen diese Patienten meist mehrere Komorbiditäten auf, die die chirurgische Versorgung und Rehabilitation erschweren (35).

Unter den intramedullären Osteosynthesen gibt es diverse Implantate unterschiedlicher Hersteller, wie zum Beispiel den Gamma Nagel der Firma Stryker (Duisburg, Deutschland). Der PFN-A der Firma DePuy/ Synthes® (Oberdorf, Deutschland) ist eine standardisiert augmentierbare intramedulläre Osteosynthese und wird deshalb in dieser Studie verwendet. Die geschlossene Reposition in Kombination mit einem intramedullären Nagel ist zur chirurgischen Stabilisierung von Trochanterfrakturen weit verbreitet (36). Der PFN-A bietet neben einem verbesserten Klingendesign die Möglichkeit, eine Zementaugmentation durchzuführen, um Komplikationen wie Materiallockerungen oder Schraubenausschnitte vorzubeugen. In mehreren biomechanischen Studien wurde eine Verbesserung der Stabilität hierdurch gezeigt (37) (38).

1.5.1 Grundprinzipien

Die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) definierte 1958 vier Grundprinzipien. Heute dienen diese Grundprinzipien als Leitlinien für Osteosynthese im Allgemeinen und Marknagelung im Besonderen (39) (40). Diese werden im folgenden Absatz mit je einem Satz beschrieben.

Eine anatomische Reposition wird vor Einbringen des Nagels manuell oder mit Repositionstisch durchgeführt. Für eine stabile Osteosynthese wird die indirekte Kallusbildung durch relative Stabilität der PFN-A-Marknagelosteosynthese induziert. Der Erhalt der Blutversorgung wird durch minimale Traumatisierung des Endosts während dem Aufbohren des Markraums über unverletztes End- und Periost gewährleistet. Die frühzeitige, aktive Mobilisierung soll die Wiederherstellung der ursprünglichen Mobilität und Funktion durch die geringe Beeinträchtigung der Blutversorgung und das verbesserte Umfeld für die Knochenheilung beschleunigen.

1.5.2 Augmentierte Marknagelosteosynthese mit dem PFN-A

Die in die Studie eingeschlossenen Hüftfrakturpatienten wurden alle mit einem PFN-A, einer Marknagelosteosynthese von der Firma DePuy/ Synthes® (Oberdorf, Deutschland) versorgt.

Die anatomische Form lässt eine ideale Position im Femur zu. Der mediolaterale Winkel von 6° ermöglicht den Eintritt über die Spitze des Trochanter major. Das distale Ende ist flexibel und erleichtert somit die Insertion. Zusätzlich werden dadurch Spannungen an der Spitze des PFN-A verhindert. Durch die Klinge des PFN-A, welche in der Achse des Schenkelhalses verläuft, wird Rotations- und Winkelstabilität gewährleistet. Zusätzlich wird die Spongiosa durch den ansteigenden Kerndurchmesser und die große Oberfläche beim Inserieren kompaktiert und dadurch besserer Halt geschaffen.

Für eine bessere Veranschaulichung des PFN-A siehe Abbildung 5.



Abbildung 5. Schematische Darstellung eines PFN-A.

Der Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD-Winkel) sowie der Durchmesser des Implantats wird laut Herstellerangaben mit Hilfe eines Goniometers oder einer Schablone über einer AP Röntgenaufnahme des gesunden Beins bestimmt. Nach Insertion wird mit Hilfe eines Zielbügelaufsatzes eine Verriegelung distal am PFN-A durchgeführt (41).

Bei alterstraumatologischen Patienten findet ein Remodelling und somit eine sukzessive Umwandlung des Augmentationsmaterials im Knochen nur erschwert statt (42). Aus diesem Grund wird vom Biomaterial zur Augmentation höchste Stabilität abverlangt. So ist das Anwendungsgebiet von zum Beispiel Polymethylmethacrylat (PMMA) breit gestreut und eignet sich zur Applikation über kanülierte Schraubensysteme gegen das Cut-out-Risiko. Unter „Cut-out“ versteht man das Durchschneiden eines Kraftträgers durch die Femurkopfspongiosa. In der vorliegenden Arbeit wird PMMA-Zement eingesetzt, weil sehr gute klinische Ergebnisse und eine gute Stabilität erzielt werden (43) (44) (45). Bei der Abbindereaktion entsteht Wärme, jedoch konnten im umgebenen subchondralen Knochen sowie der Gelenkflächen lediglich Temperaturen unterhalb der Grenze, bei welcher Zelltod die Folge wäre, nachgewiesen werden (46). Gemäß den Herstellerangaben erfolgt die Augmentation mittels einer Kanüle. Diese wird durch die hohle Klinge des PFN-A stets unter Bildverstärkerkontrolle in den Femurkopf injiziert (41). Die Entscheidung über die Durchführung einer zusätzliche Zementaugmentation wird vom Chirurgen gefällt und hängt mit den Herausforderungen des osteoporotischen Knochens zusammen.

1.5.3 Herausforderung osteoporotischer Knochen

Bei Versorgung einer Fraktur im osteoporotischen Knochen treten im Wesentlichen 3 Komplikationen auf: „Cut-out“ der Schrauben (47), Implantatdislokation (48) und Repositionsverlust (49). Unter „Cut-out“ versteht man das Durchschneiden eines Kraftträgers durch die Femurkopfspongiosa. Bei einer Knochendichte der Spongiosa im Bereich des

Femurkopfes von $< 0,6 \text{ g/cm}^3$ konnte ein erhöhtes Risiko für „Cut-out“ festgestellt werden (50).

Augmentationsverfahren haben zum Ziel, die geringe Stabilität eines Implantats bei Vorhandensein mangelnder trabekulärer Knochenstruktur zu erhöhen. Dabei wird eine Vergrößerung des Knochen-Implantat-Interfaces geschaffen (51) (52). Eine Marknagelversorgung kann durch die Möglichkeit einer zusätzlichen Zementaugmentation im Schenkelhalsbereich biomechanisch durch eine Vergrößerung des Knochen-Implantat-Interfaces weiter begünstigt werden (53) (54) (55).

Dies wurde auch in weiteren Studien bereits untersucht. Beispielsweise wurde in einer Studie, welche Patienten mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese ohne Zementaugmentation mit Patienten mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese mit Zementaugmentation vergleicht, von einem temporären Nutzen der Zementaugmentation ausgegangen. Limitierender Faktor dieser Studie war die geringe Fallzahl an Patienten sowie die Erhebung von lediglich subjektiven Parametern neben dem Timed „Up and Go“-Test (56). Dieser Test findet aufgrund der einfachen Durchführung ohne aufwändigen Messgeräten zwar breite Anwendung in geriatrischen Kliniken (57), gibt jedoch keine Aussage über die Belastungsrate der betroffenen Extremität während des Gehens. Deshalb ist eine weitere Studie nötig, die diese Mängel mit einer objektiven Messung der Gangqualität ausbessert und konkrete Aussagen über die Wirksamkeit eines PFN-A mit Zementaugmentation ermöglicht.

1.6 Fragestellung

Das Ziel war es, in der vorliegenden Studie herauszufinden, ob eine zusätzliche Zementaugmentation zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese einen Vorteil bei der postoperativen Mobilisation bietet. Die Studie wurde daher unter Annahme der Hypothese durchgeführt, dass Patienten mit einer

zusätzlichen Zementaugmentation des Implantatlagers höhere Belastungsraten aufweisen, als Patienten mit der gleichen Versorgung ohne zusätzlicher Zementaugmentation. Dazu wurden neben der Erfassung spezifischer Risikofaktoren Ganganalysen durch Anwendung einer Einlegesohle im Schuh der Patienten durchgeführt, um u.a. die durchschnittliche postoperative Belastungsrate der betroffenen Extremität (average Loadingrate, Avg. Lr., N/s) zu messen.

2. Material und Methoden

2.1 Auswahl Patientenkollektiv

Eingeschlossen wurden in die prospektive Kohortenstudie alle Patienten des Klinikums für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungs- Chirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München in Großhadern, die sich im Studienzeitraum zwischen August 2017 und März 2019 eine trochantäre Femurfraktur durch ein low-energy Trauma zugezogen hatten, mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese der Firma DePuy/Synthes® (Oberdorf, Deutschland) versorgt wurden und die unter Berücksichtigung der Ein-/Ausschlusskriterien in die Teilnahme an der Studie eingewilligt hatten. Vor Beginn der Datenerhebung wurde eine Genehmigung der örtlichen Ethikkommission (Ref.-Nr. 214-16) erteilt.

Um in die Auswertung miteingeschlossen zu werden, durften keine schweren internistischen Vorerkrankungen (z.B. COPD, Diabetes mellitus mit Polyneuropathie), hirnorganische Schäden, die zu Schwindel bzw. Balancestörungen führen und kein postoperatives Delir vorliegen. Zudem wurde festgelegt, dass die Patienten nicht jünger als 55 Jahre alt sein sollten. Zusätzlich mussten sie beim Mini-Mental-State-Test (MMST) mindestens 25 Punkte erreichen, durften keine schon bestehende präoperative Immobilität aufweisen und durften keine Anweisung ihres Arztes bekommen haben, das Bein nur mit 20kg zu belasten. Somit konnte gewährleistet werden, dass die Patienten fähig waren, die Anforderungen dieser Studie kognitiv, als auch körperlich umzusetzen.

Insgesamt waren 57 Patienten, die keine Sprachbarriere hatten und für deren Schuhgröße die entsprechenden Sohlen vorhanden waren, bereit, an der Studie teilzunehmen. Abhängig von der intraoperativen Darstellung der Knochenqualität während der Klingenplatzierung wurde von den Chirurgen entschieden, ob eine Zementaugmentation durchgeführt wird. Daher

erhielten 31 Patienten einen PFN-A ohne Zementaugmentation und 26 Patienten einen PFN-A mit Zementaugmentation.

Aus der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation wurden insgesamt 10 Patienten ausgeschlossen, da sie jünger als 65 Jahre waren (n = 6) im MMST weniger als 25 Punkte erreichten (n = 1) und vom Arzt die Anweisung erhalten hatten, eine Teilbelastung des Beines von 20kg nicht zu überschreiten (n = 2). Nachträglich musste zusätzlich ein Patient ausgeschlossen werden, da beim Auswerten auffiel, dass die Sohlen nicht die gesamte Messung aufgezeichnet hatten. Aus der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation wurde ein Patient ausgeschlossen, weil er jünger als 65 Jahre war. Ein weiterer wurde ausgeschlossen, da er im MMST weniger als 25 Punkte erreichte. Zur besseren Veranschaulichung des Ausschlussprozesses der Patienten siehe Abbildung 6.

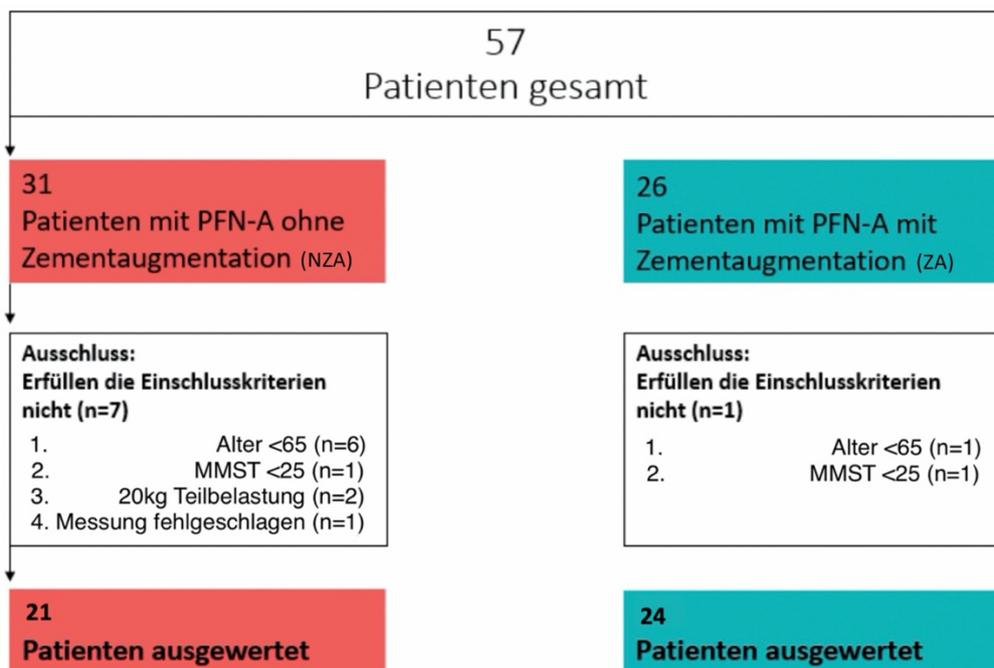


Abbildung 6. Übersicht des eingeschlossenen Patientenkollektivs.

2.2 Versuchsaufbau

Fünf Tage nach der Operation wurde eine Ganganalyse durchgeführt, nachdem bereits erste Einheiten mit dem Physiotherapeuten-Team absolviert worden waren. Am Tag der Messung wurde Funktionalität sowie Aktivität der Patienten vor und nach der Operation erfragt und überprüft. Über Fragebogenverfahren wurden die kognitiven Fähigkeiten, die Selbstständigkeit und die Mobilität der Patienten erhoben. Alle Patienten erhielten das gleiche postoperative Verfahren.

2.2.1 Beurteilung der Funktionalität und Aktivität der Patienten mit Fragebögen

2.2.1.1 Mini-Mental-State-Test

Um kognitive Fähigkeiten zu beurteilen eignet sich der 1975 von Folstein und Kollegen entwickelte Minimal-Mental-State-Test (MMST) (58). Die Erhebung erfolgt mit Hilfe eines Fragebogens, dessen Inhalte mündlich erfragt werden. Dem Patienten werden in einer bestimmten Reihenfolge und nacheinander verschiedenen Aufgaben zu Orientierung (Person, Ort, Zeit und Situation), Konzentration, Merkfähigkeit sowie Sprache gestellt.

Pro Aufgabe gibt es eine bestimmte Punktzahl. Insgesamt können maximal 30 Punkte erreicht werden. Eine kognitive Einschränkung ist umso größer, je kleiner die Gesamtpunktzahl ist.

Aufgabe (es wird je ein Punkt vergeben)	Punkte
aktuelle Zeit: Jahr, Monat, Wochentag, Tag, Jahreszeit	__/5
aktueller Aufenthaltsort Bundesland, Stadt oder Landkreis, Ort oder Stadtteil, Name des Krankenhauses, Stockwerk oder Station	__/5
drei Begriffe (Apfel, Pfennig, Tisch) merken und nachzusprechen	__/3
Rechenaufgabe: $100-7=93$, $93-7=86$, $86-7=79$, $79-7=72$, $72-7=65$	__/5
die drei gemerkten Begriffe von Aufgabe 3 wiederholen	__/3
einen Stift und eine Armbanduhr, die gezeigt werden, richtig benennen	__/2
die Phrase "kein wenn und oder aber" richtig nachzusprechen	__/1
die drei Anweisungen richtig zu befolgen; ein Blatt Papier zu nehmen, es zu falten, es auf den Boden zu legen	__/3
die Aufforderung "AUGEN ZU" von einem Blatt lesen und befolgen	__/1
irgendeinen Satz formulieren und aufschreiben. Richtige Orthografie und Grammatik sind nicht gefordert, jedoch muss der Satz mindestens ein Subjekt und ein Prädikat enthalten und ohne Vorgabe spontan erdacht werden	__/1
zwei Fünfecke zeichnen, die sich überschneiden. Eine Vorlage wird angeboten	__/1
Gesamtpunktezahl	__/30

Tabelle 1. Aufgaben und maximale Punktzahl jeder Aufgabe im Mini-Mental-State-Test.

2.2.1.2 Barthel Index

Um die Selbstständigkeit bzw. Pflegebedürftigkeit eines Patienten vor dem Sturz (prä), als auch nach der Operation (post) zu beurteilen eignet sich der 1965 von Florence I. Mahoney und Dorothea W. Barthel entwickelte Barthel Index (BI) (59).

Die Erhebung erfolgt mit Hilfe eines Fragebogens, dessen Inhalte mündlich erfragt werden.

Abgefragt werden 10 verschiedene Kategorien, welche Aktivitäten des täglichen Lebens, wie z.B. Nahrungsaufnahme, Körperpflege, Toilettengang oder Treppensteigen beinhalten. Bewertet wird in jeder Kategorie separat, mit 0, 5, 10 oder 15 Punkten. Maximal können insgesamt 100 Punkte erreicht werden. Hierbei weist ein hoher Wert auf eine hohe Selbstständigkeit und geringe Pflegebedürftigkeit hin.

Fähigkeit	Punkte	prä	post
Essen und Trinken	0, 5, 10		
Baden/Duschen	0, 5		
Körperpflege	0, 5		
An- und Ausziehen	0, 5, 10		
Stuhlkontrolle	0, 5, 10		
Harnkontrolle	0, 5, 10		
Benutzung der Toilette	0, 5, 10		
Bett-/Stuhltransfer	0, 5, 10, 15		
Mobilität (selbstständiges Gehen/Fahren mit Rollstuhl)	0, 5, 10, 15		
Treppen steigen	0, 5, 10		
Summe	0 - 100		

Tabelle 2. Kategorien und jeweils mögliche Punktzahlen beim Barthel Index.

2.2.1.3 Parker Mobility Score

Um die Mobilität eines Patienten vor dem Sturz (prä), als auch nach der Operation (post) zu beurteilen eignet sich im Rahmen dieser Arbeit der im Jahre 1993 von Parker und Palmer entwickelte Parker Mobility Score (PMS) (60). Die Erhebung erfolgt mit Hilfe eines Fragebogens, dessen Inhalte mündlich erfragt werden.

In 3 Kategorien werden bei komplett selbstständiger Ausführung einer bestimmten Tätigkeit maximal 3 Punkte vergeben. Je mehr Hilfe für die Ausführung in der jeweiligen Kategorie benötigt wird, desto weniger Punkte werden vergeben. Wenn die Verwendung eines Hilfsmittels (z.B. Gehhilfe) notwendig ist, werden 2 Punkte vergeben, ist die Hilfe von anderen Personen notwendig, so wird 1 Punkt vergeben. Ist die Tätigkeit gar nicht möglich, werden 0 Punkte vergeben. Die 3 Kategorien sind aufgeteilt in: Fortbewegung innerhalb des Hauses oder Wohnung, Verlassen des Hauses und Einkaufen gehen. Insgesamt können somit maximal 9 Punkte vergeben werden. Diese Fragen wurden sowohl für die Lebenssituation vor als auch nach der Operation beantwortet.

Fähigkeit	Ohne Probleme	Mit Hilfsmittel	Mit Hilfe anderer Personen	Nicht möglich
Im Haus	prä <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> post
Haus verlassen	prä <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> post	Prä <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> post
Einkaufen	prä <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> post	prä <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> post

Tabelle 3. Kategorien und jeweils mögliche Punktzahlen beim Parker Mobility Score. Prä steht für vor dem Sturz, post für nach der Operation.

2.2.2 Ganganalyse

Messsohlen sind bei alterstraumatologischen Patienten etabliert. Vor der hier durchgeführten Studie hat die Arbeitsgruppe Alterstraumatologie an der Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungs- Chirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München in Großhadern gezeigt, dass es möglich ist, Gang und Beweglichkeit in einer orthogeriatrischen Population nach einer Frakturfixierung des proximalen Femurs über tragbare Einlegesensorsohlen direkt

zu überwachen (8) (61). Durch die Verwendung dünner, flexibler, nicht störender Einlegesensorsohlen kann eine „reale“ Situation erreicht werden. Die übliche, häufig auf Laufbändern durchgeführte Ganganalyse dagegen weist Schwächen in Bezug auf die Übertragbarkeit in eine reale Umgebung auf (62) (63).

Für die Belastungsanalyse zur Umsetzung der postoperativen Teilbelastung bei älteren Hüftfrakturpatienten haben sich die Messsohlen loadsol[®], ein Produkt der Firma Novel (München, Deutschland) bewährt (64) (8).

Mit den loadsol[®] Sensorsohlen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Patienten, die nach einer pertrochantären Fraktur mit einer Frakturfixationsoperation versorgt wurden, verglichen mit Patienten, die nach Schenkelhalsfrakturen mit einer Hüftersatzoperation behandelt wurden, Schwierigkeiten haben, das betroffene Bein vollständig zu belasten (61).

Zudem wurde bei älteren Patienten mit Anordnung auf Teilbelastung nach einer Hüftfraktur kein signifikanter Unterschied bei der Belastung der betroffenen Seite beobachtet. Die Belastungseinschränkung trug jedoch zu einem Verlust der Mobilität bei und sollte deshalb vermieden werden (65). Deshalb wurden auch in der vorliegenden Studie diese Messsohlen verwendet.

In dieser Studie wurden die Sensorsohlen vor der Ganganalyse mit der zutreffenden Größe in den Schuhen des Patienten fixiert. Im Anschluss wurde er aus dem Bett mobilisiert und auf den Stationsflur begleitet. Die Messung begann nach tarieren der Sohlen sitzend. Insgesamt wurden 40 Meter auf einer standardisierten, zuvor ausgemessenen Strecke zurückgelegt. Nach 20 Metern, welche durch eine Markierung kenntlich gemacht wurden, wendete der Patient und ging zurück zum Stuhl. Erst nachdem der Patient Platz genommen hatte, wurde die Messung beendet. Für das Absolvieren der Messung durfte der Patient ein Hilfsmittel seiner Wahl verwenden (z.B. Gehwagen, Unterarmgehstützen oder Rollator).

Das Körpergewicht wurde mit einer Personenwaage bestimmt.

Am Tag der Ganganalyse wurde kein lokaler Schmerzkatheter verwendet.

2.2.3 Messinstrument Sohle



Abbildung 7. Exemplarische Darstellung der Sensorsohlen (66).

Mithilfe der Sensorsohle loadsol[®], ein Produkt der Firma Novel (München, Deutschland), wurde die Ganganalyse durchgeführt. Die Sohlen können dank ihrer Flexibilität und geringen Dicke problemlos in die Schuhe der Patienten eingelegt werden. Für eine bessere Veranschaulichung siehe Abbildung 7.

Die gesamte Fußsohle ist in Kontakt mit der Sensorsohle. Mit einer Frequenz von 200 Hz misst sie sowohl im Stand als auch bei Bewegung Kräfte von 20 bis 2500 N. Eine lokale Druckverteilung wird nicht erfasst. Ein Tabletcomputer (iPad[®], Apple, Cupertino, USA) erfasst die Messdaten der Sensorsohlen via Bluetooth in Echtzeit. Die Messelektronik der Sohlen befindet sich in einem Kästchen, welches außen am Schuh angebracht wird. Die Propriozeption sowie das Gangbild sind dadurch während der Messung nicht beeinträchtigt. Im Bereich der Ganganalyse ist die Sensorsohle loadsol[®] mit Kraftsensor ein vergleichsweise neues Messinstrument. Von Burns et al. wurden diese Sensorsohlen mit bereits etablierten Methoden, der Kraftmessplatte AMTI Accupower[®] und dem Laufband h/p/cosmos Quasar[®] in den Kategorien „Hüpfen“, „Gehen“ und „Laufen“ verglichen. Hinsichtlich der gemessenen Kraft stimmen die Messinstrumente in der Kategorie „Gehen“ überein (ICC = 0.82). In den

Kategorien „Hüpfen“ und „Laufen“ konnte eine noch größere Übereinstimmung gezeigt werden (ICC = 0.96 und ICC = 0.92).

Es wurde jeweils die Kraft, welche der Fuß auf die Sohle oder die Kraftplatte bzw. das Laufband bringt, gemessen. Als Maß der Übereinstimmung wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) herangezogen. Ein ICC zwischen 0.75 und 0.89 bedeutet eine gute Übereinstimmung, bei einem ICC ab 0.90 spricht man von einer sehr guten Übereinstimmung.

Auf Grundlage der von Burns et al. veröffentlichten Ergebnisse stellen die Sensorsohlen loadsol® ein geeignetes Messinstrument für die in dieser Arbeit durchgeführte Ganganalyse dar.

2.2.4 Auswertung der Messung

Aufgezeichnet werden die via Bluetooth übermittelten Daten mit einem von Novel online kostenlos zur Verfügung gestellten Programm, welches in dieser Arbeit am Tabletcomputer verwendet wird. Das Programm loadsol® berechnet nach Beenden und Speichern der Messung selbstständig die durchschnittliche Belastungsrate (Avg. Lr., average Loading Rate, N/s). Hierbei handelt es sich um die durchschnittliche Beschleunigung, mit welcher der Patient Masse auf die Sensorsohle bringt.

Um Patienten im Zuge dieser Studie untereinander vergleichen zu können, wird die Belastungsrate des betroffenen Gliedes als Prozentsatz des gesunden Gliedes analysiert. Nebenbei werden noch weitere Parameter erhoben, welche für die hier diskutierte Fragestellung nicht relevant sind. Für einen Überblick über alle erhobenen Parameter siehe Abbildung 8.

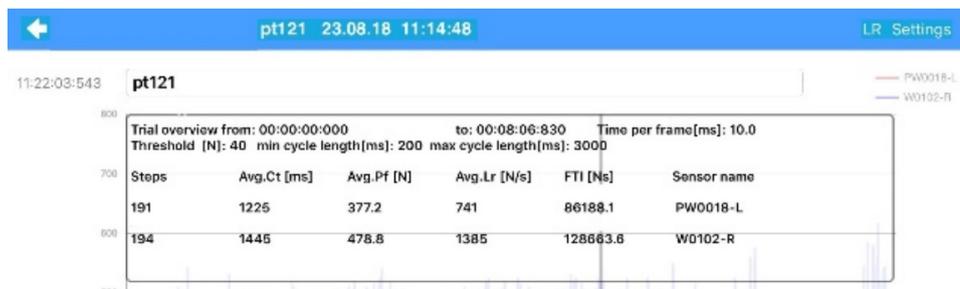


Abbildung 8. Auswertungsbeispiel Tabletcomputer. Für die vorliegende Studie wurde die Belastungsrate (Avg.Lr [N/s]) herangezogen.

Bei der Belastungsrate handelt es sich um die durchschnittliche Beschleunigung, mit welcher der Patient Masse auf die Sensorsohle bringt. Die Tatsache, dass die Belastungsrate auch eine zeitabhängige Dimension ausweist, macht sie ideal zur Beschreibung eines dynamischen Prozesses, wie beispielsweise des Gehens, und wurde aus diesem Grund in dieser Arbeit herangezogen.

2.3 Statistische Methoden

Vor der Durchführung der Studie wurde eine Stichprobenumfangsplanung mit G*Power (Version 3.1.9.4, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf) durchgeführt. Diese ergab, dass bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ und einer einer gewünschten Power von $1-\beta = 0,95$ 50 Versuchspersonen (25 pro Gruppe) benötigt werden, um einen vorhergesagten Effekt von $d = 0,95$ zu erkennen. Für die Poweranalyse siehe Abbildung 9.

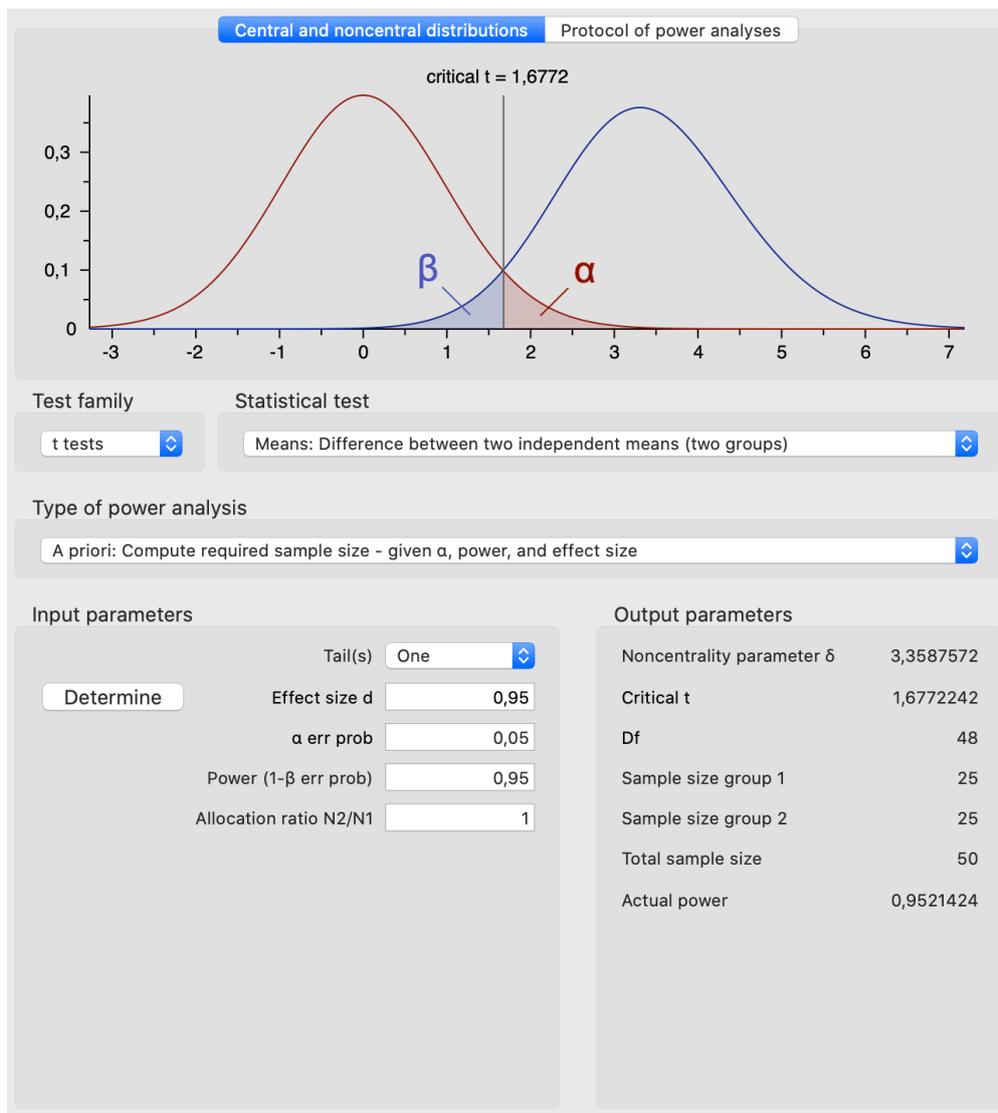


Abbildung 9. A priori Poweranalyse mit G*Power.

Aufgrund der Ausschlusskriterien wurde die geplante Stichprobengröße unterschritten. Deshalb wird später zusätzlich eine post-hoc Poweranalyse durchgeführt, um die Power des Ergebnisses für die in dieser Studie vorliegende Stichprobengröße exakt zu bestimmen (siehe 3.4 Ganganalyse).

Die statische Auswertung sowie die Erstellung der Graphen und Tabellen dieser Arbeit erfolgte mit R-Studio (67).

Ob eine Normalverteilung in den zu vergleichenden Gruppen vorlag, wurde für jede Variable jeweils mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests festgestellt.

Zur Aufdeckung signifikanter Unterschiede zwischen beiden Gruppen wurde für die normalverteilten Parameter nach Prüfung der Varianzhomogenität der t-Test sowie für die nicht-normalverteilten Parameter der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Für die gesamte Auswertung galt ein p-Wert von <0.05 als statistisch signifikant.

3. Ergebnisse

3.1 Demographische Daten

Nach Berücksichtigung der Ausschlusskriterien wurden 21 Patienten (weiblich = 11, männlich = 10) mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese ohne Zementaugmentation (NZA) im Alter von 66 bis 96 Jahren (78,10; SD \pm 7,99) in der Auswertung berücksichtigt. Diese hatten ein durchschnittliches Körpergewicht von 668,48 N (SD \pm 89,28) und einen durchschnittlichen Body Mass Index von 23,99 (SD \pm 2,88).

Es wurden außerdem 24 Patienten (weiblich = 19, männlich = 5) mit einem zementaugmentierten PFN-A (ZA) im Alter von 66 bis 94 Jahren (82,17; SD \pm 7,01) in der Auswertung berücksichtigt. Diese hatten ein durchschnittliches Körpergewicht von 587,37 N (SD \pm 80,08) und einen durchschnittlichen Body Mass Index von 22,03 (SD \pm 2,77).

Somit unterschied sich das Durchschnittsalter in der Gruppe mit Zementaugmentation nicht signifikant von dem in der Gruppe ohne Zementaugmentation ($t(40,17) = -1,80$; $p = 0,08$; $d = 0,54$). Für die Veranschaulichung des Durchschnittsalters in den Gruppen siehe Abbildung 10.

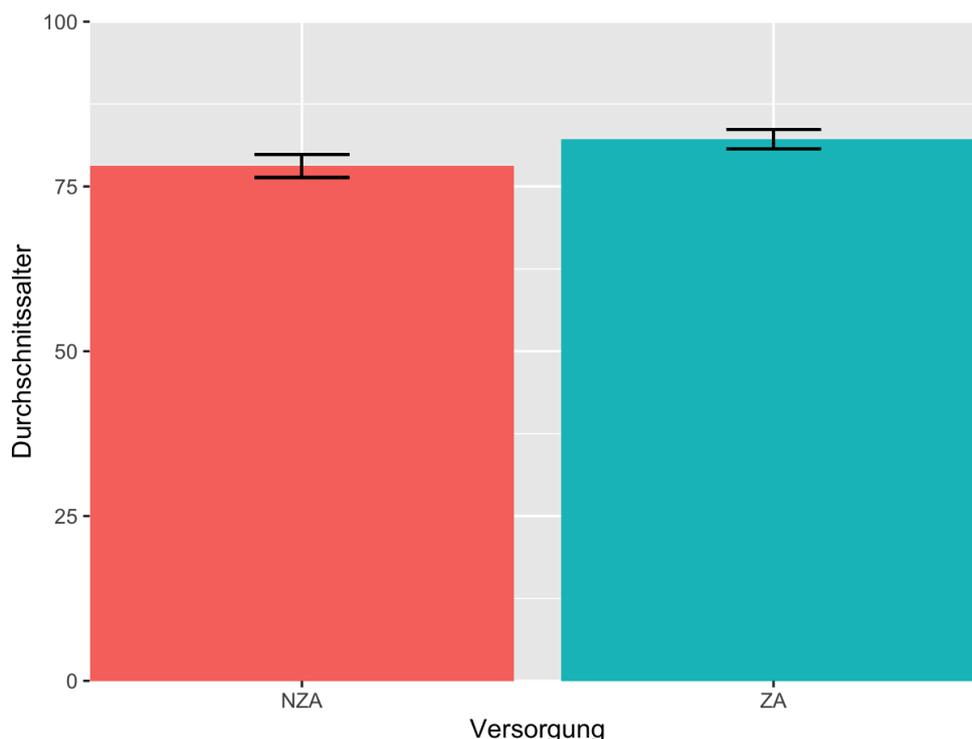


Abbildung 10. Mittleres Alter beider Gruppen sowie der jeweilige Standardfehler.

Der ASA-Score in der Gruppe ohne Zementaugmentation (NZA) betrug im Mittel 2,62 (SD \pm 0,50) und 2,67 (SD \pm 0,56) mit Zementaugmentation (ZA). Für einen besseren Überblick über die demographischen Kennwerte siehe Tabelle 4.

Charakteristik	NZA	ZA
Körpergewicht (N)	668,48 \pm 89,28	587,37 \pm 80,08
BMI (kg/m²)	23,99 \pm 2,88	22,03 \pm 2,77
Alter (Jahre)	78,10 \pm 7,99	82,17 \pm 7,01
weiblich, n (%)	11 (52,4)	19 (79,2)
ASA-Score	2,62 \pm 0,50	2,67 \pm 0,56

Tabelle 4. Demographische Daten.

3.2 Aktivität der Patienten vor dem Sturz

3.2.1 Barthel Index

Die Gruppe, deren Patienten zur Versorgung einen PFN-A ohne zusätzliche Zementaugmentation erhielten, hatte vor der Fraktur im Mittel einen Barthel Index von 96,90 (SD \pm 5,12). Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A mit Zementaugmentation erhielten, hatten im Mittel einen Barthel Index von 96,88 (SD \pm 5,86). Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 11.

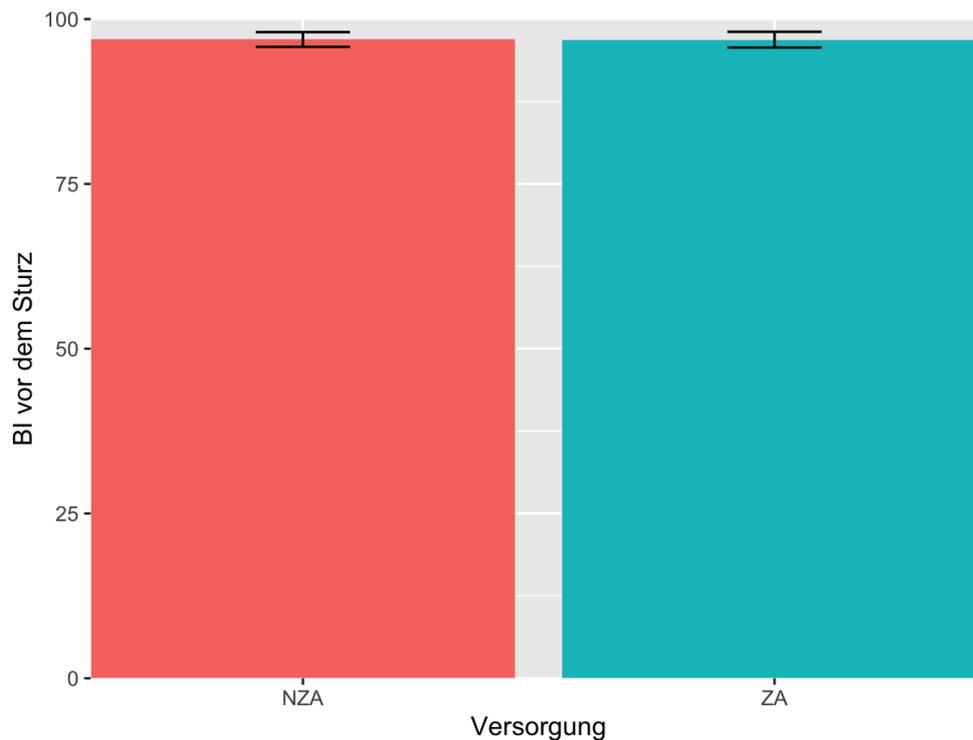


Abbildung 11. Mittlerer BI beider Gruppen vor dem Sturz sowie der jeweilige Standardfehler.

Ob sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden, wurde aufgrund der fehlenden Normalverteilung, die mit dem Shapiro Wilk Test überprüft wurde ($p < 0,001$), mit dem U-Test näher betrachtet. Dieser ergab, dass sich der Barthel Index der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation nicht signifikant von dem Barthel Index der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation unterschied ($W = 249,5$; $p = 0,95$; $r = 0,04$). Bezüglich der Selbstständigkeit und der Pflegebedürftigkeit waren die beiden Gruppen also vor der Fraktur miteinander vergleichbar.

3.2.2 Parker Mobility Score

Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A mit Zementaugmentation erhielten, hatte vor der Fraktur im Mittel einen Parker Mobility Score (PMS prä) von 7,92 ($SD \pm 1,84$). Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A ohne Zementaugmentation erhielten, hatte im Mittel einen PMS prä von 8,71 ($SD \pm 0,96$). Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 12.

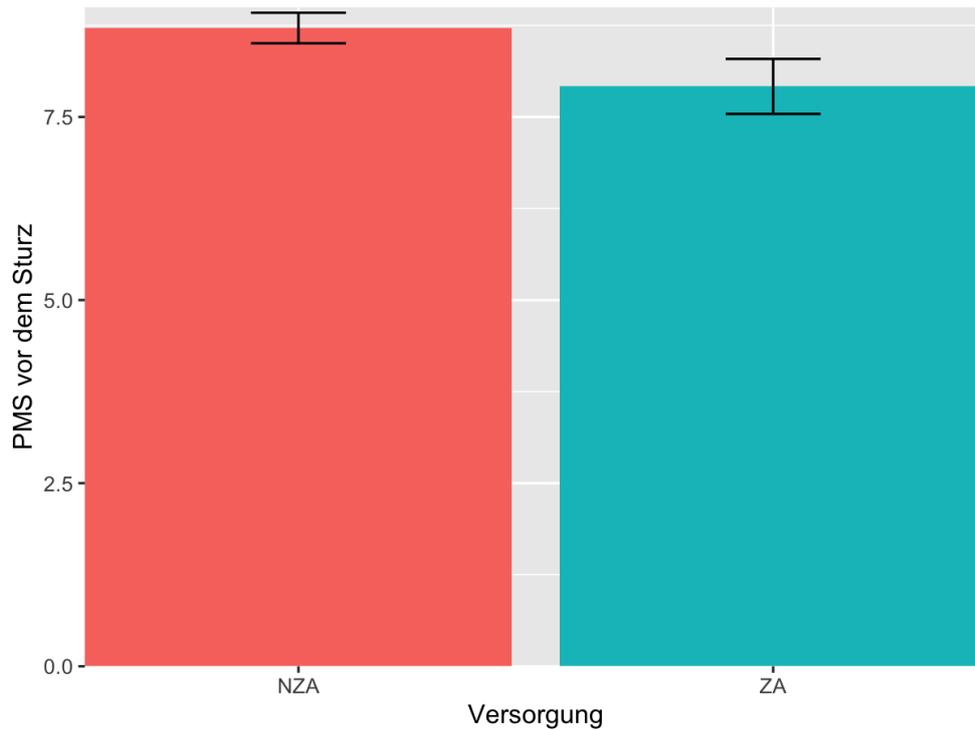


Abbildung 12. Mittlerer PMS beider Gruppen vor dem Sturz sowie der jeweilige Standardfehler.

Ob sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden, wurde aufgrund der fehlenden Normalverteilung, die mit dem Shapiro Wilk Test überprüft wurde ($p < 0,001$), mit dem U-Test näher betrachtet. Dieser ergab, dass sich der PMS der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation nicht signifikant von dem PMS der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation unterschied ($W = 304$; $p = 0,09$; $r = -0,26$). Die Patienten in der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation waren also vor der Fraktur nicht mobiler als die Patienten in der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation und umgekehrt.

3.3 Aktivität der Patienten nach der Operation

3.3.1 Barthel Index

Die Gruppe, deren Patienten zur Versorgung einen PFN-A ohne zusätzliche Zementaugmentation erhielten, hatte nach der Operation im Mittel einen Barthel Index von 73,57 (SD \pm 10,26). Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A mit Zementaugmentation erhalten hatten, hatten im Mittel einen Barthel Index von 63,33 (SD \pm 13,73). Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 13.

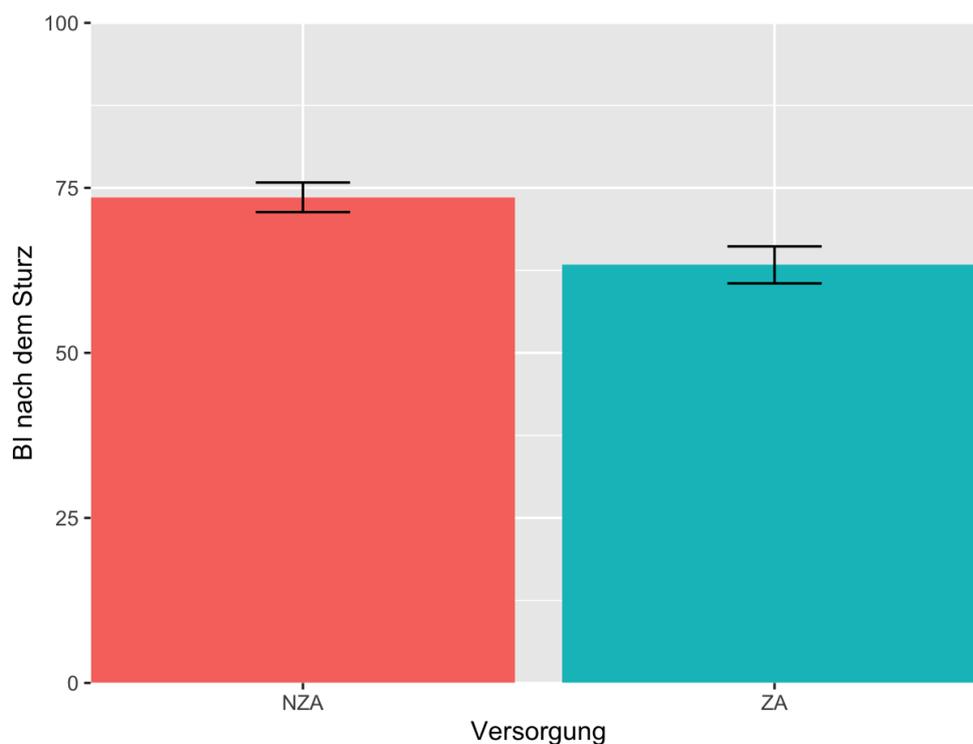


Abbildung 13. Mittlerer BI beider Gruppen nach der Operation sowie der jeweilige Standardfehler.

Ob sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden, wurde aufgrund der vorhandenen Normalverteilung, die mit dem Shapiro Wilk Test überprüft wurde ($p = 0,56$), mit dem T-Test näher betrachtet. Vorher wurde überprüft, ob Varianzhomogenität gegeben war, was der Levene-Test bestätigte ($p = 0,24$).

Der t-Test ergab, dass sich der Barthel Index der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation signifikant von dem Barthel Index der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation unterschied ($t(43) = 2,80$; $p = 0,01$; $d = 0,84$). Die Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation berichtete also nach der Operation von höherer Selbstständigkeit und geringerer Pflegebedürftigkeit als die Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation. Die Gesamtpunktzahl des Barthel Index sank postoperativ in beiden Gruppen.

3.3.2 Parker Mobility Score

Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A ohne Zementaugmentation erhielten, hatte nach der Operation im Mittel einen Parker Mobility Score (PMS post) von 4,29 ($SD \pm 1,68$). Die Gruppe, deren Patienten einen PFN-A mit Zementaugmentation erhielten, hatte im Mittel einen PMS post von 4,08 ($SD \pm 1,82$). Zur Veranschaulichung siehe Abbildung 14.

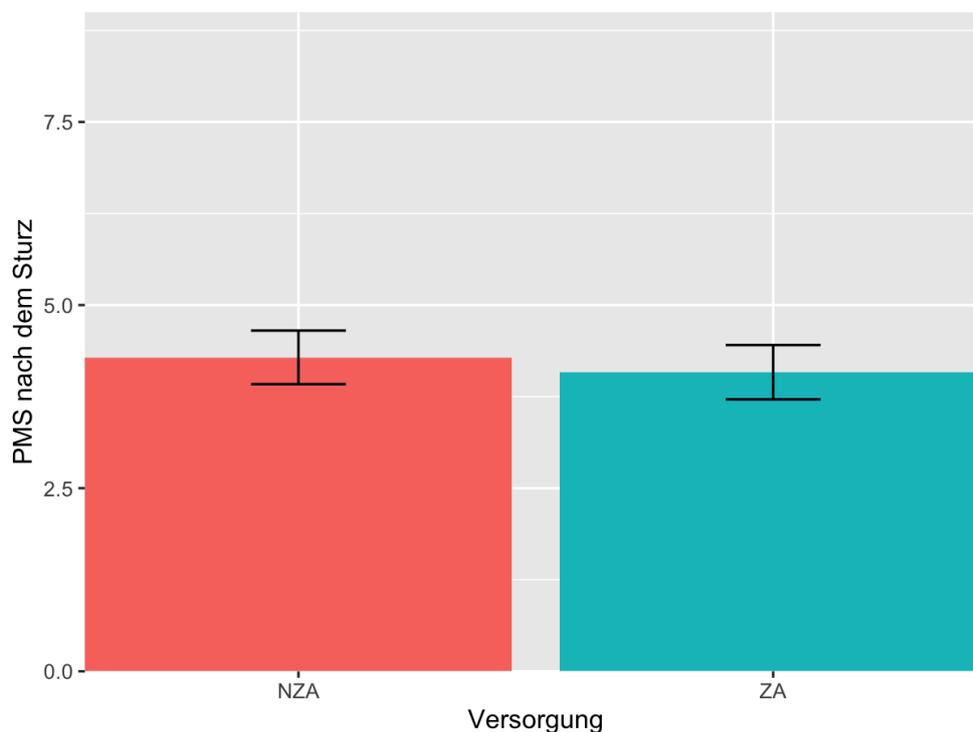


Abbildung 14. Mittlerer PMS beider Gruppen nach der Operation sowie der jeweilige Standardfehler.

Ob sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden, wurde aufgrund der fehlenden Normalverteilung, die mit dem Shapiro Wilk Test überprüft wurde ($p < 0,001$), mit dem U-Test näher betrachtet. Dieser ergab, dass sich der PMS der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation nicht signifikant von dem PMS der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation unterschied ($W = 267,5$; $p = 0,72$; $r = 0,07$). Die Patienten in der Gruppe mit PFN-A ohne Zementaugmentation waren also nach der Operation genauso mobil wie die Patienten in der Gruppe mit PFN-A mit Zementaugmentation. Die Gesamtpunktzahl des PMS sank postoperativ in beiden Gruppen.

3.4 Ganganalyse

In der Gruppe, deren Patienten einen PFN-A ohne eine zusätzliche Zementaugmentation erhielten, konnte im Mittel eine niedrigere durchschnittliche Belastungsrate (Avg. Lr., average Loading Rate, N/s) der betroffenen Extremität beobachtet werden ($M = 44,70$; $SD \pm 19,37$) als bei der Gruppe, deren Patienten einen PFN-A mit zusätzlicher Zementaugmentation erhielten ($M = 57,73$; $SD \pm 14,67$). Zu Veranschaulichung siehe Abbildung 15.

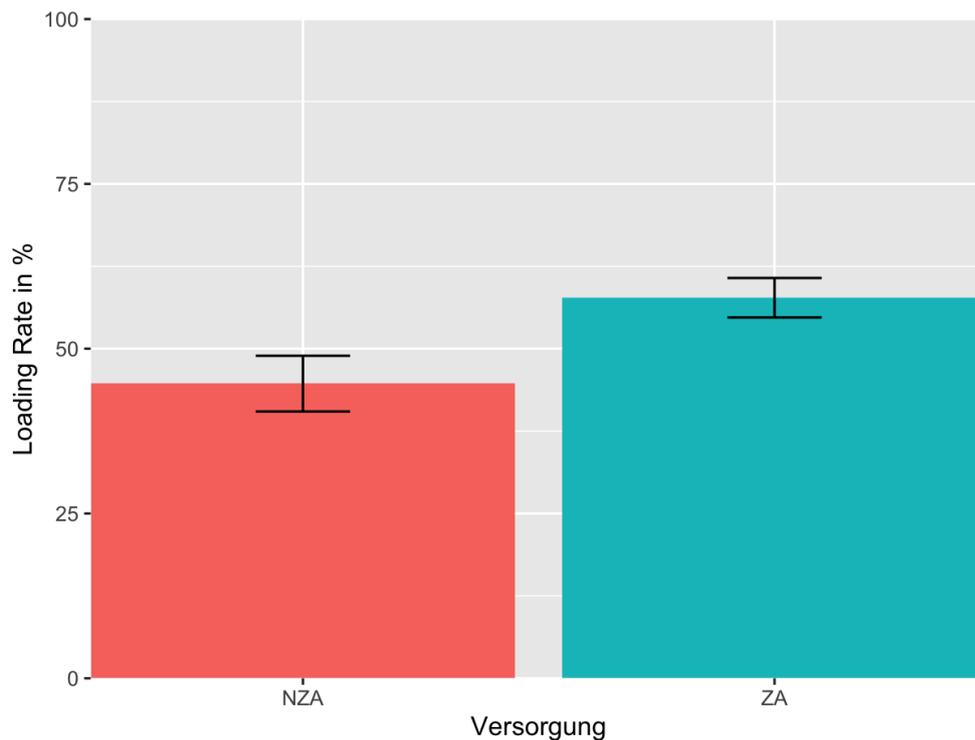


Abbildung 15. Mittlere Belastungsrate der betroffenen Extremität beider Gruppen nach Frakturversorgung sowie der jeweilige Standardfehler.

Der Shapiro-Wilk-Test ergab, dass eine Normalverteilung vorlag ($p = 0,60$). Zudem zeigte der Levene-Test, dass Varianzhomogenität gegeben war ($F = 0,95$; $p = 0,34$). Aus diesen Gründen wurde ein t-Test durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die Loading Rates der beiden Gruppen signifikant unterscheiden. Dieser zeigte, dass die Gruppe der Patienten, die einen PFN-A ohne Zementaugmentation erhalten hatte, eine signifikant kleinere Loading Rate aufwies, als die Gruppe der Patienten, die einen PFN-A mit Zementaugmentation erhalten hatte ($t(43) = -2,56$; $p = 0,01$; $d = 0,77$).

Mit dem Programm G*Power Version 3.1.9.4 (Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf) wurde eine post-hoc Poweranalyse durchgeführt. Diese zeigte, dass eine Untersuchung mit 45 Patienten (21 bzw. 24 pro Gruppe) bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ und einer

Effektgröße von $d = 0,77$ eine Power von $1-\beta = 0,81$ aufweist. Für die Poweranalyse siehe Abbildung 16.

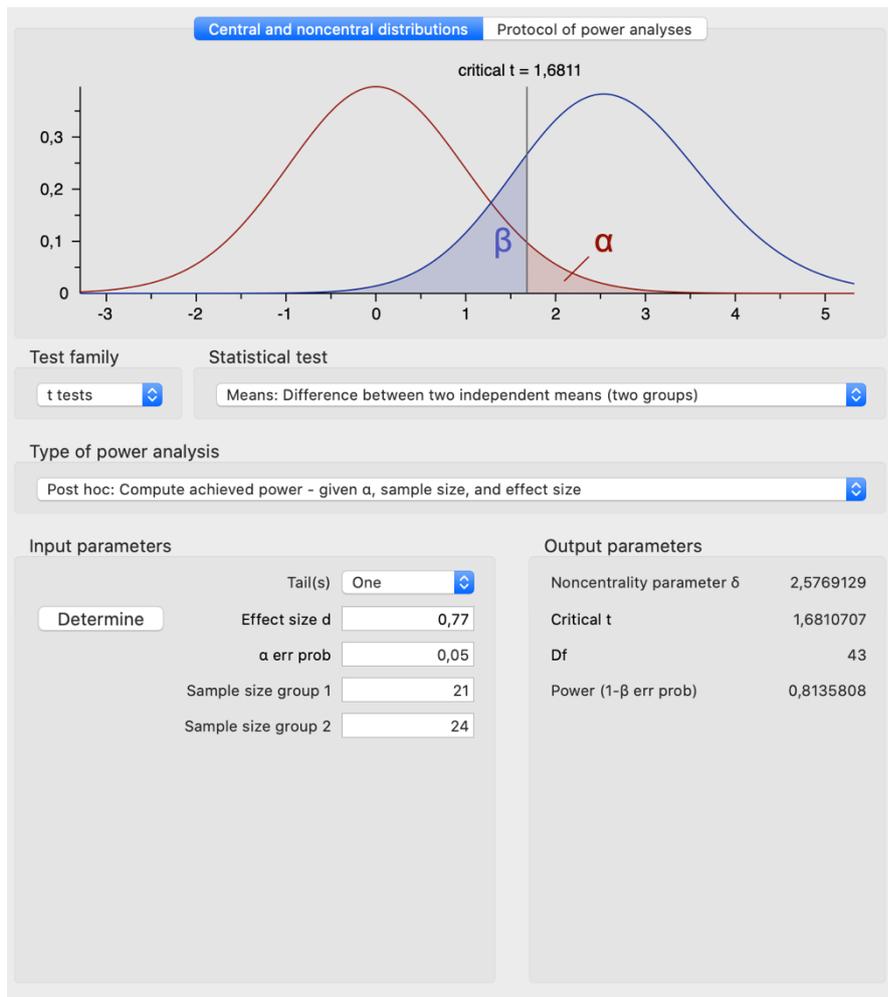


Abbildung 16. Post-hoc Poweranalyse mit G*Power.

4. Diskussion

Das Ziel war es, in der vorliegenden Studie herauszufinden, ob eine zusätzliche Zementaugmentation zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen mit einer PFN -A-Marknagelosteosynthese einen Vorteil bei der postoperativen Mobilisation bietet. Die Studie wurde unter Annahme der Hypothese durchgeführt, dass Patienten mit einer zusätzlichen Zementaugmentation des Implantatlagers höhere Belastungsraten aufweisen, als Patienten mit der gleichen Versorgung ohne zusätzlicher Zementaugmentation. Dazu wurden neben spezifischen Scores (BI, PMS) Ganganalysen durch Anwendung einer Einlegesohle im Schuh der Patienten durchgeführt, um u.a. die durchschnittliche postoperative Belastungsrate der betroffenen Extremität (average Loadingrate, Avg. Lr., N/s) zu messen. Nach intensiver Recherche und bestem Wissen beleuchtet die hier vorliegende Arbeit als erste diese Fragestellung.

4.1 Beantwortung der Fragestellung

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die angenommene Hypothese, dass die Patienten in der Gruppe mit Zementaugmentation eine signifikant höhere Belastungsrate in der betroffenen Extremität aufweisen als die Patienten in der Gruppe ohne Zementaugmentation. Das bedeutet, dass eine zusätzliche Zementaugmentation zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese einen Vorteil bei der postoperativen Mobilisation bieten kann.

Der Barthel Index sowie der Parker Mobility Score der zementaugmentierten Gruppe (ZA) unterschieden sich vor dem Sturz nicht signifikant vom Barthel Index sowie dem Parker Mobility Score der NZA-Gruppe. Nach der Operation sank der Parker Mobility Score in beiden Gruppen ohne signifikanten Unterschied, wohingegen der Barthel Index einen signifikant niedrigeren Wert in der ZA-Gruppe aufwies.

In weiteren Studien kann also die Frage gestellt werden, ob die subjektive Bewertung des Patienten über die eigene Selbstständigkeit und Pflegebedürftigkeit nach einer Fraktur von älteren geriatrischen Patienten trotz stabilerer Versorgung durch Zementaugmentation schlechter bewertet wird als von im Durchschnitt 4 Jahre jüngeren Patienten. Eventuell könnte die jüngere geriatrische Gruppe allgemein wegen des noch nicht erreichten durchschnittlichen Lebensalters von ca. 80 Jahren (68) optimistischer in Bezug auf Ihren Zustand nach einer Operation sein und sich aus diesem Grund besser bewerten. Außerdem kann aufgrund der unterschiedlichen Verteilung des Geschlechts der beiden Gruppen, in Studien mit höheren Fallzahlen die Frage gestellt werden, ob das Geschlecht einen Einfluss auf die subjektive Selbstbeurteilung nach einer Fraktur hat.

Patienten mit Fragilitätsfrakturen profitieren von einer frühzeitigen und ausreichenden Mobilisierung. Studien belegen, dass Immobilität in dieser Population mit einer erhöhten Mortalität verbunden ist (26). Bis vor kurzem war es nur eingeschränkt möglich, die Mobilisierung und körperliche Aktivität von älteren Hüftfrakturpatienten standardisiert zu quantifizieren. Hierfür beurteilten Ärzte oder Physiotherapeuten den Patienten subjektiv. Mit Hilfe von Einlegesensorsohlen ist es nun möglich, die Mobilisierung von Patienten objektiv zu messen (69) (70). Die postoperative Therapie von Patienten mit Hüftfrakturen oder Frakturen der unteren Extremitäten kann präziser und gezielter durchgeführt werden. Darüber hinaus unterstützt diese Messmethode das Physiotherapiepersonal, welches zur Genesung von Hüftfrakturen eine unerlässliche Therapie durchführt (71).

4.2 Vereinbarkeit mit bestehenden Studien

Diese Arbeit bestätigt das Ergebnis aus einer Studie mit einer geringeren Anzahl an Probanden sowie einer weniger aufwendigen, im klinischen Alltag geriatrischer Kliniken verwendeten

Messung (timed „Up and Go“-Test), von einer zusätzlichen Zementaugmentation bei Insertion einer PFN-A-Marknagelosteosynthese einen initialen Vorteil zu erfahren (56). Des Weiteren bestätigt die vorliegende Arbeit Erkenntnisse aus biomechanischen Studien, dass die Zementaugmentation eine höhere biomechanische Stabilität bietet (55) (52). Ehrnthaller et al. konnten in einer biomechanischen Studie zeigen, dass die Zementaugmentation in Kombination mit der chirurgischen Refixation des Trochanter minor die größte Stabilität bei instabilen Hüftfrakturen bietet (72). Eine klinische Studie von Kammerlander et al. zeigte kein mechanisches Versagen oder Komplikationen, wie beispielsweise ein Schraubenausschnitt bei Hüftfrakturpatienten, die mit einem zementaugmentierten PFN-A behandelt wurden (73).

Vor der hier durchgeführten Studie hat die Forschungsgruppe im Bereich Alterstraumatologie der Klinik für Allgemeine-, Unfall- und Wiederherstellungs- Chirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München in Großhadern gezeigt, dass es möglich ist, Gang und Beweglichkeit in einer orthogeriatischen Population nach einer Frakturfixierung des proximalen Femurs über tragbare Einlegesensorsohlen direkt zu überwachen (74) (61). Durch die Verwendung dünner, flexibler, nicht störender Einlegesensorsohlen kann eine „reale“ Situation erreicht werden. Die übliche, häufig auf Laufbändern durchgeführte Ganganalyse weist Schwächen in Bezug auf die Übertragbarkeit in eine reale Umgebung auf (62) (63). Die in dieser Arbeit verwendeten Einlegesensorsohlen sind bereits etabliert, bieten diesbezüglich Vorteile und wurden aus diesem Grund als Messinstrument verwendet.

Dass eine psychologische Komponente nach einer Osteosynthese das Sturzrisiko beeinflussen kann, darf nicht außer Betracht gelassen werden. Young et al. zeigten den psychologischen Einfluss älterer Patienten auf das Sturzrisiko (75). Es ist also davon auszugehen, dass

Patienten, die postoperativ eine bessere Belastung durchführen können, mehr Vertrauen in ihre Osteosynthese haben. Für das bessere Vertrauen des Patienten in ihre Osteosynthese könnte der Hinweis auf die Vorteile, insbesondere die Stabilität, einer zusätzlichen Zementaugmentation bei der präoperativen Aufklärung verantwortlich gemacht werden. Ein besseres Gangbild kann begünstigt und dadurch das Ergebnis dieser Studie aus psychologischer Sicht bestärkt werden.

4.3 Limitationen

Diese Studie beschränkt sich auf die frühzeitige postoperative Nachsorge und die Ergebnisse können über diesen Zeitraum hinaus nicht hochgerechnet werden.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung, 5 Tage nach der Operation, wird davon ausgegangen, dass der Patient noch Schmerzen hat und das neu operierte Bein nicht überlasten möchte, auch wenn eine rasche Re-Mobilisierung in dieser Zeit von größter Bedeutung ist, um einen Erhalt der Aktivität und Selbstständigkeit zu sichern. Weitere randomisierte und verblindete Studien mit Langzeit-Follow-up sind notwendig, um Informationen darüber zu erhalten, wie sich das Gangbild im weiteren Verlauf entwickelt und ob der Unterschied weiterhin bestehen bleibt.

Darüber hinaus sind weitere Studien bzw. objektive Messverfahren notwendig, um eine verlässliche Aussage über die in dieser Studie subjektiv mit Hilfe von Fragebögen erhobenen Selbstständigkeit und Pflegebedürftigkeit tätigen zu können.

4.4 Praktische Implikationen

Die vorliegende Arbeit zeigt in den Ergebnissen, dass die Patienten, welche eine zusätzliche Zementaugmentation erhalten haben, älter sind sowie einen höheren Anteil an weiblichen Patienten aufweisen. Das Geschlecht korreliert auch allgemein mit dem Frakturrisiko. So weisen Frauen ein höheres Frakturrisiko auf als Männer (76), was mit den demografischen Daten der vorliegenden Arbeit übereinstimmt. Aufgrund der mit zunehmendem Alter sowie

der postmenopausalen Phase verschuldeten schlechteren Knochendichte ist dies nicht verwunderlich. Oft zeigt sich die schlechte Knochendichte erst intraoperativ, da präoperativ noch keine routinemäßige Osteoporosediagnose durchgeführt wird (77). Trotz des höheren Alters zeigt die postoperative Ganganalyse eine signifikant höhere Belastungsrate. Man kann davon ausgehen, dass eine zusätzliche Zementaugmentation zu einer größeren Stabilität der Fraktur führt. Dies ermöglicht eine höhere postoperative Belastung in dieser Studie. Vorteile können dadurch im Prozess der Rehabilitation gegeben sein.

In mehreren Studien wurde geschätzt, dass bis zum Jahr 2050 zwischen 4,5 und 6 Millionen Menschen pro Jahr an Hüftfrakturen leiden werden (6) (7). Ziel ist es, für diese Patienten das bestmögliche funktionelle Ergebnis zu erzielen. Um an dieses Ziel zu gelangen, ist eine genaue Frakturfixation mit perfekter Reposition und Implantatinsertion sowie eine frühestmögliche postoperative Mobilisierung ohne Einschränkung der Gewichtsbelastung erforderlich (8). Eine schnellstmögliche Mobilisation und Rehabilitation nach Behandlung der Fraktur sollte erfolgen, um die Lebensqualität des Patienten wieder zu steigern und Kosten für das Gesundheitssystem möglichst gering zu halten. Eine zusätzliche Zementaugmentation des PFN-A bei osteoporotischen Patienten kann einen Vorteil dafür bieten. Es sollten jedoch auch die zusätzlichen sozioökonomischen Kosten für die Zementaugmentation berücksichtigt werden.

4.5 Fazit

Die Daten aus der vorliegenden Arbeit zeigen erstmals, dass die zusätzliche Zementaugmentation zur Versorgung mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese Vorteile auf die sofortige postoperative Belastung hat, da signifikante Verbesserungen der Gangparameter unter Verwendung einer Einlegesensorsohlevorrichtung nachweisbar sind. Patienten weisen dadurch trotz höherem Alter eine bessere Belastungsrate an der operierten Extremität auf.

Weitere Studien sind erforderlich, um den Langzeitverlauf in Hinblick auf Beweglichkeit und Gang der Patienten nach operativer Versorgung einer proximalen Femurfraktur zu untersuchen.

5. Zusammenfassung

Eine frühzeitige postoperative Mobilisierung älterer Hüftfrakturpatienten kann eine Reduktion etwaiger Komplikationen im Verlauf begünstigen. Daher wird auch unter den Bedingungen einer reduzierten Knochenqualität eine zufriedenstellende Belastbarkeit der operierten Extremität bei der frühzeitigen Mobilisierung gefordert. Die vorliegende Studie wurde unter Annahme der Hypothese durchgeführt, dass eine zusätzliche Zementaugmentation zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen mit einer PFN-A-Marknagelosteosynthese eine höhere Belastbarkeit bei der postoperativen Mobilisation ermöglicht.

Ausgewertet wurden 45 orthogeriatriische Patienten, die nach einer proximalen Femurfraktur mit einem PFN-A versorgt wurden. Eine Gruppe von 24 Patienten erhielt eine zusätzliche Zementaugmentation (ZA-Gruppe), während die Kontrollgruppe von 21 Patienten die gleiche Marknagelosteosynthese ohne Zementaugmentation erhielt (NZA-Gruppe). Neben spezifischen Risikofaktoren wurde eine Ganganalyse durch Anwendung einer Einlagesohle (loadsol®, Novel, München, Deutschland) im Schuh durchgeführt, um die durchschnittliche postoperative Belastungsrate der betroffenen Extremität (average Loadingrate, Avg. Lr., N/s) am fünften postoperativen Tag zu messen.

Die ZA-Gruppe hatte ein Durchschnittsalter von 82,17 Jahren ($SD \pm 7,01$), die NZA-Gruppe ein Alter von 78,10 Jahren ($SD \pm 7,99$). In Bezug auf den ASA-Score zeigten die beiden Gruppen keinen Unterschied. Der Barthel Index sowie der Parker Mobility Score der ZA-Gruppe unterschieden sich vor dem Sturz nicht signifikant vom Barthel Index sowie dem Parker Mobility Score der NZA-Gruppe. Nach der Operation sank der Parker Mobility Score in beiden Gruppen ohne signifikanten Unterschied, wohingegen der Barthel Index einen signifikant niedrigeren Wert in der ZA-Gruppe aufwies. Die ZA-Gruppe zeigte bei der postoperativen

Ganganalyse eine signifikant höhere ($p=0,01$) Belastungsrate von 57,73% ($SD \pm 14,70$), wohingegen die Kontrollgruppe (NZA-Gruppe) eine Belastungsrate von 44,70% ($SD \pm 19,37$) aufwies. Obwohl die Patienten in dieser Gruppe älter waren, zeigte eine zusätzliche Zementaugmentation eine verbesserte postoperative Belastung, gemessen an der Belastungsrate. Um eine Verbesserung der frühzeitigen Mobilisierung zu erzielen sowie Komplikationen zu reduzieren und das Überleben gebrechlicher Patienten mit verminderter Knochenqualität zu verbessern, sollte daher eine Zementaugmentation in Betracht gezogen werden.

6. Veröffentlichungen

Im Rahmen des Promotionsverfahrens wurde das Patientenkollektiv dieser Studie in der Veröffentlichung "Cement augmentation of the Proximal Femur Nail Antirotation (PFNA) is associated with enhanced weight-bearing in older adults" von Dr. Alexander Keppler et. al. im Injury, International Journal of the Care of the Injured (Februar 2021), herangezogen.

7. Abkürzungsverzeichnis

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASA	American Society of Anesthesiologists
BI	Barthel Index
BMI	Body Mass Index
FLS	Fracture Liason Service
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICD	International Classification of Diseases
M	Mittelwert
MMST	Mini-Mental-State-Test
NZA	Nicht Zementaugmentierte Gruppe
PFN-A	Proximaler Femur Nagel-Antirotation
PMMA	Polymethylmethacrylat
PMS	Parker Mobility Score
SD	Standardabweichung
WHO	Weltgesundheitsorganisation
ZA	Zementaugmentierte Gruppe

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Anatomie des proximalen Femurs.
Abbildung 2	Frakturlinien einer intertrochantären Femurfraktur.
Abbildung 3	Frakturlinien einer pertrochantären Femurfraktur.
Abbildung 4	Frakturlinien einer subtrochantären Femurfraktur.
Abbildung 5	Schematische Darstellung eines PFN-A.
Abbildung 6	Übersicht des eingeschlossenen Patientenkollektivs.
Abbildung 7	Exemplarische Darstellung der Sensorsohlen.
Abbildung 8	Auswertungsbeispiel Tabletcomputer. Für die vorliegende Studie wurde die Belastungsrate (Avg.Lr [N/s]) herangezogen.
Abbildung 9	A priori Poweranalyse mit G-Power.
Abbildung 10	Mittleres Alter beider Gruppen.
Abbildung 11	Mittlerer BI beider Gruppen vor dem Sturz.
Abbildung 12	Mittlerer PMS beider Gruppen vor dem Sturz.
Abbildung 13	Mittlerer BI beider Gruppen nach der Operation.
Abbildung 14	Mittlerer PMS beider Gruppen nach der Operation.
Abbildung 15	Mittlere Belastungsrate der betroffenen Extremität nach Frakturversorgung.
Abbildung 16	Post-hoc Poweranalyse mit G*Power.

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Aufgaben und maximale Punktzahl jeder Aufgabe im Mini-Mental-State-Test.
Tabelle 2	Kategorien und jeweils mögliche Punktzahlen beim Barthel Index.
Tabelle 3	Kategorien und jeweils mögliche Punktzahlen beim Parker Mobility Score.
Tabelle 4	Demographische Daten.

10. Literaturverzeichnis

1. Pillai A, Eranki V, Shenoy R, Hadidi M. Age related incidence and early outcomes of hip fractures: a prospective cohort study of 1177 patients. Januar 2011.
2. [Online] [Zitat vom: 06. 10 2020.] <https://www.deutschlandin zahlen.de/tab/deutschland/demografie/bevoelkerung-nach-%20altersklassen-deutschland..>
3. Bleibler, F., Benzinger, P., Lehnert, T., Becker, C., & König, H. H. (2014). *Frakturkosten im deutschen Krankenhaussektor—Welche Rolle spielt die Osteoporose?. Das Gesundheitswesen, 76(03), 163-168.*
4. Hernlund, E., Svedbom, A., Ivergård, M., Compston, J., Cooper, C., Stenmark, J., ... & Kanis, J. A. (2013). Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. *Archives of osteoporosis, 8(1-2), 136.*
5. Häussler, B., Gothe, H., Göl, D., Glaeske, G., Pientka, L., & Felsenberg, D. (2007). Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany—the BoneEVA Study. *Osteoporosis international, 18(1), 77-84.*
6. Gullberg, B., Johnell, O., & Kanis, J. A. (1997). World-wide projections for hip fracture. *Osteoporosis international, 7(5), 407-413.*
7. Cooper, C., Campion, G., & Melton, L. 3. (1992). Hip fractures in the elderly: a world-wide projection. *Osteoporosis international, 2(6), 285-289. .*
8. Kammerlander, C., Pfeufer, D., Lisitano, L. A., Mehaffey, S., Böcker, W., & Neuerburg, C. (2018). Inability of older adult patients with hip fracture to maintain postoperative weight-bearing restrictions. *JBJS, 100(11), 936-941.*
9. Ilic, J. (2016). Correlation between different risk factors for the occurrence of osteoporosis in bone structure in postmenopausal women (PhD thesis). University of Novi Sad, Serbia.
10. Van Der Klift, M., De Laet, C. E., McCloskey, E. V., Hofman, A., & Pols, H. A. (2002). The incidence of vertebral fractures in men and women: the Rotterdam Study. *Journal of Bone and Mineral Research, 17(6), 1051-1056.*
11. Albrand, G., Munoz, F., Sornay-Rendu, E., DuBoeuf, F., & Delmas, P. D. (2003). Independent predictors of all osteoporosis-related fractures in healthy postmenopausal women: the OFELY study. *Bone, 32(1), 78-85.*
12. *Leitlinie, D. V. O. (2017). Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern. Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Osteologischen Fachgesellschaften e, 2017.*
13. Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., ... & McBurnie, M. A. (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 56(3), M146-M157.*
14. Dodds, R. M., Roberts, H. C., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2015). The epidemiology of sarcopenia. *Journal of Clinical Densitometry, 18(4), 461-466.*
15. Morley, J. E., Anker, S. D., & von Haehling, S. (2014). Prevalence, incidence, and clinical impact of sarcopenia: facts, numbers, and epidemiology—update 2014.
16. Scharla, S. "Sturzrisiko bei älteren Menschen." *Osteologie 17, no. 03 (2008): 135-141.*
17. Schöne, D., Freiburger, E., & Sieber, C. C. (2017). Einfluss der Skelettmuskulatur auf das Sturzrisiko im Alter. *Der Internist, 58(4), 359-370.*
18. Cvijetić-Avdagić, S., Colić-Barić, I., Keser, I., Rumbak, I., & Šatalić, Z. (2012). Influence of heredity and environment on peak bone density: a review of studies in Croatia. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 63(Supplement 1), 11-15.*
19. Haasters, F., Prall, W. C., Himmler, M., Polzer, H., Schieker, M., & Mutschler, W. (2015). Prävalenz und Management der Osteoporose in der Unfallchirurgie. *Der Unfallchirurg, 118(2), 138-145.*

20. Cauley, J. A., Cawthon, P. M., Peters, K. E., Cummings, S. R., Ensrud, K. E., Bauer, D. C., ... & Kado, D. M. (2016). Risk factors for hip fracture in older men: the osteoporotic fractures in men study (MrOS). *Journal of Bone and Mineral Research*, 31(10), 1810-1819.
21. Altmeyen, S. (2017). *Einfluss des präoperativen funktionellen Status, gemessen mit ADL und Timed-up-and-go Test, auf die 1-Jahres-Mortalität und die postoperativen Komplikationen bei älteren Krebspatienten nach Onkochirurgie (Doctoral dissertation)*.
22. Folbert, E. C., Hegeman, J. H., Vermeer, M., Regtuijt, E. M., van der Velde, T. D., Ten Duis, H. J., & Slaets, J. P. (2017). Improved 1-year mortality in elderly patients with a hip fracture following integrated orthogeriatric treatment. *Osteoporosis International*, 28(1), 269-277.
23. Petros, R. S. B., Ferreira, P. E. V., & Petros, R. S. B. (2017). Influence of proximal femur fractures in the autonomy and mortality of elderly patients submitted to osteosynthesis with cephalomedullary nail. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 52, 57-62.
24. Kammerlander, C., Gosch, M., Kammerlander-Knauer, U., Luger, T. J., Blauth, M., & Roth, T. (2011). Long-term functional outcome in geriatric hip fracture patients. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 131(10), 1435-1444.
25. Beliveau, M. M., & Multach, M. (2003). Perioperative care for the elderly patient. *Medical Clinics*, 87(1), 273-289.
26. Siu, A. L., Penrod, J. D., Boockvar, K. S., Koval, K., Strauss, E., & Morrison, R. S. (2006). Early ambulation after hip fracture: effects on function and mortality. *Archives of internal medicine*, 166(7), 766-771.
27. Kenyon-Smith, T., Nguyen, E., Oberai, T., & Jarsma, R. (2019). Early Mobilization Post–Hip Fracture Surgery. *Geriatric orthopaedic surgery & rehabilitation*, 10, 2151459319826431.
28. Noordin, S., Allana, S., & Masri, B. A. (2018). *Establishing a hospital based fracture liaison service to prevent secondary insufficiency fractures. International Journal of Surgery*, 54, 328-332.
29. Schray, D., Neuerburg, C., Stein, J., Gosch, M., Böcker, W., & Kammerlander, C. (2016). *Chancen eines koordinierten Osteoporosemanagements mittels Fracture Liaison Service bei der Behandlung von alterstraumatologischen Patienten//. s.l. : Chances of a Coordinated Management of Osteoporosis via Fracture Liaison Service in Orthogeriatric Patients. Journal für Mineralstoffwechsel & Muskuloskelettale Erkrankungen*, 23(4), 124-127.
30. Dominkus, M., Funovics, P., & Schwameis, E. (1999). *Frühzeitige Belastung nach zementfreien Hüfttotalendoprothesen-Eine Pfannenmigrationsanalyse. Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 137(05), 442-446.
31. Gebhard, F., Becker, C., Hoellen, I., & Kinzl, L. (1999). *Die Therapie hüftnaher Frakturen im Alter. Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 137(06), 492-495.
32. WHO. dimdi.de. [Online] [Zitat vom: 12. 02 2020.] <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2017/block-s70-s79.htm>.
33. [Online] [Zitat vom: 06. 10 2020.] https://classification.aeducation.org/files/download/AOOTA_Classification_2018_Poster_1807031108.pdf.
34. Bonnaire, F., Zenker, H., Lill, C., Weber, A. T., & Linke, B. (2005). Treatment strategies for proximal femur fractures in osteoporotic patients. *Osteoporosis International*, 16(2), S93-S102.
35. González-Zabaleta, J., Pita-Fernandez, S., Seoane-Pillado, T., López-Calviño, B., & Gonzalez-Zabaleta, J. L. (2016). Comorbidity as a predictor of mortality and mobility after hip fracture. *Geriatrics & gerontology international*, 16(5), 561-569.
36. Anglen, J. O., Weinstein, J. N., & American Board of Orthopaedic Surgery Research Committee. (2008). Nail or plate fixation of intertrochanteric hip fractures: changing pattern of practice: a review of the American Board of Orthopaedic Surgery Database. *JBJS*, 90(4), 700-707.

37. Stoffel, K. K., Leys, T., Damen, N., Nicholls, R. L., & Kuster, M. S. (2008). A new technique for cement augmentation of the sliding hip screw in proximal femur fractures. *Clinical Biomechanics*, 23(1), 45-51.
38. Simmermacher, R. K. J., Ljungqvist, J., Bail, H., Hockertz, T., Vochteloo, A. J. H., Ochs, U., & vd Werken, C. (2008). The new proximal femoral nail antirotation (PFNA®) in daily practice: results of a multicentre clinical study. *Injury*, 39(8), 932-939.
39. Müller, M. E., Allgöwer, M., Müller, M. E., Schneider, R., & Willenegger, H. (1991). *Manual of internal fixation: techniques recommended by the AO-ASIF group*. Springer Science & Business Media.
40. Rüedi, T. P., Buckley, R. E., & Moran, C. G. (2007). *AO Principles of Fracture Management*. 2nd expanded ed. Switzerland: AO Publishing, 9-86.
41. [Online] [Zitat vom: 07. 10 2020.] <http://synthes.vo.llnwd.net/o16/Mobile/Synthes%20International/KYO/Trauma/PDFs/016.000.398.pdf>.
42. Rolvien, T., & Amling, M. (2017). *Knochenstoffwechsel im Alter*. *OP-JOURNAL*, 33(03), 206-212.
43. Dall'Oca, C., Maluta, T., Moscolo, A., Lavini, F., & Bartolozzi, P. (2010). Cement augmentation of intertrochanteric fractures stabilised with intramedullary nailing. *Injury*, 41(11), 1150-1155.
44. Muhr, G., Tscherne, H., & Thomas, R. (1979). Comminuted trochanteric femoral fractures in geriatric patients: the results of 231 cases treated with internal fixation and acrylic cement. *Clinical orthopaedics and related research*, (138), 41-44.
45. Schmalholz, A. (1989). Bone cement for redislocated Colles' fracture: a prospective comparison with closed treatment. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 60(2), 212-217.
46. Blazejak, M., Hofmann-Fliri, L., Büchler, L., Gueorguiev, B., & Windolf, M. (2013). In vitro temperature evaluation during cement augmentation of proximal humerus plate screw tips. *Injury*, 44(10), 1321-1326.
47. Lobo-Escolar, A., Joven, E., Iglesias, D., & Herrera, A. (2010). Predictive factors for cutting-out in femoral intramedullary nailing. *Injury*, 41(12), 1312-1316.
48. Aro, H. T., Alm, J. J., Moritz, N., Mäkinen, T. J., & Lankinen, P. (2012). Low BMD affects initial stability and delays stem osseointegration in cementless total hip arthroplasty in women: a 2-year RSA study of 39 patients.
49. Jung, S. W., Shim, S. B., Kim, H. M., Lee, J. H., & Lim, H. S. (2015). Factors that influence reduction loss in proximal humerus fracture surgery. *Journal of orthopaedic trauma*, 29(6), 276-282.
50. Bonnaire, F., Weber, A., Bösl, O., Eckhardt, C., Schwieger, K., & Linke, B. (2007). „Cutting out“ bei pertrochantären Frakturen—ein Problem der Osteoporose?. *Der Unfallchirurg*, 110(5), 425-432.
51. Erhart, S., Schmoelz, W., Blauth, M., & Lenich, A. (2011). Biomechanical effect of bone cement augmentation on rotational stability and pull-out strength of the Proximal Femur Nail Antirotation™. *Injury*, 42(11), 1322-1327.
52. Fensky, F., Nüchtern, J. V., Kolb, J. P., Huber, S., Rupprecht, M., Jauch, S. Y., ... & Lehmann, W. (2013). Cement augmentation of the proximal femoral nail antirotation for the treatment of osteoporotic pertrochanteric fractures—a biomechanical cadaver study. *Injury*, 44(6), 802-807.
53. Goffin, J. M., Pankaj, P., Simpson, A. H. R. W., Seil, R., & Gerich, T. G. (2013). Does bone compaction around the helical blade of a proximal femoral nail anti-rotation (PFNA) decrease the risk of cut-out? A subject-specific computational study. *Bone & joint research*, 2(5), 79-83.
54. Kammerlander, C., Doshi, H., Gebhard, F., Scola, A., Meier, C., Linhart, W., ... & Blauth, M. (2014). Long-term results of the augmented PFNA: a prospective multicenter trial. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 134(3), 343-349.
55. Kammerlander, C., Erhart, S., Doshi, H., Gosch, M., & Blauth, M. (2013). Principles of osteoporotic fracture treatment. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 27(6), 757-769.

56. Wegener, M. M. (2019). *Behandlungsvergleich zwischen augmentierten und nicht augmentierten PFNA bei pertrochantären Femurfrakturen am Universitätsklinikum Ulm (Doctoral dissertation, Universität Ulm)*.
57. Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*, 39(2), 142-148.
58. Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, 12(3), 189-198.
59. Mahoney, F. I., & Barthel, D. W. (1965). Functional evaluation: the Barthel Index: a simple index of independence useful in scoring improvement in the rehabilitation of the chronically ill. *Maryland state medical journal*.
60. Parker, M. J., & Palmer, C. R. (1993). A new mobility score for predicting mortality after hip fracture. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 75(5), 797-798.
61. Pfeufer, D., Grabmann, C., Mehaffey, S., Keppler, A., Böcker, W., Kammerlander, C., & Neuerburg, C. (2019). Weight bearing in patients with femoral neck fractures compared to pertrochanteric fractures: A postoperative gait analysis. *Injury*, s.l. : 50(7), 1324-1328.
62. Yang, F., & King, G. A. (2016). Dynamic gait stability of treadmill versus overground walking in young adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 31, 81-87.
63. Baur, H., Hirschmüller, A., Müller, S., Gollhofer, A., & Mayer, F. (2007). Muscular activity in treadmill and overground running. *Isokinetics and Exercise Science*, 15(3), 165-171.
64. Adolf-Lisitano, L. (2020). *Umsetzung der postoperativen Teilbelastung bei älteren Hüftfrakturpatienten (Doctoral dissertation, lmu)*.
65. Pfeufer, D., Zeller, A., Mehaffey, S., Böcker, W., Kammerlander, C., & Neuerburg, C. (2019). Weight-bearing restrictions reduce postoperative mobility in elderly hip fracture patients. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 139(9), 1253-1259.
66. [Online] [Zitat vom: 11. 10 2020.] https://www.novel.de/wp-content/uploads/2019/03/loadsol_biomechanics.pdf.
67. RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
68. http://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/_inhalt.html.
69. Mueller, A., Hoefling, H., Nuritdinow, T., Holway, N., Schieker, M., Daumer, M., & Clay, I. (2018). Continuous monitoring of patient mobility for 18 months using inertial sensors following traumatic knee injury: a case study. *Digital Biomarkers*, 2(2), 79-89.
70. Clay, I. (2017). Impact of digital technologies on novel endpoint capture in clinical trials. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 102(6), 912-913.
71. Perracini, M. R., Kristensen, M. T., Cunningham, C., & Sherrington, C. (2018). Physiotherapy following fragility fractures. *Injury*, 49(8), 1413-1417.
72. Ehrnthaller, C., Olivier, A. C., Gebhard, F., & Dürselen, L. (2017). The role of lesser trochanter fragment in unstable pertrochanteric A2 proximal femur fractures-is refixation of the lesser trochanter worth the effort?. *Clinical Biomechanics*, 42, 31-37.
73. Kammerlander, C., Hem, E. S., Klopfer, T., Gebhard, F., Sermon, A., Dietrich, M., ... & Blauth, M. (2018). Cement augmentation of the Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA)—A multicentre randomized controlled trial. *Injury*, 49(8), 1436-1444.
74. Kammerlander, C., Pfeufer, D., Lisitano, L. A., Mehaffey, S., Böcker, W., & Neuerburg, C. (2018). Inability of older adult patients with hip fracture to maintain postoperative weight-bearing restrictions. *JBJS*, 100(11), 936-941.
75. Young, W. R., & Williams, A. M. (2015). How fear of falling can increase fall-risk in older adults: Applying psychological theory to practical observations. *Gait & posture*, 41(1), 7-12.

76. Icks, A., Haastert, B., Wildner, M., Becker, C., & Meyer, G. (2008). *Trend of hip fracture incidence in Germany 1995–2004: a population-based study*. *Osteoporosis international*, 19(8), 1139-1145.
77. Neuerburg, C., Gosch, M., Blauth, M., Böcker, W., & Kammerlander, C. (2015). *Augmentationstechnik am proximalen Femur*. *Der Unfallchirurg*, 118(9), 755-764.

11. Danksagung

Für die stets gute Betreuung, die große Hilfsbereitschaft sowie die Überlassung der Arbeit möchte ich Herrn PD. Dr. Carl Neuerburg danken. Danken möchte ich auch Herrn Dr. Daniel Pfeufer und Herrn Dr. Alexander Keppler für die enge Zusammenarbeit.

Außerdem möchte ich meiner gesamten Familie für den Zusammenhalt, der mich in dieser Arbeit vorangebracht hat, sowie Jessica für die tatkräftige Unterstützung danken.

12. Lebenslauf

Angaben zur Person

Name, Vorname: Kau, Fabian
Geburtsdatum: 02.02.1996
Geboren in: St. Veit a. d. Glan/ AUT
Staatsbürgerschaft: Österreich

Ausbildung

2002-2006 Volksschule Ebenthal in Kärnten
2006-2010 Europagymnasium Klagenfurt
2010-2015 OR-Gymnasium für Leistungssportler
2015-2021 Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität
München