

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu
Köln

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

durchgeführt in:

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
des Eduardus-Krankenhaus Köln

Direktor: Prof. Dr. med. A. Jubel

Analyse prädiktiver Einflussfaktoren auf die Revisionsbedürftigkeit nach Osteosynthese proximaler Femurfrakturen mittels dynamischer Hüftschraube

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

vorgelegt von
Friedel Michael Etter

promoviert am 19. August 2024

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2024

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Professor Dr. med. A. Jubel
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. T.F. Leschinger

Erklärung

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

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

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

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

Der dieser Arbeit zugrunde liegende Datensatz wurde retrospektiv von mir, mit der Erlaubnis von Prof. Dr. med. Axel Jubel, aus den Daten im krankenhouseigenen klinischen Informationsprogramm (ORBIS) des Eduardus- Krankenhaus Köln extrahiert. Zur radiologischen Auswertung und Bestimmung des Tip-Apex-Abstands kam das Programm mediCAD® (mediCAD Hectec GmbH, Altdorf/Landshut, Deutschland) zum Einsatz. Die statistische Auswertung erfolgte anschließend mittels der SPSS- Software. Sowohl die Datenextraktion, radiologische Auswertung und die abschließende statistische Auswertung wurden von mir selbstständig durchgeführt.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

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

Köln, den 01.03.2024

Unterschrift: 

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Axel Jubel möchte ich meinen großen Dank aussprechen, mir die Möglichkeit der Dissertation in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Eduardus-Krankenhaus Köln ermöglicht und mich auf diesem Weg jederzeit bedingungslos unterstützt zu haben.

Meiner Frau, meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für ihre Förderung und Unterstützung während meiner gesamten Ausbildungszeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
2	Einleitung	8
2.1	Anatomie des proximalen <i>Femurs</i> und Hüftgelenks	8
2.2	Definition der proximalen Femurfraktur	12
2.3	Einteilung der proximalen Femurfrakturen.....	12
2.4	Ätiologie und Pathophysiologie der proximalen Femurfrakturen	13
2.5	Epidemiologie	15
2.6	Klassifikationssysteme	16
2.6.1	AO-Klassifikation	16
2.6.2	Pauwels-Klassifikation.....	17
2.6.3	Garden-Klassifikation	18
2.7	Klinik der proximalen Femurfrakturen.....	19
2.8	Diagnostik.....	20
2.9	Therapie	21
2.9.1	Konservative Therapie	21
2.9.2	Operative Therapie.....	21
2.10	Komplikationen und Prognose.....	25
2.11	Prä- und perioperative Risikofaktoren	29
2.12	Fragestellung und Ziel der Arbeit.....	30
3	Material und Methoden	31
3.1	Studienpopulation	31
3.2	Datenextraktion und Studienvariablen.....	31
3.3	Radiologische Messungen	32
3.4	Statistische Datenanalyse	34
4	Ergebnisse	36
4.1	Deskriptive Statistik Gesamtkollektiv	36
4.1.1	Demografie.....	36
4.1.2	Klinik.....	36
4.1.3	AO-Klassifikation	38
4.1.4	Operative Revisionen	38
4.2	Deskriptive Statistik in Abhängigkeit zur Revisionsbedürftigkeit.....	39
4.2.1	Demografie.....	39
4.2.2	Klinik.....	39
4.2.3	AO-Klassifikation	41
4.3	Gruppenvergleich Revisionsbedürftigkeit in Abhängigkeit des AO-Typs	41

4.3.1	Demografie.....	41
4.3.2	Klinik.....	43
4.3.3	Tip-Apex-Abstand.....	43
4.4	Regressionsmodell zur Evaluation prädiktiver Faktoren.....	43
4.5	Cut-off-Wert Tip-Apex-Abstand	44
5	Diskussion	46
5.1	Tip-Apex-Abstand als prädiktiver Faktor für die Revisionsbedürftigkeit.....	47
5.2	Epidemiologische Einflussfaktoren auf den Behandlungserfolg	50
5.3	Perioperative Einflussfaktoren auf den Behandlungserfolg	52
5.4	Limitationen	54
5.5	Fazit.....	54
6	Literaturverzeichnis	55
7	Anhang	68
7.1	Abbildungsverzeichnis.....	68
7.2	Tabellenverzeichnis.....	69
7.3	Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen	70

1 Zusammenfassung

Das Ziel der hier vorliegenden Arbeit bestand in der Analyse der Revisionsbedürftigkeit proximaler Femurfrakturen nach operativer Behandlung mit einer dynamischen Hüftschraube (DHS).

Der Schwerpunkt lag in der Untersuchung, ob Risikofaktoren identifiziert werden können, die mit einer erhöhten Revisionsrate einhergehen. In dieser Studie wurden retrospektiv alle Patienten eingeschlossen, bei denen eine Osteosynthese mittels DHS nach einer proximalen Femurfraktur im Zeitraum vom 01.08.2012 bis zum 01.01.2021 durchgeführt wurde.

Als proximale Femurfrakturen wurden pertrochantäre, subtrochantäre Frakturen (AO-Typ 31 A) sowie Schenkelhalsfrakturen (AO-Typ 31 B) gewertet. Eingeschlossen wurden Patienten, für die vollständige Daten hinsichtlich der präoperativen radiologischen Untersuchungen und postoperativen radiologischen Kontrollen vorlagen.

Baumgaertner et al. (9) stellten erstmalig die Bedeutung des Tip- Apex Abstand als einen prädiktiven Risikofaktor für eine Revisionsbedürftigkeit nach erfolgter Osteosynthese am proximalen Femur dar. Der Tip-Apex Abstand steht für den Abstand der Schenkelhalsklinge zum höchsten Punkt des Femurkopfes. In dieser Studie erfolgte die Bestimmung des Tip-Apex-Abstands anhand der postoperativ durchgeführten Röntgenbilder in zwei Ebenen. Die Auswertung erfolgte sowohl im Gesamtkollektiv und um den unterschiedlichen Fraktorentitäten Rechnung zu tragen getrennt nach AO- Typ A und B Frakturen.

Es wurden 167 Patienten in die Analyse eingeschlossen (58,1 % Frauen und 41,9 % Männer). 50 (29,9 %) Patienten wiesen eine Femurfraktur des AO-Typ 31 A auf. Das mittlere Follow-Up-Intervall der Patienten betrug 46,24 Monate. Während des gesamten Follow-Ups verstarben 12 (7,2 %) Patienten. Zwischen den Patienten mit und ohne Revision lagen bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Alter, Zeit zwischen Hospitalisierung und Operation sowie der Qualifikation des Operateurs und ob die Operation in der regulären Arbeitszeit oder im Bereitschaftsdienst durchgeführt wurde vor.

Die Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse identifizierten in der frakturspezifischen Analyse für die nach AO Typ A Frakturen das weibliche Geschlecht und für die nach AO Typ B- Frakturen den Tip-Apex-Abstand als signifikanten Prädiktor für eine Revisionsbedürftigkeit.

Für die AO Typ B Frakturen wurde im Anschluss ein Tip-Apex-Abstand-Cut-Off-Wert von 15,62 mm bei männlichen Patienten evaluiert, der eine hohe prädiktive Aussagekraft für die Revisionsbedürftigkeit (Sensitivität: 100 %; Spezifität: 55 %) hat. Bei einer Überschreitung dieses Cut-Off Wertes steigt das Risiko einer Revision signifikant mit jeder Vergrößerung des Tip-Apex Abstand um einen Millimeter um 8,7% ($p=0,005$).

Angesichts der zunehmenden Alterung der Bevölkerung und der in absehbarer Zukunft begrenzten Ressourcen im Gesundheitswesen wird es aus sozioökonomischer und ethischer Sicht wichtiger, Wege zur Vermeidung von Komplikationen bei der Behandlung von hüftgelenksnahen Frakturen zu finden (65).

Die Ergebnisse legen nahe, dass der Tip-Apex-Abstand auch bei der Osteosynthese einer medialen Schenkelhalsfraktur mit einer DHS einen großen Einfluss auf die Stabilität der Osteosynthese hat. Dies sollte der Operateur bereits bei den intraoperativen Röntgenkontrollen berücksichtigen.

2 Einleitung

2.1 Anatomie des proximalen *Femurs* und Hüftgelenks

Im Gegensatz zu Heranwachsenden bestehen bei erwachsenen Menschen physiologisch konstante Beziehungen zwischen den anatomischen Strukturen des proximalen *Femurs* (111). Da diese Verhältnisse bei einer operativen Versorgung der Fraktur des proximalen *Femurs* anatomisch rekonstruiert werden müssen, um eine optimale Biomechanik zu gewährleisten und mögliche Folgeschäden zu vermeiden, bedarf es hierbei einer einheitlichen Definition. Anders als bei der anatomischen Einteilung, die den Hüftkopf, den *Trochanter minor* und den *Trochanter major* berücksichtigt, wird der proximale Oberschenkelknochen in der klinischen Literatur in vier Hauptbereiche unterteilt: den Hüftkopf, den Schenkelhals sowie die intertrochantäre und subtrochantäre Region (139). Der Oberschenkelkopf-Hals-Übergang wird als subkapitale Region des Oberschenkelhalses bezeichnet und liegt intrakapsulär. Der Übergang vom Schenkelhals zur intertrochantären Region wird als basozervikaler Bereich definiert. Dieser liegt extrakapsulär, also außerhalb der Gelenkkapsel (119).

Die intertrochantäre Region ist durch den Bereich definiert, der vom *Trochanter major* und *Trochanter minor* des Oberschenkels umschlossen wird (119). Distal des *Trochanter minor* schließt sich über eine Strecke von 5 cm der subtrochantäre Bereich an (7). Physiologisch bildet der Schenkelhals in der Frontal-Ebene (a.p.-Ebene) einen Winkel von $130^\circ \pm 10^\circ$ zur Schaftachse, den sogenannten Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD). Dieser Winkel wird auch als anatomische Halsachse oder medialer Schaft-Winkel bezeichnet (114).

Die innere Geometrie des Oberschenkelhalses ist durch ein trabekuläres Netzwerk charakterisiert, das medial entlang des Schenkelhalses aus Kompressions- oder Drucktrabekeln und lateral entlang des Schenkelhalses aus Zugtrabekeln besteht (19; **Abbildung 1**). Der Bereich des Schenkelhalses, in dem es an Trabekeln mangelt, wird als Ward'sches Dreieck bezeichnet (98).

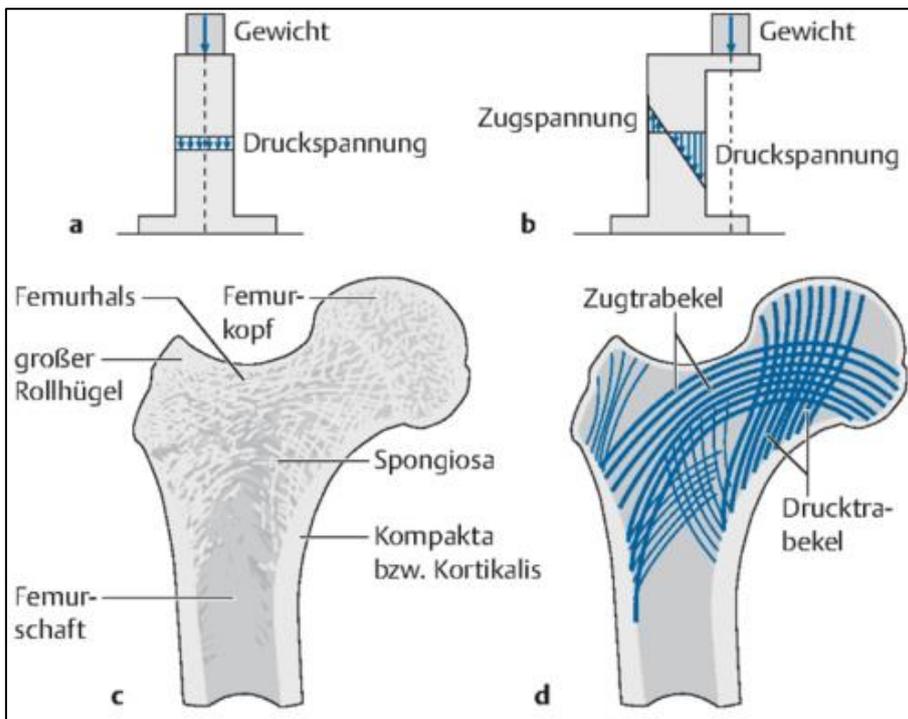


Abbildung 1: Anordnung der Trabekel aufgrund einwirkender Kräfte

Quelle: Abbildung aus (123).

Der Oberschenkelkopf ist mit der Hüftpfanne des Beckens über das Hüftgelenk verbunden (139). Das Hüftgelenk ist ein Kugelgelenk, dessen Stabilität in erster Linie durch seine knöchernen Komponenten bestimmt wird (139). Die primäre Funktion des Hüftgelenks besteht darin, das Gewicht des Rumpfes dynamisch abzustützen sowie gleichzeitig die Kraft- und Lastübertragung vom Achsenskelett auf die unteren Extremitäten zu übertragen und hierbei die Beweglichkeit zu ermöglichen (17,55). Die Fähigkeit des Hüftgelenks, die vorherrschenden Kräfte über den gesamten Bewegungsumfang auszugleichen, sorgt für die Stabilität, die für alltägliche Aufgaben wie das aufrechte Stehen, ein gleichmäßiges Gangbild, Aufstehen von einem Stuhl und Heben von Gewichten aus einer hockenden Position erforderlich ist (17).

Das Hüftgelenk ist ein kugelförmiges Synovialgelenk, das durch seine knöchernen und ligamentären Strukturen stabilisiert wird (139; **Abbildung 2**). Die knöchernen Anatomie des Gelenks trägt zur Stabilität der Hüfte bei (139). Das Becken setzt sich aus drei knöchernen Elementen zusammen: *Os ilium*, *Os ischii* und *Os pubis*. Diese Knochen treffen in der Y-förmigen Knorpelfuge zusammen und bilden die schalenförmige Gelenkpfanne, das *Acetabulum* (139).

Die Hüftpfanne bedeckt physiologisch in jeder Hüftbewegungsposition etwa 40 % des Oberschenkelkopfes (17). Zusätzliche Stabilität verleiht das *Labrum* (17). Dieses umschließt den Hüftkopf von der Hüftpfanne ausgehend und dient dazu, die Hüftpfanne zu vergrößern (17). Das *Labrum* der Hüftpfanne macht etwa 22 % der Gelenkfläche der Hüfte aus und vergrößert das Volumen der Pfanne um 33 % (17).

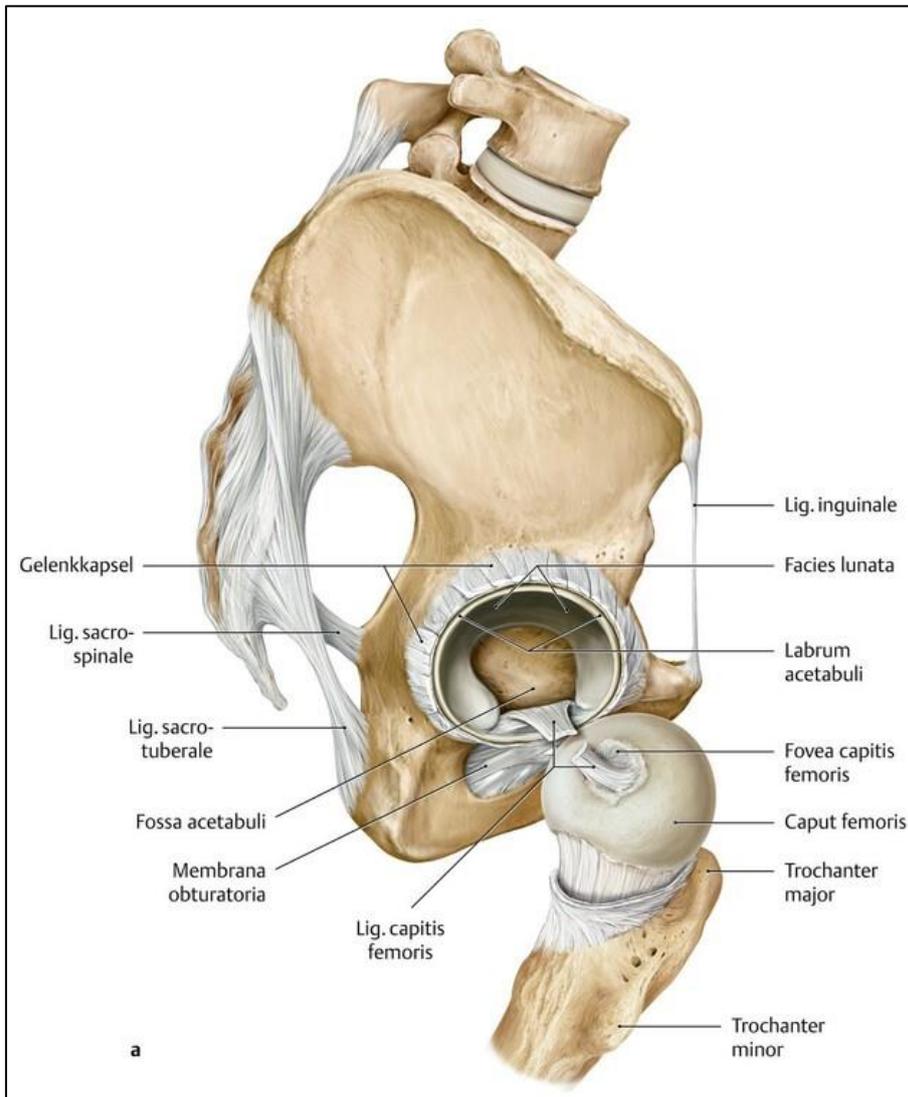


Abbildung 2: Darstellung der Anatomie des Hüftgelenks

Quelle: Abbildung aus (140).

Die Hüftgelenkkapsel wird durch drei Hauptbänder gebildet: dem iliofemorale, dem pubofemorale und dem ischiofemorale Band (139). Die Kapselbänder verlaufen spiralförmig und limitieren die Hüftstreckung (139). Die Kapsel ist antero-kraniel, dort wo die Hauptbelastungen während Gewichtsbelastung auftreten, dicker und wird nach postero-kaudal dünner (17). Das *Ligamentum capitis femoris* fächert sich von der

Fovea des Hüftkopfes aus auf und setzt fast auf der gesamten Länge des *Ligamentum transversum acetabuli* an (139).

Die Hüfte fungiert als mehrachsiges Kugelgelenk, auf dem der Oberkörper beim Stehen und Gehen balanciert wird (139). Die Stabilität des Hüftgelenks ermöglichen die Bewegung und die Aufnahme von Kräften, die bei täglichen Aktivitäten auftreten (139). Die Kongruenz des Hüftkopfes mit der Hüftpfanne ermöglicht die für diese Aufgaben erforderliche Rotationsbewegung ohne erkennbare Translationsbewegung, die das Gelenk destabilisieren und das Risiko einer Luxation erhöhen würde (24). Folgende physiologische Bewegungsumfänge gelten hierbei für das Hüftgelenk (139):

- Extension/Flexion: $15^{\circ}/0^{\circ}/140^{\circ}$
- Außenrotation/Innenrotation: $40^{\circ}/0^{\circ}/25^{\circ}$
- Abduktion/Adduktion: $45^{\circ}/0^{\circ}/35^{\circ}$

Die Gefäßversorgung des Hüftkopfes und des proximalen *Femurs* ist von großer Bedeutung bei akuten Verletzungen, da eine Schädigung der zuführenden Arterien z. B. zu einer avaskulären Nekrose des Hüftkopfes führen kann (76). Die *Arteria circumflexa femoris medialis* und *lateralis* versorgen maßgeblich den Hüftkopf das proximale *Femur* (139). Die *Arteria circumflexa femoris medialis* entspringt aus der *Arteria profunda femoris* und verläuft entlang des Halses des *Femurs* zum Hüftkopf (139). Die *Arteria circumflexa femoris lateralis* entspringt aus der *Arteria profunda femoris* und zieht am *Trochanter major* entlang nach kaudal, um den proximalen *Femur* zu versorgen (139). **Abbildung 3** illustriert die Blutversorgung des proximalen *Femurs* und des Hüftkopfes.

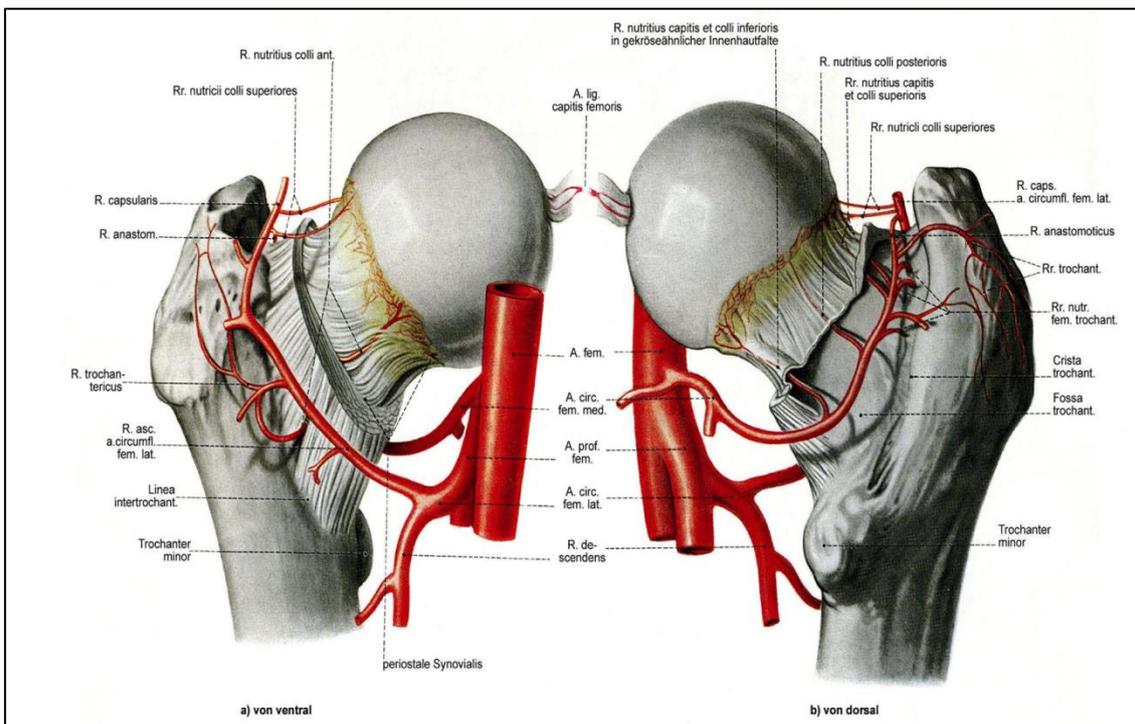


Abbildung 3: Illustration der Blutversorgung des Hüftkopfes

Quelle: Abbildung aus (89).

2.2 Definition der proximalen Femurfraktur

Eine proximale Femurfraktur bezeichnet eine Fraktur des proximalen Endes des Oberschenkelknochens, die den Oberschenkelhals und den Trochanterbereich einschließt (102). Es werden zwei Arten von proximalen Femurfrakturen unterschieden: Schenkelhals- und Trochanterfrakturen (102). Letztere zeichnen sich durch eine schwierigere intraoperative Reposition und einem damit verbundenen höheren Blutverlust aus. Überdies gestalten sich die Sterblichkeits- und allgemeine Komplikationsrate bei Trochanterfrakturen höher (109).

2.3 Einteilung der proximalen Femurfrakturen

Proximale Femurfrakturen werden nach ihrer Lokalisation in Relation zur Gelenkkapsel unterteilt (**Abbildung 4**). Hierbei fokussiert sich die Einteilung darauf, ob die Fraktur intrakapsulär oder extrakapsulär lokalisiert ist. Die Einteilung schließt intertrochantäre und subtrochantäre Frakturen ein. Je nach ihrer Lage werden Schenkelhalsfrakturen auch als subkapitale, transzervikale und basozervikale Frakturen bezeichnet (97,139).

Ein Oberschenkelhalsbruch, der sich an der Verbindung von Oberschenkelkopf zum Oberschenkelhals befindet, gilt als subkapitale Fraktur, während eine transzervikale Fraktur im mittleren Teil des Oberschenkelhalses liegt. Eine basozervikale Fraktur befindet sich an der Basis des Oberschenkelhalses. Bei intrakapsulären proximalen Femurfrakturen werden in der Regel die Blutgefäße verletzt, die für die Blutversorgung des Hüftkopfes verantwortlich sind (97). Aus diesem Grund müssen Schenkelhalsfrakturen zeitnah und angemessen diagnostiziert und versorgt werden, um Folgeschäden durch eine Devaskularisierung des Hüftkopfes zu vermeiden (97). Bei Trochanterfrakturen handelt es sich um extrakapsuläre Verletzungen. Diese schließen pertrochantäre und intertrochantäre Frakturen ein. Intertrochantäre Hüftfrakturen sind definiert als Frakturen zwischen dem Schenkelhals und dem *Trochanter minor* (97). Subtrochantäre Femurfrakturen sind definiert als Frakturen, die im meta-diaphysären proximalen *Femur* innerhalb von 5 cm distal des Trochanter minor lokalisiert sind (70).

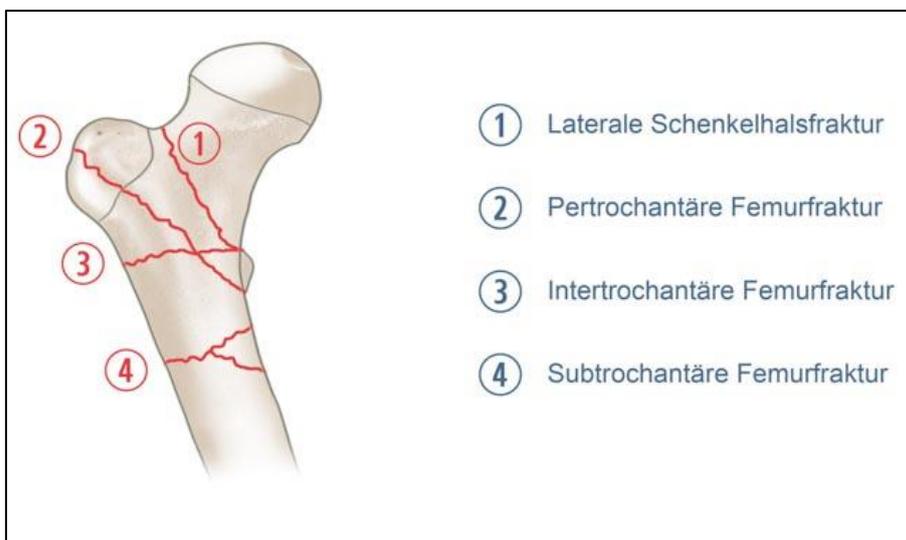


Abbildung 4: Darstellung der Einteilung proximaler Femurfrakturen

Quelle: Abbildung aus (113).

2.4 Ätiologie und Pathophysiologie der proximalen Femurfrakturen

Proximale Femurfrakturen treten vor allem bei älteren Menschen im Rahmen von Sturzeignissen mit geringer Energieeinwirkung auf. Bei jüngeren Patienten ist in der Regel ein Unfallereignis mit hoher Energie- bzw. Gewalteinwirkung wie z. B. ein Sturz aus großer Höhe oder ein Verkehrsunfall ursächlich für die Verletzung (73,121). Daher

findet sich die proximale Femurfraktur bei jungen Menschen häufig in Zusammenschau mit Begleitverletzungen im Rahmen eines Polytraumas, während es sich bei älteren Patienten i. d. R. um eine Monoverletzung handelt (73).

Osteoporose ist eine systemische Skeletterkrankung, die durch eine geringe Knochenmineraldichte und einer Verschlechterung der Mikroarchitektur des Knochengewebes gekennzeichnet ist (106). Diese Krankheit erhöht das Risiko, eine Fraktur insbesondere am proximalen *Femur*, den Wirbelkörpern, am *Humerus* oder am distalen Unterarm zu erleiden (106). Das Risiko einer hüftgelenksnahen Fraktur ist bei Patienten mit Osteoporose besonders hoch, da sich die trabekuläre Geometrie des proximalen *Femurs* verändert und somit anfälliger für Verletzungen wird (81). Zu den weiteren Risikofaktoren, eine Schenkelhalsfraktur zu erleiden, gehören neben der Osteoporose das weibliche Geschlecht und eine aus bereits eingeschränkter Mobilität resultierende Sturzneigung (28,87).

Pertrochantäre Femurfrakturen machen ca. 45 % aller hüftnahen Frakturen aus (58). Verletzungen dieser Art ereignen sich sowohl bei älteren als auch bei jüngeren Menschen, sind jedoch bei älteren Menschen wegen Osteoporose und eines niedrigen Energiemechanismus häufiger (58).

Subtrochantäre Frakturen gehen häufig mit intraoperativen Schwierigkeiten bei der Reposition und postoperativen Komplikationen einher (51). Grund hierfür sind muskuläre Kräfte, die aus der Umgebung der Hüfte auf die Frakturfragmente einwirken und eine Dislokation und Fehlrotation am Frakturspalt verursachen (51). Subtrochantäre Frakturen treten in einer bimodalen Verteilung auf. Junge Patienten sind in der Regel in einen energiereichen Unfall verwickelt, wie z. B. einen Zusammenstoß mit einem Kraftfahrzeug. Ältere Patienten erleiden eine solche Fraktur in der Regel nach einem Sturz mit geringer Energie, wie z. B. einem Stolpersturz (11). Auch in Form von pathologischen Frakturen können subtrochantäre Frakturen bei Patienten auftreten, die eine Dauertherapie mittels Bisphosphonaten einnehmen, da diese zu einer Schwächung der *Kortikalis* in diesem Bereich führen kann (11).

2.5 Epidemiologie

Die Inzidenz proximaler Femurfrakturen liegt in Deutschland bei 110 bis 130 Fällen pro 100.000 Einwohner (18). Während 1990 weltweit etwa 1,3 Millionen Hüftfrakturen gemeldet wurden, wird geschätzt, dass diese Zahl bis 2050 insgesamt zwischen 7,3 und 21,3 Millionen liegen wird (59). Vor allem ältere Menschen laufen Gefahr, eine proximale Femurfraktur zu erleiden. Mehr als drei Viertel der proximalen Femurfrakturen in Deutschland treten bei Patienten mit einem Alter älter als 75 Jahren auf (165). Gründe hierfür sind die erhöhte Sturzneigung und die Schwächung der ossären Strukturen im Rahmen einer Osteoporose (94). Ein Peak ergibt sich dann für das 82. Lebensjahr (94). Bei älteren Menschen sind Schenkelhalsfrakturen die häufigsten knöchernen Verletzungen, die zu schweren Folgeschäden führen können (72,133). Die hohe Inzidenz proximaler Oberschenkelfrakturen stellt eine erhebliche Belastung für das Gesundheitssystem dar (153). Patienten mit proximalen Frakturen des Hüftgelenks kosten das Gesundheitssystem schätzungsweise 2,5 Milliarden Euro jährlich (153). Im Jahr 2000 lagen laut *Minne et al.* die Folgekosten für das Gesundheitssystem alleine im ersten Jahr nach einer proximalen Femurfraktur bei 20.276 € pro Patient (107).

Die Inzidenz von Schenkelhalsfrakturen (ca. 120 Fälle pro 100.000 Einwohner) ist vergleichbar mit der pertrochantärer Frakturen. Gemeinsam machen diese mehr als 90 % aller proximalen Femurfrakturen aus (43,48,77,130). Die restlichen 5 bis 10 % bilden subtrochantäre Frakturen (43,48,77,130). Im Vergleich zu jüngeren Lebensjahren steigt ab einem Alter von 50 Jahren die Inzidenz um das Zwei- bis Dreifache an, wobei das weibliche Geschlecht häufiger betroffen ist (133). Hinsichtlich jahreszeitlicher Schwankungen wurde eine höhere Inzidenz in den Wintermonaten beschrieben (25,27).

Für ältere Patienten stellt eine hüftgelenksnahe Fraktur ein lebensveränderndes Ereignis dar, das zu einer weiteren Reduktion der bereits potenziell eingeschränkten Selbstständigkeit führen kann (4). Nur 40 % bis 60 % vieler Patienten erlangen innerhalb eines Jahres nach einer hüftgelenksnahen Fraktur ihr ursprüngliches Mobilitätsniveau und ihre vorherige Fähigkeit, Aktivitäten des täglichen Lebens durchzuführen, zurück (36). 50 % der proximalen Femurfrakturen treten bei Menschen mit vorbestehender Pflegebedürftigkeit auf (125).

Proximale Femurfrakturen bei geriatrischen Patienten (Alter > 80 Jahre oder Alter > 70 Jahre mit typischer geriatrischer Multimorbidität; 145) sind mit einem ausgeprägten

Risiko kardiovaskulärer, pulmonaler, thrombotischer, infektiöser oder blutungsbedingten Komplikationen verbunden (12). Die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie und die Deutsche Gesellschaft für Geriatrie betonen, dass eine verzögerte Behandlung die Prognose der Patienten wesentlich negativ beeinflussen kann (92).

2.6 Klassifikationssysteme

2.6.1 AO-Klassifikation

Das Klassifikationssystem der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO-Klassifikation) (105) kombiniert Frakturlokalisation und -morphologie (**Abbildung 5**). Es folgt einer strengen Systematik und teilt proximale Femurfrakturen in drei Gruppen ein: extrakapsuläre Frakturen, Schenkelhalsfrakturen und Hüftkopffrakturen. Es wird jedem Knochen im menschlichen Körper eine Kennziffer zugeordnet. Das *Femur* weist die Kennziffer 3 auf. Weiter wird jeder lange Röhrenknochen in drei Abschnitte unterteilt. Hierfür wird zwischen zwei gelenktragenden Anteilen jeweils proximal und distal sowie dem dazwischenliegenden Schaft differenziert (56). Der proximale Teil, der sich vom Hüftkopf bis zu einer Linie erstreckt, die transversal durch die untere Begrenzung des *Trochanter minors* zieht, erhält die Ziffer 1. Der hüftgelenksnahe Teil des *Femurs* wird konsekutiv zusammengesetzt als „31“ beziffert.

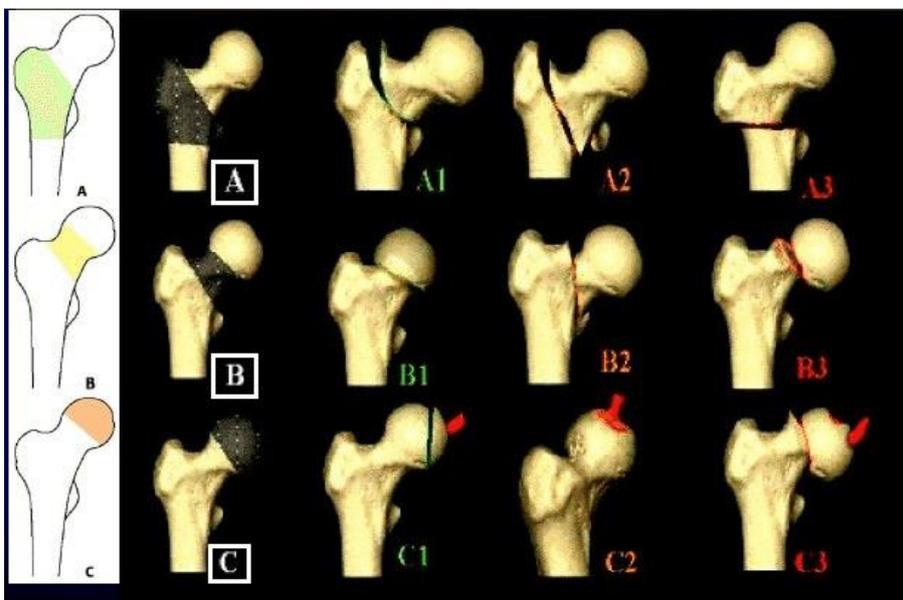


Abbildung 5: Darstellung der AO- Klassifikation

Quelle: Abbildung aus (49).

Nach der exakten Zuordnung der Frakturlokalisierung am Gesamtfemur erfolgt in der Region 31 eine Differenzierung dahingehend, ob (A) die Fraktur die Trochanterregion, (B) die Schenkelhalsregion oder (C) den Hüftkopf betrifft. Frakturen des Femurkopfes werden als intraartikuläre Frakturen mit dem Buchstaben C gekennzeichnet. Liegt eine Fraktur im Verlauf des Schenkelhalses vor, so trägt diese den Buchstaben B. Frakturen in der *Regio trochanterica* werden mit C bezeichnet. Im Weiteren erfolgt eine numerisch detaillierte Beschreibung der Frakturform (105). Obwohl diese Klassifikation 27 Gruppen umfasst, erlaubt sie keine genaue Unterscheidung zwischen trochantären und subtrochantären Frakturen.

2.6.2 Pauwels-Klassifikation

Bei der Klassifikation nach Friedrich Pauwels handelt es sich um eine biomechanische Einteilung der medialen Schenkelhalsfrakturen anhand des Verlaufes der Fraktur-ebene zur Horizontalen (52).

Pauwels 1 beschreibt einen Frakturverlauf von weniger als 30° bezogen auf die Horizontale, *Pauwels 2* einen Winkel von $30\text{--}70^\circ$ und *Pauwels 3* einen Winkel von über 70° (143). Die Winkel, auf die sich die Pauwels-Klassifikation bezieht, haben eine große Bedeutung für die biomechanischen Eigenschaften der Fraktur (143). Die Position der Frakturlinie in Bezug auf die Horizontale bestimmt den Grad der Belastung auf die Fraktur. Bei einer *Pauwels 1* Fraktur mit einem Winkel von weniger als 30° zur Horizontalen ist die Belastung auf die Fraktur geringer als bei einer *Pauwels 3* Fraktur mit einem Winkel von mehr als 70° zur Horizontalen. Dies hat Auswirkungen auf die Stabilität der Fraktur und damit auf die Wahl der Behandlungsmethode (143). Bezogen auf die klinische Relevanz bedeutet dies, dass je steiler der Frakturwinkel ist, umso größer auch die Gefahr einer Frakturdislokation bei axialer Belastung (52) ist. Bei *Pauwels 1* Frakturen kann beispielsweise in Ausnahmefällen eine konservative Behandlung erwogen werden, während *Pauwels 2* und *Pauwels 3* Fraktur einer operativen Versorgung zugeführt werden sollte (52). Die Pauwels-Klassifikation basiert daher auf biomechanischen Prinzipien und ist für die Behandlung von medialen Schenkelhalsfrakturen von großer Bedeutung. In Bezug auf die Interrater-Reliabilität zeigt die Pauwels-Klassifikation jedoch nur eine geringe Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit (52).

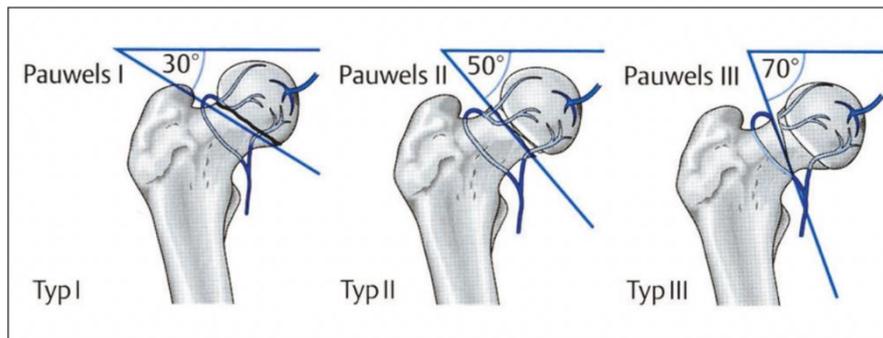


Abbildung 6: Darstellung der Pauwels-Klassifikation

Quelle: Abbildung aus (129).

2.6.3 Garden-Klassifikation

Diese Klassifikation wurde erstmals 1961 von Robert Garden veröffentlicht (78). Oberschenkelhalsfrakturen werden hierbei anhand der Frakturverschiebung auf der Grundlage eines Röntgenbildes in der Frontalebene (anterior-posteriorer Strahlengang) in nicht dislozierte (*Garden-Typ I* und *II*) und dislozierte Frakturen (*Garden-Typ III* und *IV*) eingeteilt (50; **Abbildung 7**).

Der *Garden-Typ I* beschreibt eine unvollständige oder impaktierte Fraktur, der *Garden-Typ II* eine vollständige Fraktur ohne Verschiebung, der *Garden-Typ III* eine vollständige Fraktur mit partieller Verschiebung und der *Garden-Typ IV* eine vollständige Fraktur mit vollständiger Verschiebung (50).

Die Garden-Klassifikation basiert auf biologischen Prinzipien, da sie den biologischen Effekt der Fraktur auf den Hüftkopf erfasst. Je größer das Ausmaß der Dislokation, umso eher wird der Hüftkopf von den versorgenden Gefäßen getrennt und umso höher ist das Hüftkopfnekroserisiko (50).

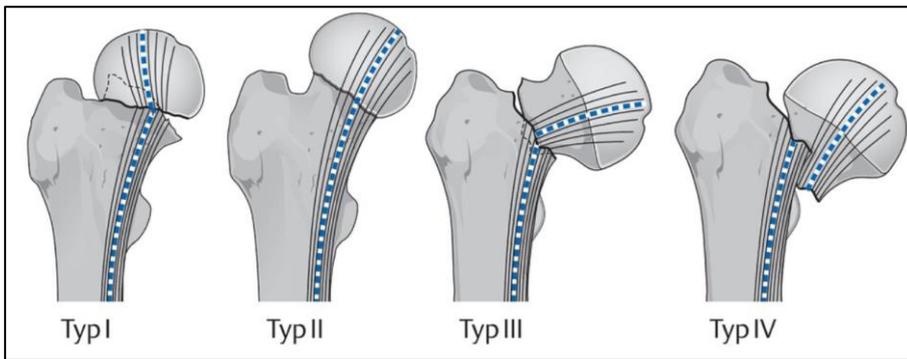


Abbildung 6: Darstellung der Garden-Klassifikation

Anm.: Typ I: Garden I, eingestauchte Fraktur; Typ II: Garden II: unverschobene Fraktur; Typ III: Garden III: Kopf abgekippt; Typ IV: Garden IV: vollständig disloziert, Kopf richtet sich wieder auf, ist aber verschoben.

Quelle: Abbildung aus (129).

2.7 Klinik der proximalen Femurfrakturen

Das klassische klinische Bild der dislozierten proximalen Femurfrakturen umfasst Schmerzen des Oberschenkels und der Hüfte, ein verkürztes und außenrotiertes Bein sowie eine eingeschränkte Beweglichkeit des Hüftgelenkes (15, 32). Die sogenannte „antalgische Position“, d. h. die Außenrotation und Flexion im Hüftgelenk, wird eingenommen, da hierbei der Druck in der Gelenkkapsel verringert wird (103). Sechs Stunden nach dem Trauma nimmt dieser in der Gelenkkapsel deutlich zu und führt zu einer erheblichen Schmerzzunahme (103). Am höchsten präsentiert sich der intraartikuläre Druck bei Extension und Innenrotation im Hüftgelenk. Die antalgische Position ist somit eine unbewusst eingenommene Schonhaltung (103). In einigen Fällen kann es auch zu einer transfusionspflichtigen Blutung kommen, insbesondere wenn die *Arteria profunda femoris* verletzt wird (64).

Nicht dislozierte proximale Femurfrakturen, insbesondere *Garden-Typ I*, können klinisch zunächst asymptomatisch verlaufen oder nur geringfügige Beschwerden verursachen (108). Das Problem bei diesen Frakturen besteht darin, dass die Diagnose oft erst verzögert gestellt wird, da die Symptome unspezifisch sind und von den Patienten häufig nicht als Frakturschmerzen wahrgenommen werden (108). Infolgedessen kann es durch die Verzögerung der Behandlung zu einer aseptischen Knochennekrose des Hüftkopfes kommen (41).

2.8 Diagnostik

Eine schnelle Diagnosesicherung und eine kurze präoperative Liegezeit sind bei proximalen Femurfrakturen von entscheidender Bedeutung und haben großen Einfluss auf Komplikationen wie eine tiefe Venenthrombose, Embolien, Druckgeschwüre oder Pneumonien, senken aber nicht die Mortalität (149).

Daher sollte die Diagnostik möglichst innerhalb der ersten Stunde nach der Aufnahme in die Klinik abgeschlossen sein (6). Die Diagnose einer proximalen Femurfraktur erfordert eine gründliche körperliche Untersuchung und eine passende Bildgebung. Die körperliche Untersuchung sollte eine genaue Beurteilung der Schmerzen, Schwellungen, Deformitäten und Bewegungseinschränkungen umfassen (2). Dies beginnt mit einer vollständigen Untersuchung des Patienten, um ggf. Begleitverletzungen zu detektieren. Darüber hinaus muss eine vollständige neurovaskuläre Untersuchung der betroffenen Extremität durchgeführt werden (2).

Die Bildgebung umfasst in der Regel Röntgenaufnahmen, die eine zweidimensionale Beurteilung der Fraktur ermöglichen (57). Hierfür sollte jeweils ein Röntgenbild der betroffenen Hüfte im a.p.-Strahlengang oder eine Beckenübersichtsaufnahme sowie eine Darstellung des Hüftgelenkes im axialen Strahlengang angefertigt werden (57). In einigen Fällen erfolgt eine weiterführende Computer (CT)- oder Magnetresonanztomographie (MRT)-Untersuchung, um die Fraktur genauer zu beurteilen oder Begleitverletzungen auszuschließen (16). Eine CT-Untersuchung ist bei instabilen Frakturen oder bei Verdacht auf eine intraartikuläre Beteiligung ergänzend erforderlich (16). Die CT-Untersuchung hilft, das Frakturmuster besser zu klassifizieren oder eine subtile Frakturlinie abzugrenzen (16). Eine MRT-Untersuchung kann bei Verdacht auf eine Weichteilverletzung oder bei persistierender Klinik ohne sicheren Frakturachweis im Röntgen oder CT notwendig sein (16). Neben der klinischen und bildgebenden Untersuchung sollte auch eine laborchemische Diagnostik durchgeführt werden. Diese beinhaltet ein großes Blutbild sowie den Gerinnungsstatus und sollte je nach Alter und Begleiterkrankungen des Patienten erweitert werden (166).

2.9 Therapie

2.9.1 Konservative Therapie

Zunächst ist festzustellen, dass eine konservative Behandlung proximaler Femurfrakturen obsolet ist und nur in Ausnahmefällen, z. B. bei vorliegender ausgeprägter Malnutrition, Bronchopneumonie und manifestem Herzversagen, erwogen werden sollte (160). Bei dieser Kombination von Komorbiditäten ist die Wahrscheinlichkeit, die perioperative Phase zu überleben, deutlich vermindert (131). Die konservative Behandlung ist mit einem Risiko von Funktionseinbußen sowie Frakturdislokationen verbunden und wird eher bei vorgenannten Risikokandidaten empfohlen, die schmerzfrei sind und sich mobilisieren lassen (166). Als weiterer Nachteil gegenüber der operativen Versorgung geht die konservative Behandlung von proximalen Femurfrakturen mit einer höheren 30-Tage- und 1-Jahres-Mortalität einher (126). Bei einer konservativen Therapie von proximalen Femurfrakturen besteht vor allem auch das Risiko einer Dislokation (83). Dies kann insbesondere bei älteren Patienten und Personen mit Osteoporose auftreten, da ihre Knochen aufgrund von Alterung und Degeneration oft brüchiger sind und weniger Widerstandsfähigkeit gegenüber Gewichtsbelastungen aufweisen (83).

2.9.2 Operative Therapie

2.9.2.1 Hüftkopfhaltene Verfahren

Die Blutversorgung des Hüftkopfes spielt eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für oder gegen ein Behandlungsverfahren. Bei intrakapsulären Frakturen können Gefäße beschädigt werden, was zu einer avaskulären Nekrose des Hüftkopfes führen kann. Sechs Stunden nach dem Trauma-Ereignis nimmt der Druck in der Gelenkkapsel deutlich zu (103). Aufgrund der intrakapsulären Druckerhöhung und damit verbundenen Minderperfusion des Hüftkopfes ist eine kopferhaltende Osteosynthese mittels Notfall-eingriff notwendig und sollte innerhalb von sechs Stunden durchgeführt werden (103). Die Entscheidung für eine Osteosynthese oder einer Prothesenversorgung ist abhängig von der Frakturform und den Patientencharakteristika (116,166).

Sowohl die dynamische Hüftschraube (DHS) als auch eine Verschraubung mit kanülierten Schrauben repräsentieren anerkannte Osteosyntheseverfahren (1). Mehrere

Studien konnten zeigen, dass bei älteren Patienten mit dislozierten intrakapsulären, hüftgelenksnahen Frakturen die Prothesenversorgung der Osteosynthese in Bezug auf Schmerzen, postoperative Funktion und Komplikationen überlegen ist (30, 46, 166). Bei extrakapsulären Frakturen ist die Blutversorgung des Hüftkopfes nur selten beeinträchtigt, sodass die Osteosynthese die Behandlung der Wahl darstellt (1). Bei stabilen pertrochantären Frakturen vom AO-Typ A1 weisen sowohl intramedulläre Nägel als auch DHS gute postoperative Ergebnisse auf (1). Zudem scheint die DHS im Vergleich zur intramedullären Osteosynthese mit einem geringeren Blutverlusten und einer kürzeren Operationszeit einherzugehen (1).

Sowohl intramedulläre Nägel als auch DHS repräsentieren gute Optionen für die Fixierung instabiler pertrochantärer Frakturen vom AO-Typ A2 (1). Erstere werden jedoch mit besseren postoperativen Funktionswerten in Verbindung gebracht und daher bei AO-Typ-2-Frakturen von der American Academy of Orthopaedic Surgeons empfohlen (91). Subtrochantäre und umgekehrt schräge trochantäre (A3) Frakturen (sogenannte „reversed oblique fractures“) gestalten sich aufgrund ihrer Instabilität besonders anspruchsvoll in ihrer Versorgung (115). Diese Frakturmuster sind im Vergleich zu anderen hüftgelenksnahen Frakturen mit einer höheren Rate an Pseudarthrosen und sekundärem Osteosyntheseversagen verbunden (115). Bei subtrochantären Frakturen wird in der Regel eine intramedulläre Vorrichtung empfohlen, da diese eine geringere Rate an Pseudarthrosen aufweist als extramedulläre Kraftträger (39,124). Offene Repositionstechniken sollten zum Einsatz kommen, wenn eine adäquate geschlossene Reposition nicht erreicht werden kann (124).

2.9.2.2 Endoprothetische Versorgungen

Bei geriatrischen Patienten mit dislozierten Frakturen vom *Typ Garden III* und *IV* ist eine endoprothetische Versorgung indiziert (61). Die Prothesenversorgungen für dislozierte intrakapsuläre Frakturen kann entweder in Form eines vollständigen Hüftgelenkersatzes („total hip replacement“) mit Ersatz der Hüftpfanne oder mit einer sogenannten „Hemiendoprothese“ erfolgen (61). Bei Patienten mit geringer funktioneller Beanspruchung oder solchen, bei denen eine Teilbelastung nach der Operation nicht umgesetzt werden kann, wird die Prothesenversorgung als Primäreingriff auch bei nicht dislozierten intrakapsulären Hüftfrakturen bevorzugt (116,166). Durch die Prothesenversorgung wird durch Resektion des Hüftkopfes das Risiko einer avaskulären Nekrose beseitigt und damit die Rate der Revisionseingriffe verringert (116). Auch bei Patienten mit vorbestehender Arthrose ist eine Prothesenversorgung indiziert (116,166).

Allerdings ist auch die endoprothetische Versorgung geriatrischer Patienten mit dislozierten proximalen Femurfrakturen vom *Typ Garden III* und *IV* mit einigen Problemen und Risiken verbunden (116,166). Bereits der operative Eingriff birgt bei älteren und gebrechlichen Patienten ein erhöhtes Risiko für Komplikationen wie z. B. Infektionen, Blutungen, Thrombosen und Lungenarterienembolien (45). Darüber hinaus kann die Operation eine längere Erholungsphase und Rehabilitation erfordern, was für ältere Patienten eine potenziell große Belastung darstellt (45). Ein weiteres Risiko bei der endoprothetischen Versorgung dislozierter Frakturen liegt in der Möglichkeit einer Instabilität oder Lockerung der Implantate im Laufe der Zeit (152). Dies kann zu Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und einer erneuten Operation führen (152). Insbesondere bei Patienten mit Osteoporose oder anderen Knochenerkrankungen kann die Fixierung der Implantate eine Herausforderung darstellen (15). Eine im Vergleich zu jüngeren Patienten geringere Knochenqualität und -dichte beeinflusst zudem die Wahl des geeigneten Implantattyps und -designs (42). Eine schlechte Passform oder Positionierung der Implantate kann zu ungleichmäßiger Belastung, Instabilität und Lockerung führen (152).

2.9.2.3 Geschichte und Technik der dynamischen Hüftschraube

Der erste Entwurf eines dynamischen Implantates zur Stabilisierung von Schenkelhalsfrakturen geht auf Robert Danis aus dem Jahr 1934 zurück, wurde allerdings nie in die Praxis umgesetzt (29). Die erste klinisch erfolgreiche DHS wurde 1951 als „Pohl-sche Laschenschraube“ (**Abbildung 8**) von Ernst Pohl in Deutschland patentiert (120). Pohls Ziel war die Konstruktion eines Implantates, das eine stabile Frakturfixierung erreichen kann und eine frühzeitige Mobilisierung der Patienten ermöglichen sollte, um somit eine Grundlage zur Frakturheilung unter frühzeitige Mobilisation zu schaffen (35). Dieses Implantat bestand aus einer Seitenplatte mit zwei Löchern und einem Winkel zwischen Platte und Schaft von 135°. Das Patent wurde 1952 in den Vereinigten Staaten angemeldet. Volker Schumpelick veröffentlichte seine ersten Erfahrungen mit der Verwendung dieses Implantats 1953 in deutscher Sprache (137) und 1955 in der englischen Literatur (138). 1955 beschrieb Schumpelick (136) ein neues Implantat, die sogenannte „verbundene Doppelschraube“, die von Pohl für mediale Schenkelhalsfrakturen entwickelt wurde. Dieses System wurde 1956 in den Vereinigten Staaten patentiert (14).



Abbildung 7: Darstellung der Pohlischen Laschenschraube

Anm.: Diese Klinge ist sternförmig gestaltet und hält den spongiösen Hüftkopf. Zwischen der sternförmigen Klinge und der Lasche/Platte wird eine winkelstabile Verbindung hergestellt.

Quelle: Abbildung aus (66).

Die initiale Beschreibung einer intertrochantären Osteotomie zur Umwandlung von Scher- in Kompressionskräfte mittels horizontaler Frakturlinie stammt von Pauwels aus dem Jahr 1935 (118). Mueller modifizierte diese Osteotomie Ende der 1950er-Jahre, indem er das Konzept der Keilexzision einführte und eine Osteosynthese durch Verwendung einer angewinkelten Platte erreichte (110). Durch diese Modifikationen wurde nicht nur einer möglichen Pseudarthrose entgegengewirkt, sondern auch die Biomechanik der Hüfte wiederhergestellt, indem die Spitze des Trochanters auf die Höhe der Mitte des Hüftkopfes gebracht und der Abstand zwischen Hüftkopf und Femurachse normalisiert wird (100).

Im gleichen Zeitraum, entwickelte Pugh ein ähnliches um 120° abgewinkeltes Implantat mit einem dreifach geflanschten Nagel anstelle der Zugschraube (122). 1957 führten *Charnley et al.* eine dynamische 120°-Gleitschraube mit einer hochentwickelten Konstruktion für intrakapsuläre Schenkelhalsfrakturen ein (22). Auf der Grundlage der Pohlischen Laschenschraube entwickelte die Firma Richards Ende der 1950er-Jahre ein dynamisches Implantat, das später als klassische Richards-Hüftschraube benannt wurde und das einen Winkel zwischen Platte und Schaft von 135 und 150° aufwies. Clawson, ein Pionier auf diesem Gebiet, begann 1959 mit der Implantation und veröffentlichte 1964 die ersten Ergebnisse (26).

Die 1958 gegründete Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Association of the Study of Internal Fixation (AO/ASIF) bevorzugte jedoch für die Behandlung proximaler Femurfrakturen feste abgewinkelte Platten, was die weitere Entwicklung dynamischer Implantate in Europa bis in die 1970er Jahre verlangsamte (135). Ende der 1960er-Jahre geriet die chirurgische Behandlung von Trochanterfrakturen in eine Krise (31,34,134). Es wurde deutlich, dass die vorhandenen Implantate wie der Jewett-Nagel oder die AO 130° abgewinkelte Platte mit einer hohen Inzidenz von biomechanischem Versagen verbunden waren (31,34,134). Als Alternative wurde eine nicht anatomische Rekonstruktion vorgeschlagen. Diese basierte auf dem Prinzip der Resektion der Trümmerzone, der medialen Translation des Femurschafts und der Valgus-Reduktion des proximalen Fragments (31,34,134).

Ende der 1970er-Jahre wurde die kondylo-cephale Nagelung nach Ender weltweit populär (40,146). In der darauffolgenden Dekade zeigte sich, dass auch die Endernagelung mit einer hohen Komplikationsrate assoziiert war (37). Die Methode wurde daher nach und nach aufgegeben. Zu dieser Zeit kam vermehrt die DHS zum Einsatz und wurde gegen Ende der 1980er-Jahre zum Standardimplantat für die Behandlung von proximalen Femurfrakturen (37,132). Die AO/ASIF stand der DHS lange Zeit sehr reserviert gegenüber, da das Konstruktionsprinzip nicht ihren Grundsätzen entsprach (135). Erst unter dem Druck des Marktes wurden die Vorteile der DHS schließlich erkannt und die AO/ASIF führte eine eigene Konstruktion dieses Implantats ein, einschließlich der trochantären Stützplatte (127).

2.10 Komplikationen und Prognose

Die chirurgische Therapie einer proximalen Femurfraktur kann mit verschiedenen Komplikationen verbunden sein, die von der Art der durchgeführten Operation abhängen (45). Zu den häufigsten Komplikationen gehören Wundinfektionen, Hüftkopfnekrosen, Implantatversagen, tiefe Beinvenenthrombosen, Lungenarterienembolien, heterotope Ossifikationen, Frakturheilungsstörungen sowie neurologische und kardiovaskuläre Ereignisse (16). Eine Hüftkopfnekrose kann durch eine mangelhafte Blutversorgung aufgrund von Gefäßverletzungen während der Operation oder durch eine zu lange Ischämiezeit vor der Reposition entstehen (16). Implantatversagen kann durch eine mangelhafte Fixierung des Implantats oder durch eine Überlastung des Im-

plantats im postoperativen Verlauf verursacht werden (108). Bei der endoprothetischen Versorgung können Komplikationen wie eine Wundinfektion, aseptische Lockerung, periprothetische Fraktur, heterotope Ossifikation sowie Beinvenenthrombose und Lungenarterienembolie auftreten (45,108). Darüber hinaus kann es bei älteren Patienten während der Operation oder im postoperativen Verlauf zu kardiovaskulären und neurologischen Ereignissen kommen (45).

Früh- und Spätkomplikationen nach chirurgischer Therapie einer proximalen Femurfraktur sind von verschiedenen Faktoren abhängig, einschließlich der Art der Operation und den individuellen Gegebenheiten des Patienten (16,45,108). Die Komplikationen in Abhängigkeit von der Therapie für Früh- und Spätkomplikationen auf sind in **Tabelle 1** dargestellt (16,45,108).

Tabelle 1: Früh- und Spätkomplikationen bei der Behandlung proximaler Femurfrakturen

Komplikationsform	Verfahren	mögliche Komplikationen
Frühkomplikationen	Osteosynthese mit Schrauben	Fehlstellung oder Pseudoarthrose durch Verlagerung der Schrauben
		Schraubenlockerung/-bruch
		Infektion
		Cut.out/Cut-through
	DHS	Wundheilungsstörungen/Infektionen
		Beinverkürzung/-verlängerung durch Schraubendislokation
		Schambeinlockerung/-fraktur
		Osteosyntheseversagen
		Cut.out/Cut-through
	Endoprothetische Versorgung	Prothesenlockerung durch Infektion oder Positionierung
Thrombose/Lungenembolie		
Prothesenluxation		
Spätkomplikationen	Osteosynthese mit Schrauben	(Pseudo-)Arthrose
		Schraubenlockerung/-fraktur
		Schraubenmigration aufgrund Osteoporose (bei älteren Personen)
	DHS	Schraubenlockerung/Osteoporose
		heterotrophe Ossifikation
	Endoprothetische Versorgung ⁷	Infektionen, Lockerung, Bruch der Prothese
		periprothetische Frakturen, heterotrophe Ossifikation, Osteolysen, Gelenkinstabilität
		Dislokation der Prothese

Anm.: DHS: dynamische Hüftschraube

Die sekundäre Dislokation nach der Osteosynthese kann zu einer Pseudarthrose mit schwerwiegenden funktionellen Auswirkungen führen (148). *Slobagan et al.* berichteten über eine Dislokationsrate von 7 %, ohne zwischen einer unzureichenden initialen Reposition und einer sekundären Dislokation zu unterscheiden (148). Impaktion (8 %) und zervikale Varusdeformität (10 %), die zur Verkürzung beitragen, sind die häu-

figsten Folgen (163). Fixationsversagen und sekundäre Dislokationen treten häufig gemeinsam auf und werden unter dem Begriff „mechanisches Versagen“ zusammengefasst (163). Eine Meta-Analyse von 1.600 proximalen Femurfrakturen bei Patienten unter 60 Jahren ergab eine mechanische Versagensrate von 10 % (163). *Zhang et al.* fanden in 228 Fällen ein Versagen der Fixierung von 7 % und eine sekundäre Verschiebungsrate von 3 % (163). Distal zum Implantat gelegene Frakturen sind mit einer berichteten Häufigkeit von eher 3 % selten (69). Die Infektionsraten nach der chirurgischen Versorgung von proximalen Femurfrakturen liegen zwischen 0,6 und 3,6 %, variieren jedoch je nach Art der Operation (99). Das frühzeitige Erkennen und die Behandlung medizinischer Komplikationen ist unerlässlich, um die damit assoziierte Sterblichkeit und Morbidität zu verringern (166).

Insbesondere nach einer osteosynthetischen Frakturversorgung mittels DHS kann es zu Cut-out-Phänomenen, einer avaskulären Nekrose des Femurkopfes, einer Fraktur des DHS-Systems, einer Femurplattenfraktur sowie dem Fortschreiten der Coxarthrose kommen (67). Nach *Hrubina et al.* liegt die Rate dieser Komplikationen bei 6 % (22/367; 67). Ein Cut-out der Schraube aus dem Femurkopf ist definiert als „der Kollaps des Hals-Schaft-Winkels in Varus, der zur Extrusion oder zum sogenannten Cut-out der Schraube aus dem Femurkopf führt“ (47, S. 1). Das Herausschneiden der Schraube aus dem Femurkopf wird mit einer geschätzten Prävalenz von 1,9 bis 3,2 % als eine der schwerwiegendsten perioperativen Komplikationen nach erfolgter osteosynthetischer Versorgung von proximalen Femurfrakturen beschrieben (47). Die Perforation des Femurkopfes wird hingegen als Cut-through definiert und tritt bei etwa 1 bis 6 % der Fälle auf (38).

In einer kürzlich durchgeführten systematischen Übersichtsarbeit über den Einsatz von proximalen Femurendoprothesen bei nicht onkologischen Diagnosen verglichen *Korim et al.* die verfügbaren Daten aus 14 Studien mit insgesamt 356 Patienten (85). Bei einer variablen Nachbeobachtung wurden bei 102 Patienten Komplikationen festgestellt, darunter Dislokation (durchschnittlich 16 %) und Infektion (durchschnittlich 8 %). In der Studie von *Malkani et al.*, die 50 endoprothetische Prothesen für den proximalen Oberschenkel bei einer mittleren Nachbeobachtungszeit von elf Jahren umfasste, mussten vier Femurkomponenten und sieben Hüftgelenkkomponenten wegen aseptischer Lockerung revidiert werden (101). Diese Komplikation wurde jedoch bei *Al-Taki et al.* nicht beobachtet, die über die Ergebnisse von 63 Patienten berichteten und keine aseptischen Lockerungen nachweisen konnten (3).

Geriatrische Patienten machen die Mehrheit der Schenkelhalsfrakturen aus und sind in dieser Altersgruppe zudem mit einer hohen Sterblichkeit verbunden (54). Berichten zufolge liegt die 1-Jahres-Mortalität nach einer Hüftfraktur zwischen 18 % und 31 % (23). Begünstigende Faktoren sind ein Alter von über 85 Jahren, eine Einschätzung des körperlichen Zustands laut der American Society of Anesthesiologists von einem Grad 3 oder mehr, das männliche Geschlecht, eine Krebsvorgeschichte und die Entwicklung einer postoperativen Komplikation (23,157). Nur 40 % bis 60 % dieser Patientengruppe erlangen nach einer hüftgelenksnahen Fraktur ihre ursprüngliche Mobilität zurück und 20 % bis 60 % der zuvor unabhängigen Menschen benötigen bei mindestens einer Aktivität des täglichen Lebens Hilfe (36). Bei Patienten, die vor ihrer Verletzung in einem Pflegeheim lebten, ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass sie ihre originäre Funktionsfähigkeit wiedererlangen (36).

2.11 Prä- und perioperative Risikofaktoren

Pertrochantäre Femurfrakturen sind vor allem in geriatrischen Patientengruppen verbreitet. Mit zunehmendem Alter steigt in dieser Patientengruppe auch die Auftretenswahrscheinlichkeit von Komplikationen im Rahmen eines operativen Eingriffs (62). Neben einem fortgeschrittenen Lebensalter der Patienten üben dabei möglicherweise weitere Risikofaktoren einen Einfluss auf das Gelingen des Verfahrens aus. Hierunter fallen neben demografischen Aspekten wie dem Geschlecht der Patienten auch prä- und perioperative Faktoren wie die der Zeitpunkt des Eingriffs, der Ausbildungsgrad bzw. die Expertise des Operateurs sowie die zum Einsatz kommende Methodik. So besteht bei Patienten mit einem weiblichen Geschlecht eine erhöhte Notwendigkeit einer Bluttransfusion vor dem eigentlichen operativen Eingriff (75). Zudem verweisen verschiedene Studien darauf, dass die Arbeitsbelastung des behandelnden Fachpersonals unter anderem aufgrund langer Arbeitszeiten sowie Schicht- und Bereitschaftsdienst einen signifikanten Einfluss auf deren physische und psychische Funktionsfähigkeit ausüben kann (8, 155).

Ein wesentliches Konzept zur Beurteilung der DHS-Positionierung im Femurkopf ist das Konzept der Tip-Apex Distanz. Diese wurde erstmals 1995 von *Baumgaertner et al.* beschrieben (9). Zwei Jahre später hielt der Tip-Apex-Abstand als nützliche Methode zur Beschreibung der Schraubenposition Einzug in die Klinik (10). Der Tip-Apex-

Abstand ist die Summe des Abstands zwischen der Schraubenspitze und dem Scheitelpunkt des Femurkopfs in a.p.- und lateraler Ansicht in der Röntgenaufnahme (9). Die Tip-Apex-Distanz sollte laut *Baumgaertner et al.* weniger als 25 mm betragen, um ein Ausbrechen oder Versagen der DHS zu verhindern (9). Dies geschieht am häufigsten, wenn die Schraube zu anterior oder zu superior platziert wird (9,10). Es gibt derzeit noch nicht genügend Evidenz darüber, inwieweit sich der Tip-Apex-Abstand und die Frakturmorphologie auf die Revisionsrate auswirken.

2.12 Fragestellung und Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der Bestimmung von Risikofaktoren, die mit einer erhöhten Revisionsrate proximaler Femurfrakturen nach einer operativen Behandlung mit einer dynamischen Hüftschraube (DHS) einhergehen.

In der Arbeit werden hierzu die Auswirkungen des Tip-Apex-Abstands, der Frakturform sowie epidemiologische Faktoren auf die Notwendigkeit einer operativen Revision nach kopferhaltender Osteosynthese einer proximalen Femurfraktur mittels einer DHS analysiert.

3 Material und Methoden

3.1 Studienpopulation

In dieser Studie wurden retrospektiv alle Patienten mit proximalen Femurfrakturen eingeschlossen, die im Zeitraum 01.08.2012 bis zum 01.01.2021 an der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Eduardus-Krankenhaus Köln behandelt wurden und deren Daten im krankenhauseigenen klinischen Informationsprogramm (ORBIS) vorlagen.

Die Einschlusskriterien umfassten eine Osteosynthese mittels DHS nach einer proximalen Femurfraktur, eine AO-Klassifikation proximaler Femurfrakturen als pertrochantäre Frakturen (AO-Typ 31 A), Schenkelhalsfrakturen (AO-Typ 31 B) und subtrochantäre Frakturen sowie die Vollständigkeit der präoperativen radiologischen Untersuchungen und postoperativen Kontrollen im digitalen Radiologie-Archiv.

Ausschlusskriterien bildeten unvollständige Datensätze sowie nicht vorliegende radiologische Untersuchungen.

Eine Gruppenteilung der Patienten erfolgte auf Basis der Notwendigkeit eines Revisions Eingriffs (Revisionsgruppe vs. Nicht-Revisionsgruppe). Innerhalb dieser Untergruppen wurde eine weitere Unterteilung vorgenommen, ob es sich um per- und subtrochantäre (Gruppe Typ A) oder Schenkelhalsfrakturen (Gruppe Typ B) handelte.

Die Daten wurden anonymisiert erhoben und entsprechen den Richtlinien für retrospektive Forschungsvorhaben der Universität zu Köln.

3.2 Datenextraktion und Studienvariablen

Zur epidemiologischen Auswertung wurden das Alter und das Geschlecht aus dem klinischen Dokumentationssystem ORBIS extrahiert.

Der Nachbehandlungszeitraum von der Primäroperation bis zur ggf. notwendigen Revision wurde in Monaten erfasst und dokumentiert, ob die Operation in der regulären Arbeitszeit oder im Bereitschaftsdienst erfolgte.

Aus dem Entlassungsbericht der stationären Behandlung wurde das Nachbehandlungskonzept hinsichtlich der Frage, ob eine Voll- oder Teilbelastung des operierten Beines empfohlen wurde, evaluiert.

Sofern Patienten im weiteren Verlauf operativ revidiert werden mussten, wurden die Zeitspanne zwischen der primären Versorgung bis zur Revision, die Indikation für den Eingriff, die Art der Revision sowie das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Revision ermittelt.

Als „Revision“ wurde in dieser Untersuchung eine erneute operative Versorgung aufgrund eines Cut-outs, Cut-throughs, einer Hüftkopfnekrose oder eines primären Operationsfehlers definiert. Elektive Entfernungen des Osteosynthesematerials ohne klinische Symptomatik, die auf Patientenwunsch durchgeführt wurden, wurden nicht als Revision gewertet.

Potenziell prädiktive Risikofaktoren für eine Revisionsoperation umfassten neben Alter, Geschlecht, Zeitpunkt des operativen Eingriffs sowie Dauer von Aufnahmen bis zur Operation, den Primäreingriff während der regulären Arbeitszeit oder im Bereitschaftsdienst, eine Aufteilung der Qualifikation und Erfahrung des Operateurs in Fach- (spezifiziert nach Facharzt, Oberarzt und Chefarzt) und Assistenzarzt, den Tip-Apex-Abstand sowie das Vorliegen einer Nachbehandlung.

3.3 Radiologische Messungen

Eine radiologische Analyse erfolgte anhand der präoperativen und ersten postoperativen Röntgenbilder im a.p.- sowie im axialen Strahlengang. Die Identifikation und Einteilung der Frakturen wurden mittels aktueller AO-Klassifikation vorgenommen (105). Zur genormten Bestimmung des Tip-Apex-Abstands kam das Programm mediCAD® (mediCAD Hectec GmbH, Altdorf/Landshut, Deutschland) zum Einsatz.

Die Skalierung erfolgte über die Längenmessung des Programmes zur Bestimmung des bekannten Durchmessers der Schenkelhalsschraube im axialen und a.p.-Strahlengang. Durch einen Dreisatz konnte der Tip-Apex-Abstand in beiden vorgenannten Ebenen erfasst werden. In **Abbildung 10** ist beispielhaft die Bestimmung des Tip-Apex Abstandes anhand eines in der Studie eingeschlossenen Patienten dargestellt.

Über die von *Baumgaertner et. al.* beschriebene Formel erfolgt dann die Berechnung des realen Tip-Apex-Abstands (**Abbildung 9**). Der reale Durchmesser der Schenkelhalsschraube wurde mittels Schieblehre manuell auf 8 mm bestimmt. Bei allen Patienten wurde die DHS des Fa. Königssee (Königssee Implantate GmbH, Allendorf, Deutschland) eingesetzt.

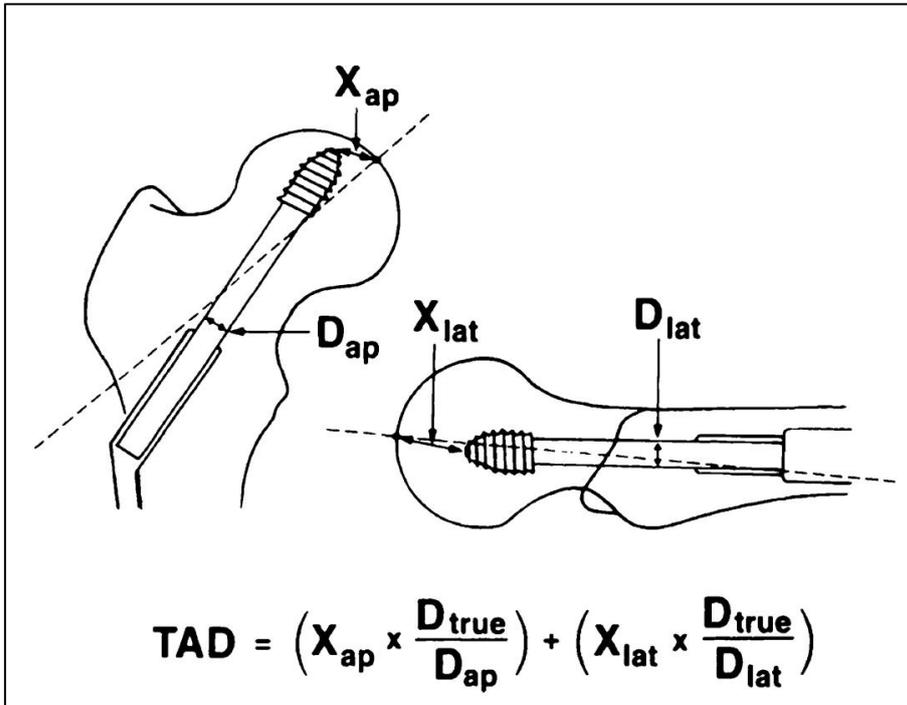


Abbildung 8: Illustration des Tip-Apex-Abstands mit der entsprechenden Gleichung zur Korrektur der Röntgenvergrößerung

Anm.: X_{ap} und X_{lat} beziehen sich auf den gemessenen Abstand, wie er auf den a.p.- bzw. lateralen Röntgenaufnahmen dargestellt ist. D_{true} repräsentiert den tatsächlichen Durchmesser der Zugschraube, D_{ap} und D_{lat} den gemessenen Durchmesser der Schraube, wie er auf den a.p.- und lateralen Röntgenaufnahmen dargestellt ist.

Quelle: Abbildung aus (53).

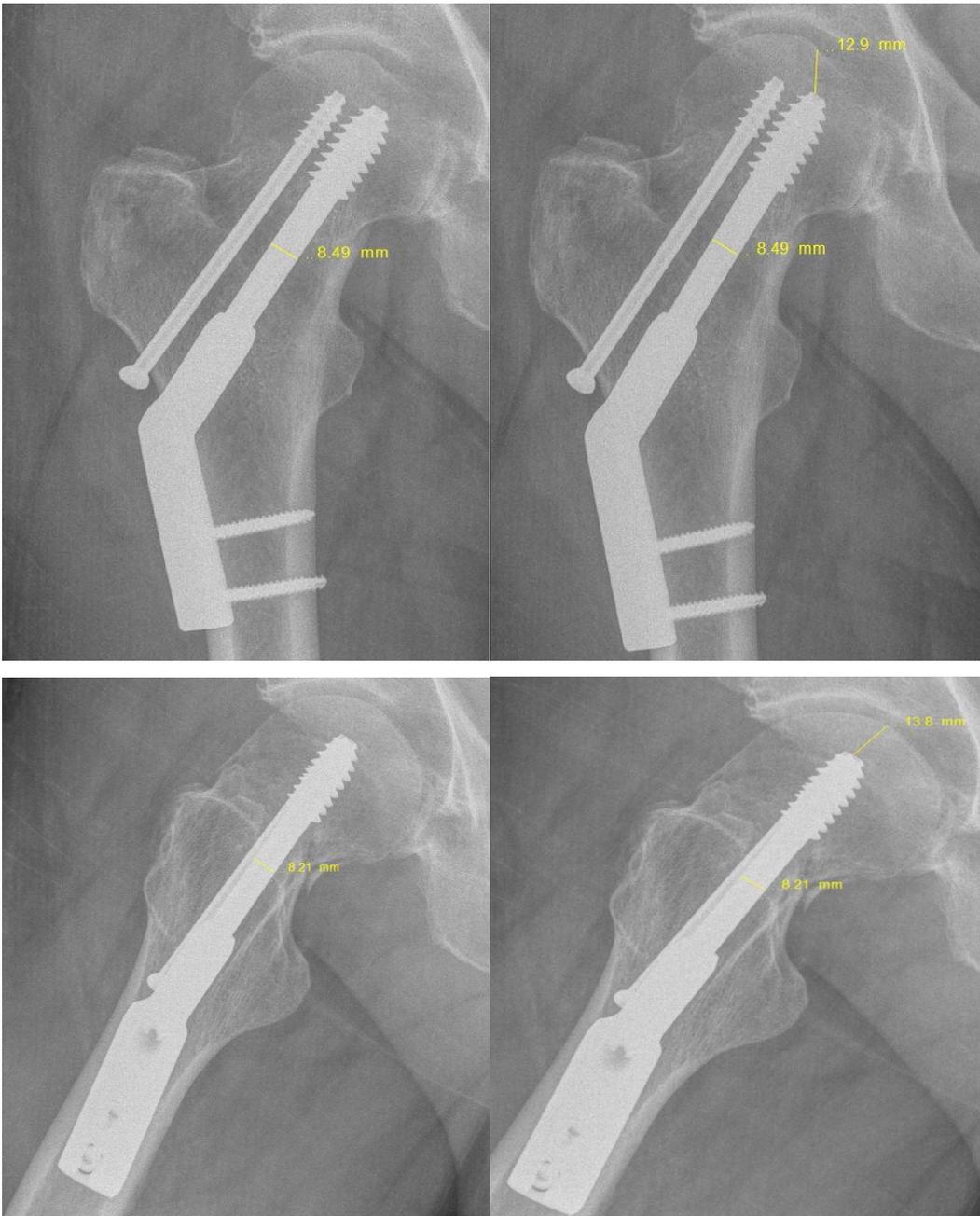


Abbildung 9: Bestimmung des Tip-Apex Abstand

3.4 Statistische Datenanalyse

Für Gruppenunterscheide hinsichtlich metrischer Variablen wurde der t-Test für unabhängige Stichproben herangezogen, für dichotome bzw. kategorische Variablen kam der Chi-Quadrat-Test zum Einsatz. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte nach Schiefe und Kurtosis. Die Analyse des Einflusses prädiktiver Risikofaktoren auf die Notwendigkeit einer Revisionsoperation erfolgte mittels logistischer Regression. Die Revisionsnotwendigkeit wurde als dichotome abhängige Variable definiert. Faktoren

inkludierten das Alter und Geschlecht der Patienten, den Zeitraum von der Aufnahme bis zum operativen Eingriff, den Zeitpunkt der Operation, die Qualifikation des Operateurs, den Tip-Apex-Abstand sowie das Vorliegen einer Nachbehandlung. Ermittelt wurden hierbei β -Koeffizienten, Exp(B)-Werte, Signifikanzniveaus sowie das 95%-Konfidenzintervall der Exp(B)-Werte.

Die Suche nach einem geeigneten Cut-off-Wert für den Tip-Apex-Abstand erfolgte mittels statistischer Kennwerte (Mittelwert [M], Standardabweichung [SD], Median [Me], Minimum [Min], Maximum [Max]) und einer *Receiver-operating-characteristics* (ROC)-Kurve. Hierfür wurde neben dem gesamten Patientenkollektiv auch genderspezifischen und frakturspezifische Unterschiede analysiert.

Um genauer auf die Unterschiede hinsichtlich der Frakturentitäten (A- und B-Frakturen nach AO-Klassifikation) einzugehen, erfolgte die Aufteilung des Kollektivs in zwei Gruppen (Gruppe Typ A vs. Gruppe Typ B). Um die Einflüsse der einzelnen Prädiktoren auf den Parameter Revision in Abhängigkeit von der Frakturentität zu untersuchen, wurde jeweils für die Gruppe Typ A und Typ B ein gesondertes logistisches Regressionsmodell erstellt. Das Signifikanzniveau dieser Studie wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik Gesamtkollektiv

4.1.1 Demografie

Insgesamt konnten 167 Patienten in die Studie eingeschlossen werden, hierbei handelte es sich um 97 (58,1 %) Frauen und 79 (41,9 %) Männer (**Tabelle 2**). Das Alter der Patienten lag zum Zeitpunkt des Primäreingriffs zwischen 41 und 100 Jahren mit einem Mittelwert von 71,65 (SD: 13,78).

Tabelle 2: Übersicht Demografie und Klinik Gesamtkollektiv

	Gesamt
Alter (Mittlw \pm SD; Min/Max)	71,65 \pm 13,78; 41/100
Geschlecht (w/m; % w)	97/79; 58,1
Follow-up in Mo. (Mittlw \pm SD; Min/Max)	46,24 \pm 29,18; <1/101
Operationsseite (l/r)	80/87
Zeit Aufnahme bis OP in h:min (Mittlw \pm SD; Min/Max)	07:22 \pm 06:24; 00:55/27:19
Qualifikation Operateur (FA/AA)	120/47
Zeitpunkt Operation (RD/BD)	79/88
Teil-/Vollbelastung (%)	22,16/77,84
Tip-Apex-Abstand in mm (Mittlw \pm SD; Min/Max)	22,71 \pm 8,71
Mortalität (%)	7,19

Anm.: Mittlw = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Min/Max = Minimum/Maximum; w = weiblich; m = männlich; l = links; r = rechts; h:min = Stunden:Minuten; FA = Facharzt; AA = Assistenzarzt; RD/BD = Regeldienst/Bereitschaftsdienst

4.1.2 Klinik

4.1.2.1 Follow-up

Das mittlere Follow-up-Intervall betrug 46,24 Monate (SD: 29,18). Die kürzeste Nachbeobachtungszeit lag unter einem Monat, während das längste Follow-up 101 Monate betrug.

4.1.2.2 Operationsseite

Hinsichtlich der operierten Seite ergab sich folgende Verteilung: bei 87 Patienten (52,10 %) lag eine Verletzung der rechten Seite und bei 80 Patienten (47,90 %) eine Verletzung der linken Seite vor.

4.1.2.3 Zeit von Aufnahme bis zur Operation

Von der Diagnosestellung (Zeitpunkt des ersten Röntgenbildes) bis zum Beginn der Operation (Zeitpunkt Schnitt) vergingen im Mittel sieben Stunden und 22 Minuten (SD: 06:24). Im Gesamtkollektiv betrug der kürzeste Zeitraum von der Aufnahme bis zu Beginn der Operation 55 Minuten, während der längste bei 27 Stunden und 19 Minuten lag.

4.1.2.4 Qualifikation des Operateurs

Insgesamt wurden 47 Patienten von einem Assistenzarzt und 120 Patienten von einem Facharzt operiert. Dies entspricht einer relativen Verteilung von 28,14 % zu 71,86 %.

4.1.2.5 Zeitpunkt der Operation

Von dem hier vorgestellten Patientenkollektiv wurden 79 Patienten (47,31 %) während der regulären Arbeitszeit operiert. Bei 88 Patienten (52,69 %) fiel der Beginn der Operation in den Bereitschaftsdienst.

4.1.2.6 Nachbehandlung

Im Rahmen des Nachbehandlungskonzepts des gesamten Patientenkollektivs wurden 37 (22,16 %) Patienten mit einer sechswöchigen Teilbelastung mobilisiert, wohingegen bei 130 (77,84 %) eine schmerzorientierte Vollbelastung freigegeben wurde.

4.1.2.7 Tip-Apex-Abstand

Der Mittelwert des Tip-Apex-Abstands bezogen auf das Gesamtkollektiv lag im Mittel bei 22,71 mm (SD: 8,71).

4.1.2.8 Mortalität

Während des gesamten Follow-up verstarben 12 (7,19 %) Patienten.

4.1.3 AO-Klassifikation

50 Patienten (29,94 %) erlitten eine proximale Femurfraktur vom Typ A der AO-Klassifikation. Hiervon wurden 29 (17,37 %) Frakturen als A1, 18 (10,78 %) Frakturen als A2 und 3 (1,80 %) Frakturen als A3 klassifiziert. 117 (70,06 %) der Patienten präsentierten eine nach AO-Klassifikation bezeichnete B-Fraktur. Hier war die häufigste Frakturform die B2 Fraktur mit 85 (50,90 %) gefolgt von der B1 Fraktur mit 30 (17,96 %) und dann der B3 Fraktur 2 (1,20 %). Tabelle 3 präsentiert die Frakturverteilung im Gesamtkollektiv gemäß der AO- Klassifikation.

Tabelle 3: AO-Klassifikation Gesamtkollektiv

AO-Klassifikation	n (%)
A-Frakturen	50 (29,94)
A1	29 (17,37)
A2	18 (10,78)
A3	3 (1,80)
B-Frakturen	117 (70,06)
B1	30 (17,96)
B2	85 (50,90)
B3	2 (1,20)

4.1.4 Operative Revisionen

Von allen eingeschlossenen 167 Patienten wurden im weiteren Verlauf 32 (19,16 %) operativ revidiert (**Tabelle 4**). Ursächlich für eine Revision war in 13 Fällen (40,63 %) ein Cut-out. Ein Cut-through lag bei 5 (15,63 %) vor. Eine Hüftkopfnekrose war bei 7 (21,88 %) und eine sekundäre Dislokation bei 5 (15,63 %) ausschlaggebend für eine Revision. Ein primärer Operationsfehler lag bei 2 (6,25 %) vor.

Tabelle 4: Übersicht Demografie und Klinik in Relation zur Revisionsbedürftigkeit

	Revision	keine Revision
N	32	135
Alter (M ± SD; Min/Max)	74,31 ± 13,34; 53/99	71,01 ± 13,85
Geschlecht (w/m; % w)	22/10; 68,75	75/60; 55,56
Zeit Aufnahme–Operation in hh:min (M ± SD; Min/Max)	06.28 ± 06:07; 01:08/23:34	07:34 ± 06:28; 00:55/27:19
Qualifikation Operateur (FA/kFA)	11/21	36/99
Zeitpunkt Operation (RD/BD)	13/19	66/69
Teil-/Vollbelastung (%)	18,75/81,25	22,96/77,04
Mortalität (%)	3,13	8,15

Anm.: M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Min/Max = Minimum/Maximum; w = weiblich; m = männlich; hh:min = Stunden:Minuten; FA = Facharzt; kFA = Assistenzarzt; RD/BD = Regeldienst/Bereitstellungsdienst

4.2 Deskriptive Statistik in Abhängigkeit zur Revisionsbedürftigkeit

4.2.1 Demografie

Bei den Patienten, die einer operativen Revision unterzogen wurden, lag das mittlere Alter bei 74,31 Jahren (SD: 13,34). Der jüngste Patient, der revidiert wurde, war zum Zeitpunkt der Revisions-OP 53 Jahre alt, während der älteste Patient 99 Jahre alt war. Die Gruppe der Patienten ohne Revision war im Mittel mit 71,01 Jahren (SD: 13,85) etwas jünger als die Gruppe der Revidierten. Die Gruppe der Patienten, die sich einem Revisionseingriff unterziehen mussten, bestand aus 22 Frauen und 10 Männern. Die Gruppe der Patienten, die nicht nochmalig operiert wurden, bestand aus 75 Frauen und 60 Männern. Frauen waren zum Zeitpunkt der primären Operation im Mittel 74,41 Jahre alt (SD: 12,55), während das Alter der Männer im Mittel 67,81 Jahre (SD: 14,55) betrug.

4.2.2 Klinik

4.2.2.1 Zeit von der Aufnahme bis zur Operation

In der Gruppe der Patienten, die nicht revidiert werden mussten, lag diese Zeit im Mittel bei sieben Stunden und 34 Minuten (SD: 06:28). In dieser Gruppe lag der rascheste

Operationsbeginn bei 55 Minuten, während der längste Zeitraum 27 Stunden und 19 Minuten betrug. Die Patienten, die im weiteren Verlauf operativ revidiert wurden, wiesen eine mittlere Zeitspanne bis zur Operation von 06:28 Stunden (SD: 06:07) auf. Der kürzeste Zeitraum betrug eine Stunde und acht Minuten, der längste 23 Stunden und 34 Minuten.

4.2.2.2 Qualifikation des Operateurs

Die Gruppe der Patienten, die einer operativen Revision bedurften, wurden bei dem Primäreingriff in 34,36 % (n = 11) der Fälle von einem Assistenzarzt und in 65,63 % (n = 21) der Fälle von einem Facharzt operiert. Dies entspricht einem Verhältnis Assistenzarzt/Facharzt von 11/21. In der Gruppe der Patienten, die nicht revidiert wurden, betrug das Verhältnis 36/99, d.h. 26,67 % (n = 36) der Patienten wurden von einem Assistenzarzt und 73,33 % (n = 99) von einem Facharzt operiert.

4.2.2.3 Zeitpunkt der Operation

Von den Patienten, bei denen im weiteren Verlauf eine operative Revision notwendig wurde, wurden 13 (40,63 %) in der Regelarbeitszeit und 19 (59,38 %) im Bereitschaftsdienst operiert. Bei den Patienten ohne Revision lag das Verhältnis bei 66 (48,89 %) in der Regelarbeitszeit zu 69 (51,11 %) während des Bereitschaftsdienstes.

4.2.2.4 Nachbehandlung

In der Gruppe der Revisionen lag das Verhältnis der Patienten, die mit einer Teilbelastung mobilisiert wurden, bei 6/26 im Vergleich zu denen, die mit einer Vollbelastung mobilisiert wurden. Dies bedeutet, dass 18,75% postoperativ eine Teilbelastung und 81,25% eine Vollbelastung verordnet wurde.

Bei den Patienten ohne Revision im weiteren Verlauf wurde nach der primären Operation in 22,96% (n=31) und bei 77,04% (n=104) eine Vollbelastung angeordnet..

4.2.2.5 Mortalität

In der Gruppe der Patienten, die sich einer operativen Revision unterziehen mussten, verstarb ein Patienten (3,13 %) wohingegen im restlichen Kollektiv 11 (8,15 %) Patienten verstarben.

4.2.3 AO-Klassifikation

Innerhalb der Revisionsgruppe lagen 8 Frakturen des Typs A (25,00 %) und 24 Frakturen des Typs B (75,00 %) vor (**Tabelle 5**).

Bei den A-Frakturen, die im weiteren Verlauf revidiert wurden, konnten 6 (18,75 %) A1-Frakturen und 2 (6,25 %) A2-Frakturen identifiziert werden. Keine der im Kollektiv vorhandenen A3-Frakturen wurde im Verlauf operativ revidiert.

B1-Frakturen mussten in 7 Fällen (21,88 %) revidiert werden. B2-Frakturen wurden bei 17 (53,13 %) Patienten revidiert. Keine der B3-Frakturen musste revidiert werden. In der Gruppe der Patienten, die nicht revidiert werden mussten, erlitten 42 (31,11 %) Patienten eine A-Fraktur. Hiervon lag bei 23 (17,04 %) eine A1 Fraktur, bei 16 (11,85 %) eine A2 Fraktur und bei 3 (2,22 %) Patienten eine A3-Fraktur vor. B-Frakturen in der Gruppe der Patienten, die nicht revidiert wurden, lagen bei 93 (68,89 %) Patienten vor. Die Verteilung erfolgte auf 23 (17,04 %) B1-Frakturen, 68 (50,37 %) B2-Frakturen und 2 (1,48 %) B3-Frakturen.

Tabelle 5: AO-Klassifikation in Relation zur Revisionsbedürftigkeit

AO-Klassifikation	Revision (n; %)	keine Revision (n; %)
A-Frakturen	8 (25,00)	42 (31,11 %)
A1	6 (18,75)	23 (17,04)
A2	2 (6,25)	16 (11,85)
A3	-	3 (2,22)
B-Frakturen	24 (75,00)	93 (68,89)
B1	7 (21,88)	23 (17,04)
B2	17 (53,13)	68 (50,37)
B3	-	2 (1,48)

4.3 Gruppenvergleich Revisionsbedürftigkeit in Abhängigkeit des AO-Typs

4.3.1 Demografie

In der Gruppe der pertrochantären Frakturen (Typ 31 A) betrug das mittlere Alter der Patienten, die sich einer Revision unterziehen mussten, 80,13 Jahre (SD: 10,29), das derjenigen ohne Revision 77,43 Jahre (SD: 13,49).

In der Gruppe der Schenkelhalsfrakturen (Typ B) lag das mittlere Alter der Patienten mit Revision bei 72,38 Jahre (SD: 13,86), für Patienten ohne Revision 68,12 Jahre (SD: 13,08).

In Gruppe der pertrochantären Frakturen mussten sich 8 Frauen und keine Männer einer Revision unterziehen. In Gruppe der Schenkelhalsfrakturen waren es 14 Frauen und 10 Männer, die eine Revision benötigten.

Für das Alter der revidierten und nicht revidierten Fälle konnte weder bei den pertrochantären noch den Schenkelhalsfrakturen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Es lag ein signifikanter Geschlechtsunterschied in Gruppe Typ A vor ($\chi^2 = 4,91$, $p = 0,027$; Tabelle 6). Im hier untersuchten Kollektiv waren die Frauen bei den Frakturen von Typ A signifikant häufiger vertreten als die Männer.

Tabelle 6: Gruppenunterschiede Revisionsbedürftigkeit in Abhängigkeit der AO-Klassifikation

AO	Variable	Revision	keine Revision	t-/ χ^2 -Statistik	p-Wert
Typ A	Alter (M \pm SD)	80,13 \pm 10,29	77,43 \pm 13,49	-0,54	0,595
	Geschlecht (w/m)	8/0	25/17	4,91	0,027
	Zeit Aufnahme-OP in hh:min (M \pm SD)	06:52 \pm 05:55	07:27 \pm 06:27	0,93	0,809
	OP-Zeitpunkt (RD/BD)	4/4	17/25	0,25	0,617
	Qualifikation Operateur (FA/AA)	7/1	33/9	0,34	0,563
	Voll-/Teilbelastung	7/1	32/10	0,50	0,479
	Tip-Apex-Abstand (M \pm SD)	22,08 \pm 9,36	26,80 \pm 8,68	1,39	0,171
Typ B	Alter (M \pm SD)	72,38 \pm 13,86	68,12 \pm 13,08	-1,41	0,163
	Geschlecht (w/m)	14/10	50/43	0,16	0,688
	Zeit Aufnahme-OP in hh:min (M \pm SD)	06:21 \pm 06:18	07:37 \pm 06:31	0,86	0,389
	OP-Zeitpunkt (RD/BD)	9/15	49/44	1,76	0,185
	Qualifikation Operateur (FA/AA)	14/10	66/27	1,41	0,235
	Voll-/Teilbelastung	19/5	72/21	0,34	0,854
	Tip-Apex-Abstand (M \pm SD)	25,30 \pm 11,63	20,25 \pm 6,89	-2,04	0,051

Anm.: signifikante Gruppenvergleiche in Fettdruck; AO: AO-Klassifikation; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Min/Max = Minimum/Maximum; w = weiblich; m = männlich; hh:min = Stunden:Minuten; FA = Facharzt; AA = Assistenzarzt; RD/BD = Regeldienst/Bereitschaftsdienst; OP: Operation.

4.3.2 Klinik

Es lagen keine signifikanten Gruppenunterschiede für Typ-A- und Typ-B-Frakturen hinsichtlich Zeit von der Aufnahme bis zur Operation, Qualifikation des Operateurs, Zeitpunkt der Operation oder Nachbehandlung vor.

4.3.3 Tip-Apex-Abstand

In der Gruppe der Frakturen vom AO-Typ A lag der Tip-Apex-Abstand der Patienten, welche revidiert werden mussten, bei 22,08 mm (SD: 9,36). Die Patienten dieser Gruppe, die nicht operativ revidiert wurden, wiesen einen Tip-Apex-Abstand von 26,80 mm (SD: 8,68) auf.

Bei den Frakturen vom AO-Typ B betrug der Tip-Apex-Abstand in der Gruppe der revidierten Patienten im Mittel 25,30 mm (SD: 11,63), während die Gruppe ohne Revision einen Mittelwert von 20,25 mm (SD: 6,89) aufwies ($t[27] = -2,04$, $p = 0,051$).

4.4 Regressionsmodell zur Evaluation prädiktiver Faktoren

Für Frakturen vom AO-Typ A ergab sich im Regressionsmodell kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den Prädiktorvariablen und der Revisionsbedürftigkeit (**Tabelle 7**).

Für Frakturen vom AO-Typ B zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Tip-Apex-Abstand und der Revisionsbedürftigkeit (Odd's Ratio/Exp(B) = 1,087; $p = 0,005$).

Daraus folgt, dass ab einem Tip-Apex-Abstand von 15,62 mm, jede Vergrößerung des Tip-Apex-Abstandes um einen weiteren Millimeter mit einer Erhöhung des Risikos für eine operative Revision von 8,7% einhergeht.

Tabelle 7: Logistische Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses der Studienvariablen auf das Auftreten einer Revision.

AV: Revisionsbedürftigkeit		B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % CI Exp(B)	
AO	Lower							Upper	
Typ A	Tip-Apex-Abstand	-0,01	0,07	0,03	1	0,857	0,99	0,87	1,12
	Geschlecht	-20,58	9.402,31	0,00	1	0,998	0,00	0,00	
	Alter	-0,03	0,04	0,49	1	0,485	0,97	0,89	1,06
	Zeit Aufnahme-OP	0,00	0,00	0,00	1	0,972	1,00	1,00	1,00
	OP-Zeitpunkt	-0,78	1,23	0,41	1	0,524	0,46	0,04	5,06
	Operateur	0,82	1,29	0,41	1	0,522	2,28	0,18	28,40
	Voll-/Teilbelastung	-1,22	1,25	0,95	1	0,331	0,30	0,03	3,44
	Konstante	1,60	3,77	0,18	1	0,671	4,94		
Typ B	Tip-Apex-Abstand	0,08	0,03	7,83	1	0,005	1,09	1,03	1,15
	Geschlecht	-0,48	0,52	0,83	1	0,362	0,62	0,22	1,73
	Alter	0,03	0,02	2,25	1	0,133	1,03	0,99	1,08
	Zeit Aufnahme-OP	0,00	0,00	0,07	1	0,794	1,00	1,00	1,00
	OP-Zeitpunkt	0,81	0,59	1,90	1	0,168	2,24	0,71	7,06
	Operateur	-0,93	0,54	2,95	1	0,086	0,40	0,14	1,14
	Voll-/Teilbelastung	0,00	0,66	0,00	1	0,997	1,00	0,28	3,64
	Konstante	-4,98	1,87	7,07	1	0,008	0,01		

Anm.: signifikante Prädiktoren in Fettdruck; AV: abhängige Variable; AO: AO-Klassifikation; OP: Operation; B: Regressionskoeffizient; SE: Standardfehler; df: Freiheitsgrade; Sign.: Signifikanzniveau; Exp(B): Odd's Ratio; CI: Konfidenzintervall.

4.5 Cut-off-Wert Tip-Apex-Abstand

Die Evaluation eines geeigneten Cut-off-Wertes für den Tip-Apex-Abstand erfolgte getrennt nach Geschlecht. Hier zeigte sich ein signifikantes Ergebnis für männliche Probanden in der Gruppe Typ B mit einer *Area Under the Curve* (AUC) von 0,70 ($p = 0,0005$). Bei männlichen Probanden war bis zu einem Tip-Apex-Abstand von 15,62 mm mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 79,1 % keine Revision erforderlich (Abbildung 10). Die Steigerung des Tip-Apex-Abstands auf 19,72 mm resultierte in einer Revision mit einer Sensitivität von 90 % und einer Spezifität von 55,5 %.

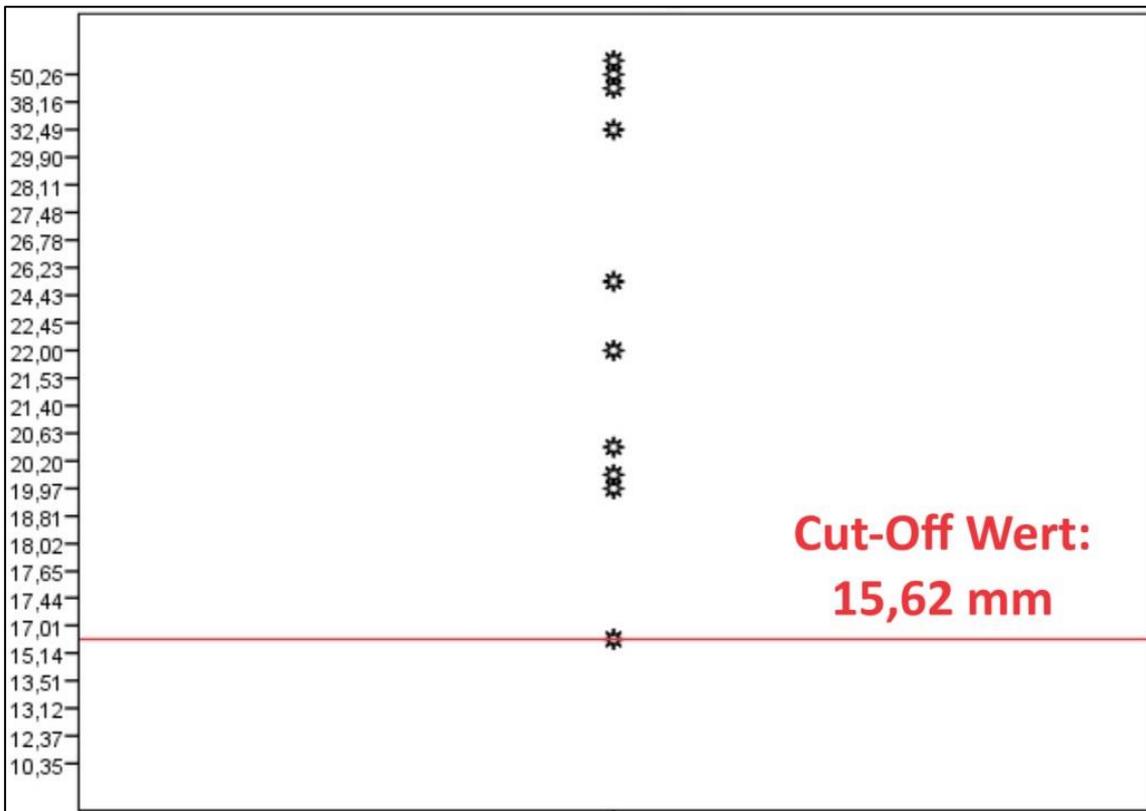


Abbildung 10: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Tip-Apex-Abstand und der Revisionsbedürftigkeit für männliche Probanden mit einer nach AO Typ B Fraktur

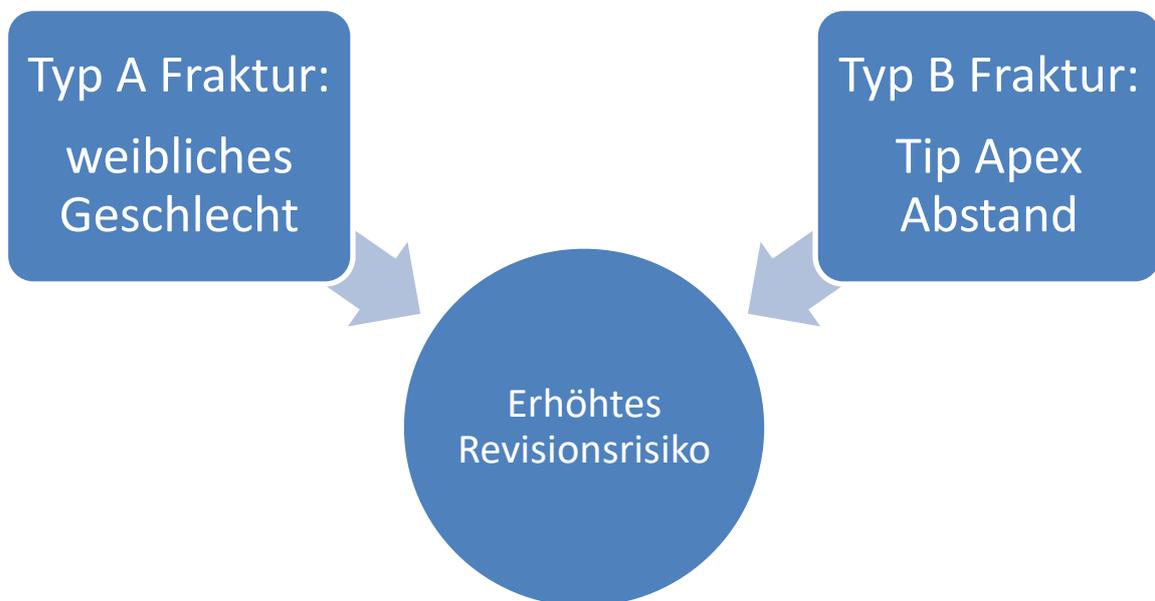


Abbildung 11: Frakturspezifische Risikofaktoren auf die Revisionsbedürftigkeit

5 Diskussion

Angesichts der zunehmenden Alterung der Bevölkerung und der in absehbarer Zukunft begrenzten Ressourcen im Gesundheitswesen wird es aus sozioökonomischer und ethischer Sicht wichtiger, Wege zur Vermeidung von Komplikationen bei der Behandlung von hüftgelenksnahen Frakturen zu finden (65).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand in der Identifikation prädiktiver Einflussfaktoren für eine Revisionsbedürftigkeit nach operativer Behandlung einer proximalen Femurfraktur mit einer dynamischen Hüftschraube (DHS). Hierdurch könnte langfristig eine Verminderung der Revisionsrate erreicht werden, was die Patientensicherheit deutlich erhöhen und sozioökonomisch eine Entlastung des Gesundheitssystems bedeuten würde.

Die Analyse hinsichtlich der prädiktiven Risikofaktoren erfolgte getrennt nach Typ-A- und Typ-B-Frakturen der AO-Klassifikation, um den unterschiedlichen Frakturentitäten Rechnung zu tragen. Neben allgemeinen demografischen Faktoren wie Alter und Geschlecht der Patienten wurden auch die prä- und perioperativen Aspekte wie der Zeitraum von der Aufnahme bis zur Operation, der Operationszeitpunkt, das Nachbehandlungskonzept, die Expertise des Operateurs sowie der Tip-Apex-Abstand, berücksichtigt. Für den Tip- Apex- Abstand wurde darüber hinaus ein Maximalabstand in Form eines Cut-off-Wertes evaluiert, jenseits dessen es zu einem Versagen der DHS und entsprechender Revisionsbedürftigkeit kommen kann.

In diese Untersuchung wurden retrospektiv alle Patienten eingeschlossen, bei denen eine Osteosynthese mittels DHS nach einer proximalen Femurfraktur im Zeitraum vom 01.08.2012 bis zum 01.01.2021 durchgeführt wurde.

Wir konnten zeigen, dass für unterschiedliche Frakturentitäten andere Risikofaktoren eine Rolle spielen. So stellt bei den Frakturen vom AO Typ A das weibliche Geschlecht einen signifikanten Risikofaktor dar, während bei Frakturen vom AO Typ B der Tip-Apex- Abstand als Risikofaktor für das Auftreten einer Revision identifiziert wurde.

5.1 Tip-Apex-Abstand als prädiktiver Faktor für die Revisionsbedürftigkeit

Baumgaertner et al (9) untersuchten erstmalig 1995 den Einflussfaktor der Lage der Zugschraube nach osteosynthetischer Versorgung pertrochantärer Frakturen mittels dynamischer Hüftschraube. Zur einheitlichen Untersuchung der Lage der Zugschraube im Hüftkopf entwickelte er die Bestimmung des Tip-Apex-Abstandes (siehe Abbildung 9). Sein Kollektiv bestand aus 198 pertrochantären Femurfrakturen, von denen 193 in die Auswertung aufgenommen wurden. Der durchschnittliche Nachbeobachtungszeitraum betrug 13 Monate. In dieser Zeit kam es bei 19 Patienten zu einem Osteosyntheseversagen, wovon 16 einem Cut-Out zu Grunde lagen. Der Tip-Apex-Abstand in der Gruppe, die kein Osteosyntheseversagen erlitt, betrug der durchschnittliche Tip-Apex-Abstand 24 mm. Signifikant höher ($p=0,0001$) fiel dieser in der Gruppe aus, die ein Osteosyntheseversagen erlitten. Hier betrug der durchschnittliche Tip-Apex-Abstand 38mm.

Unabhängig der anderen Risikofaktoren zeigten *Baumgaertner et al.* (9) in dieser Studie, dass bei keiner der 120 Frakturen, bei denen der Tip-Apex-Abstand kleiner als 25 mm war, ein Osteosyntheseversagen erlitt und postulierten somit einen Cut-Off Wert für den Tip-Apex-Abstand bei pertrochantären Frakturen von 25mm (9).

Yam et al. (161) untersuchten in ihrer 2017 veröffentlichten Studie retrospektiv 340 Patienten, die in den Jahren 2011-2013 bei einer proximalen Femurfraktur mittels PFNA-II, intramedullären System osteosynthetisch versorgt wurden. Das Minimum als Nachbeobachtungszeitraum lag bei vier Monaten. Es erfolgte die statistische Auswertung hinsichtlich der Risikofaktoren für einen Cut-Out. Neben dem weiblichen Geschlecht postulierten die Autoren ein erhöhtes Risiko für ein Osteosyntheseversagen ab einem Tip-Apex-Abstand von 27mm (9). Diese Studie unterschied jedoch nicht zwischen den einzelnen Frakturentitäten.

Caruso et al. (20) stellten derweil den von *Baumgaertner et al.* (9) beschriebenen Tip-Apex-Abstand als Risikofaktor für ein Osteosyntheseversagen in Frage. Sie untersuchten an einem Kollektiv, das eine pertrochantäre Femurfraktur erlitt, ob der Tip-Apex-Abstand als prädiktiver Wert für einen Cut-Out nach Versorgung mittels einer Antersa®-Platte (Intrauma Turin, Italien) heranzuziehen ist. Insgesamt wurden 77 Patienten in diese Studie eingeschlossen, von denen im Verlauf bei Dreien ein Cut-out auftrat. Nach durchgeführter osteosynthetischer Versorgung wurde anhand der radio-

logischen Bilder der Tip-Apex-Abstand gemessen, der im Durchschnitt für das gesamte Kollektiv bei 29,58 mm lag. Anschließend wurde das Kollektiv in zwei Gruppen geteilt. Bei der einen Gruppe betrug der Tip-Apex-Abstand weniger als 25mm, bei der anderen Gruppe mehr als 25 mm. Statistisch konnte sich hier kein Unterschied feststellen lassen. Die Autoren konkludierten, dass ein Tip-Apex-Abstand von 25 mm nicht als Risikofaktor herangezogen werden kann, da auch klinisch gute Ergebnisse mit einem Tip-Apex-Abstand von mehr als 25 mm erzielt werden könnten (20).

Da die erstmalige Beschreibung des ursprünglichen und weiterhin verbreiteten Tip-Apex-Abstandes zwischen Schraubenkopf und Scheitelpunkt des Femurkopfs als Prädiktor für potenzielles Versagen und entsprechende Revisionsbedürftigkeit durch *Baumgaertner et al.* inzwischen weit über 20 Jahre zurückliegt, wurden hierfür seitdem alternative Referenzpunkte postuliert. Dazu zählt unter anderem ein Tip-Calcar-Abstand, der anstatt vom Schraubenkopf zum Scheitelpunkt des Femurkopfs (*Caput femoris*) vom ersteren zum *Calcar femoris* gemessen wird (21, 86).



Abbildung 12: Darstellung der Bestimmung des Tip-Apex-Abstand (A) und dem Tip-Calcar-Abstand (B), wobei die Orientierung in der Sagittalebene (C) bestehen bleibt

Quelle: Abbildung aus (53).

Die führt zu einer tieferen Positionierung in der a.p.-Lage, während die Orientierung in der Sagittalebene bestehen bleibt (86). Hierbei scheint bei beiden Ansätzen eine vergleichbare Vorhersagekraft in Bezug auf die Revisionsbedürftigkeit zuzukommen (95).

Der mittlere Tip-Apex-Abstand im Gesamtkollektiv in der hier vorliegenden Studie betrug 22,71 mm und lag damit unterhalb des von *Baumgaertner et al.* postulierten tolerablen Maximalabstands. In den Revisionsgruppen war der mittlere Tip-Apex-Abstand 22,08 mm (Gruppe Typ A) bzw. 25,30 mm (Gruppe Typ B). Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass diese Studie anders als *Baumgaertner et al.* sowohl pertrochantäre als auch Schenkelhalsfrakturen inkludiert.

Damit bewegte sich der Tip-Apex-Abstand der Revisionsgruppe der Typ-B-Frakturen sowohl oberhalb des von *Baumgaertner et al.* (9) empfohlenen 25-mm-Maximalwerts für die pertrochantären Frakturen, als auch des in der mittels Cut-off-Analyse in dieser Fraktorentität identifizierten Cut-off-Werts.

Wird zudem die individuelle Varianz in Tip-Apex-Abständen zwischen den Patienten der Typ-B-Gruppe mit Revisionsbedürftigkeit berücksichtigt (SD: 11,63), liegt der Schluss nahe, dass die vergleichsweise große Distanz zwischen Schraubenkopf und Scheitelpunkt des Femurkopfs einen Risikofaktor für die Revisionsbedürftigkeit darstellen kann. Zwar war in der Gruppe der Patienten mit Typ-B-Frakturen der Gruppenvergleich zwischen solchen mit und ohne Revision nicht signifikant ($p = 0,051$), sollte aber vor dem Hintergrund der diskussionswürdigen „Konvention“ eines p-Wertes von 0,05 als Signifikanzniveau sowie der geringen Untergruppen-Stichprobengrößen dennoch als klinisch relevant betrachtet werden.

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, den Stellenwert des Tip-Apex-Abstandes hinsichtlich der Revisionsbedürftigkeit nach einer Osteosynthese einer proximalen Femurfraktur mittels einer dynamischen Hüftschraube. Der von *Baumgaertner et al.* postulierte Cut- Off Wert von 25mm (9) für die pertrochantären Femurfrakturen konnte in dieser Studie nicht signifikant belegt werden.

In der derzeitigen Studienlage mangelt es an Studien hinsichtlich des Tip- Apex Abstandes für Frakturen des AO- Typ B, den Schenkelhalsfrakturen. Hier kann diese Studie verdeutlichen, dass der Tip-Apex Abstand einen signifikanten Risikofaktor für die Revisionsbedürftigkeit darstellt und dies sogar für die männliche Population mit einem

Cut-Off Wert von 15,62 mm also deutlich unterhalb des von *Baumgaertner* postulierten 25mm Cut-Off (9).

Diese Studie verdeutlicht die Relevanz einer frakturentitätsspezifischen Betrachtung eventueller Cut-off-Werte für den Tip-Apex-Abstand. Dadurch kann ein patientenorientierter und -zugeschnittener Ansatz im Rahmen eines operativen Eingriffs gewählt sowie potenziell das Versagens- und Revisionsrisiko einer DHS reduziert werden.

5.2 Epidemiologische Einflussfaktoren auf den Behandlungserfolg

Mehrere Studien konnten zeigen, dass zu den weiteren Risikofaktoren, eine Schenkelhalsfraktur zu erleiden, neben der Osteoporose insbesondere das weibliche Geschlecht zählt (28,87,133).

Der direkte Vergleich in der hier vorgelegten Untersuchung zwischen Patienten, die sich einer Revision unterziehen mussten und solchen, bei denen keine Revision nötig war, resultierte für die Gruppe mit Typ-A-Frakturen in einem signifikanten Unterschied hinsichtlich der Geschlechtsverteilung. So bestand bei dieser Frakturentität ausschließlich bei Frauen die Notwendigkeit einer operativen Revision. Dies kann zum einen daran liegen, dass Frauen grundsätzlich häufiger als Männer von dieser Frakturentität betroffen und im höheren Alter häufiger an Osteoporose erkranken (51). Das Risiko einer hüftgelenksnahen Fraktur ist bei Patienten mit Osteoporose besonders hoch, da sich auch hier die trabekuläre Geometrie des proximalen *Femurs* verändert und somit anfälliger für Verletzungen wird (81) Es ist vorstellbar, dass die schlechte Knochenqualität auch die Stabilität des metallischen Implantats im Knochen negativ beeinflusst und Implantat-Dislokationen, ein Cut-out oder Cut-through als Ursache für eine operative Revision, begünstigen.

In Bezug auf Typ-B-Frakturen konnte hier jedoch kein Unterschied in der Geschlechterverteilung nachgewiesen werden. Eine systematische Übersichtsarbeit von *Tsang et al.* (156) mit 36 Studien aus dem Jahr 2016 kam zu der Erkenntnis, dass vor allem bei Männern ein im Vergleich zu Frauen erhöhtes Maß an Revisionsbedürftigkeit bestand (156). Eine Differenzierung der Frakturentitäten blieb hierbei jedoch unberücksichtigt. Außerdem wurde ein Großteil der Patientin mit einer Hüfttotalendoprothese versorgt und nicht mittels einer Osteosynthese.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die aktuellen Ansätze der genderspezifischen, medizinischen Versorgung auch Einzug in die Versorgung proximaler Femurfrakturen erhalten müssen. Die Ergebnisse dieser Studie decken sich mit denen anderer Studien, dass insbesondere Frauen einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, eine proximale Femurfraktur zu erleiden. Durch die hohe Anzahl und der häufig einhergehenden Osteoporose steigt dementsprechend auch das Risiko einer Revisionsbedürftigkeit absolut an. Es könnten bereits präventive Ansätze wie zum Beispiel ein frühzeitiges Osteoporose Screening für Frauen und eine flächendeckende osteologische Anbindung initiiert werden. Hierdurch könnte die Zahl der proximalen Femurfrakturen ggf. Reduziert werden.

Hsueh et al. veröffentlichten 2010 eine Studie, in der 937 Patienten hinsichtlich des Auftretens eines Cut-Outs nach einer pertrochantären Femurfraktur untersucht wurden (68). Die Autoren konnten zeigen, dass ein fortschreitendes Lebensalter mit einem erhöhten Risiko für postoperative Komplikationen wie einem Cut-out einhergeht (68) und somit ein Risikofaktor für eine Revisionsbedürftigkeit darstellt. Ein exakter Schwellenwert wurde in dieser Studie nicht benannt.

Auch *Hardeman et al.* veröffentlichten 2012, dass mit zunehmendem Alter auch die Auftretenswahrscheinlichkeit von Komplikationen im Rahmen eines operativen Eingriffs steigt (62)

In der vorliegenden Studie bestand weder für Typ-A- noch für Typ-B-Frakturen ein Unterschied zwischen revisionsbedürftigen und revisionsfreien Patienten in Bezug auf das Alter. Dieser Faktor sollte dennoch insofern Berücksichtigung finden, dass in Zeiten einer demographisch alternden Bevölkerung die Inzidenz proximaler Femurfrakturen weiter steigen und damit auch die Revisionsfälle absolut steigen könnten.

Die Revisionsrate in der 1995 von *Baumgaertner et al.* (9) veröffentlichten Studie lag bei 36,67%, wohingegen die Revisionsrate in den Studien von *Caruso et al.* (20) und *Yam et al.* (161) bei lediglich 2,3% bzw. 6,7% lag. Die häufigste Frühkomplikation im Rahmen einer hüftgelenksnahen Fraktur und damit ein Grund zur Revision ist der Cut-out (21). Mehrere Studien beziffern den relativen Anteil an Revisionen auf Grund eines Cut-Outs studienübergreifend auf zwischen ca. zwei und zehn Prozent (5,20,21,74).

Die Hüftkopfnekrose stellt einen weiteren wichtigen Risikofaktor dar, der zu einer Revisionsbedürftigkeit führen kann. *Gupta et al.* führten nach erfolgter Osteosynthese einer proximalen Femurfraktur mittels dynamischer Hüftschraube bei erwachsenen Patienten engmaschige radiologische Kontrollen nach sechs Wochen, drei und sechs

Monaten und anschließend in jährlichem Abstand durch. Sie beobachteten eine Rate an Hüftkopfnekrosen von 7,5 % (60).

Die operative Revisionsrate im hier untersuchten Patientenkollektiv betrug 19,16 %. Bezogen auf die Literatur handelt es sich um eine durchschnittliche Revisionsrate, wobei die Prozentwerte über verschiedene Studien hinweg teilweise weit gestreut liegen.

Der Cut-Out repräsentiert, wie auch in der Literatur mit über 40 % innerhalb der revisionsbedürftigen Patienten den Großteil der Revisionsursachen, gefolgt von Hüftkopfnekrosen und Cut-throughs sowie sekundären Dislokationen. Der Anteil der Cut-outs betrug im Gesamtkollektiv 7,78 %. Die Prävalenz von Hüftkopfnekrosen und Cut-throughs lag im hier untersuchten Kollektiv mit 4,19 bzw. 2,99 % der Gesamtstichprobe niedriger als in anderen Untersuchungen (60,141,150).

Die herausragende Stellung des Cut-Outs als vorrangige Ursache einer Revision, wie in der Literatur und die Ergebnisse des hier untersuchten Patientenkollektivs nahelegen, unterstreicht die Schwierigkeit der Sicherung der Osteosynthesestabilität mit der einliegenden Schenkelhalsschraube. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der kontinuierlichen Verbesserung und Weiterentwicklung der operativen Techniken und Materialien, um in Zukunft Revisionen vermeiden zu können. Insbesondere der unfallchirurgische Nachwuchs sollte während der Facharztausbildung immer wieder auf die Bedeutung des Tip-Apex-Abstandes auf die Stabilität der Osteosynthese hingewiesen werden

5.3 Perioperative Einflussfaktoren auf den Behandlungserfolg

Eine frühzeitige Operation bei hüftgelenksnahen Frakturen wird mit einer geringeren Morbiditäts- und Mortalitätsrate in Verbindung gebracht, weshalb eine zeitnahe operative Therapie empfohlen wird (80). Da nach dem Unfall-Ereignis der Druck in der Gelenkkapsel deutlich zunimmt und damit eine Minderperfusion des Hüftkopfes einhergeht ist eine kopferhaltende Osteosynthese ein Notfalleingriff, da sonst das Risiko einer Hüftkopfnekrose deutlich zunimmt (103).

In der vorliegenden Untersuchung vergingen im Gesamtkollektiv im Mittel von der stationären Aufnahme bis zum Beginn der Operation sieben Stunden und 22 Minuten. Für Patienten, die nicht revidiert werden mussten, lag diese Zeit im Mittel bei sieben Stunden und 34 Minuten (SD: 06:28). Patienten, die im weiteren Verlauf operativ revidiert

wurden, wiesen eine mittlere Zeitspanne bis zur Operation von sechs Stunden und 28 Minuten (SD: 06:07) auf. Zwischen Patienten, die revidiert werden mussten und solchen, bei denen keine Revision nötig war, lagen sowohl für Frakturen des Typ A als auch des Typ B keine signifikanten Unterschiede vor.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass es trotz einer mittleren präoperativen Verweildauer von mehr als sechs Stunden, im Literaturvergleich nicht zu einem Anstieg der Hüftkopfnekrosen oder einem signifikanten Einfluss auf die Revisionsrate kam. Dies steht im Gegensatz zu einigen früheren Studien, die eine strikte Einhaltung der 6-Stunden-Frist vorschlugen (60,141,150).

Es kann diskutiert werden, dass die präoperative Verweildauer in dieser Studie möglicherweise durch institutionelle Gegebenheiten bedingt war und die Zeit für eine adäquate präoperative Stabilisierung, Schmerzkontrolle und optimaler präoperativer Patientenvorbereitung genutzt wurde. Insgesamt legen die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchung hinsichtlich einer differenzierten Betrachtung der zeitlichen Aspekte der operativen Therapie von hüftgelenksnahen Femurfrakturen nahe, dass eine Zeitspanne von über sechs Stunden von Aufnahme ins Krankenhaus bis zum Beginn der Operation nicht zwangsläufig mit einem erhöhten Revisionsrisiko einhergehen.

So verstarben im hier untersuchten Kollektiv 7,19 % der Patienten im Rahmen der Behandlung pertrochantärer Femurfrakturen mittels DHS. Vor dem Hintergrund eines Durchschnittsalters der Gesamtstichprobe von über 70 Jahren sowie der Tatsache, dass berichtete Mortalitätsraten je nach Studienkonzeption starken Schwankungen unterworfen sind (60,112,150), bewegt sich die Anzahl verstorbener Patienten im hier untersuchten Kollektiv in einem eher niedrigen Bereich. Erwähnenswert ist hierbei, dass es im Rahmen der Revision bei nur einem Patienten zum Todesfall kam.

Vorhergehende Untersuchungen zum Einfluss der Expertise des behandelnden Facharztes auf postoperative klinische Outcomes sind sowohl spärlich als auch sich uneinheitlich (71,104). Jedoch lässt sich in mancherlei Hinsicht eine Verzerrung hinsichtlich der Durchführung nach Schwierigkeitsgrad und Expertise des behandelnden Fachpersonals beobachten (13,33,79). So wurden in der vorliegenden Studie in der Gesamtstichprobe über 70 Prozent der Patienten von einem Facharzt behandelt, in der Revisionsgruppe lag dieser Wert bei knapp 65 Prozent. Dieser Umstand hat möglicherweise dazu beigetragen, dass die initiale Revisionsrate vergleichsweise niedrig gehalten

ten werden konnte (vgl. Kapitel 5.2) und die Qualifikation des Operateurs zudem keinen signifikanten Einfluss auf die Revisionsbedürftigkeit im Rahmen des logistischen Regressionsmodells ausübte.

5.4 Limitationen

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive monozentrische Studie, bei der für die Fragestellungen relevante Informationen aus archivierten Datenbanken extrahiert wurden. Dies führt dazu, dass die Anzahl erhobener Parameter festgelegt ist, d. h. es konnten nur Daten extrahiert werden, die im Rahmen der vergangenen Anamnese, Operation und Nachbehandlung erhoben wurden. Dieser Umstand limitiert wiederum die Flexibilität in der Spezifikation von Fragestellungen und Berücksichtigung von Parametern, welche nicht Teil der ursprünglichen Datenerhebung waren (z. B. zusätzliche, die prä- oder perioperativen Umstände beeinflussende Aspekte).

Eine weitere Limitation bestand darin, dass zwar eine Differenzierung in der Revisionsbedürftigkeit zwischen Typ-A- und Typ-B-Frakturen nach AO-Klassifikation erfolgen konnte, diese aufgrund der geringen Anzahl an revisionsbedürftigen Fällen nicht weiter in Subkategorien (A1, A1.1, B2 etc.) heruntergebrochen werden konnten.

Insgesamt sind weitere multizentrisch, prospektive Kohortenstudien notwendig, um die Einflussfaktoren auf die Notwendigkeit von Revisionen nach erfolgter Osteosynthese am proximalen Femur mittels DHS zu untersuchen.

5.5 Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass der Tip-Apex-Abstand in der prädiktiven Risikobewertung einer Osteosynthese mittels dynamischer Hüftschraube bei Patienten mit proximaler Femurfraktur eine entscheidende klinische Relevanz hat.

In diesem Kontext kommt auch dem Geschlecht der Patienten eine entscheidende Rolle zu. Dies sollte entsprechend in der Planung und Umsetzung einer Osteosynthese mittels dynamischer Hüftschraube im Rahmen eines patientenorientierten Ansatzes berücksichtigt werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Ahrengart L, Törnkvist H, Fornander P, et al. A randomized study of the compression hip screw and Gamma nail in 426 fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2002; 401: 209-222.
2. Almigdad AK, Alazaydeh SA, Mustafa MSB, Alshawish MI, Alfukaha HA. A review of proximal femur fracture patterns, etiologies and sociodemographic features. *Int J Orthop Sci* 2022; 8(3): 115-118.
3. Al-Taki MM, Masri BA, Duncan CP, Garbuz DS. Quality of Life Following Proximal Femoral Replacement Using a Modular System in Revision THA. *Clin Orthop Relat Res* 2011; 469(2): 470-475.
4. Amarilla-Donoso FJ, López-Espuela F, Roncero-Martín R, et al. Quality of life in elderly people after a hip fracture: a prospective study. *Health Qual Life Outcomes* 2020; 18(1): 71.
5. Andruszkow H, Frink M, Frömke C, et al. Tip apex distance, hip screw placement, and neck shaft angle as potential risk factors for cut-out failure of hip screws after surgical treatment of intertrochanteric fractures. *Int Orthop* 2012; 36(11): 2347-2354.
6. Antonelli Incalzi R, Gemma A, Capparella O, Terranova L, Sanguinetti C, Carbonin PU. Post-operative electrolyte imbalance: its incidence and prognostic implications for elderly orthopaedic patients. *Age Ageing* 1993; 22(5): 325-331.
7. Arshad Z, Thahir A, Rawal J, et al. 657 Comparison of the Intramedullary Nail and Dynamic Hip Screw in the Treatment of Subtrochanteric Femoral Fractures. *Brit J Surg* 2021; 108(Supplement_2): znab134.567.
8. Balch CM, Shanafelt TD, Dyrbye L, et al. Surgeon Distress as Calibrated by Hours Worked and Nights on Call. *J Am Coll Surgeons* 2010; 211(5): 609-619.
9. Baumgaertner MR, Curtin SL, Lindskog DM, Keggi JM. The value of the tip-apex distance in predicting failure of fixation of peritrochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 1995; 77: 1058–64.
10. Baumgaertner MR, Solberg BD. Awareness of tip-apex distance reduces failure of fixation of trochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Br* 1997; 79: 969–71.
11. Bedi A, Toan Le T. Subtrochanteric femur fractures. *Orthop Clin North Am* 2004; 35: 473–83.

12. Bhandari M, Swiontkowski M. Management of Acute Hip Fracture. *N Engl J Med* 2017; 377: 2053–62.
13. Bhandari M, Tornetta P, Hanson B, Swiontkowski MF. Optimal Internal Fixation for Femoral Neck Fractures: Multiple Screws or Sliding Hip Screws? *J Orthop Trauma* 2009; 23:403–407.
14. Bonnaire F, Straßberger C, Kieb M, Bula P. Osteoporotic fractures of the proximal femur. What's new?. *Chirurg* 2012; 83: 882–91.
15. Bonnaire F, Hellmund R, Lein T. DHS. *Trauma und Berufskrankheit* 2003; 5: 162–70.
16. Bonnaire F, Weber A. *Leitlinien Unfallchirurgie: 012-001 Schenkelhalsfraktur des Erwachsenen*. Göttingen: Cuvellier Verlag; 2020.
17. Bowman KF, Fox J, Sekiya JK. A clinically relevant review of hip biomechanics. *Arthroscopy* 2010; 26: 1118–29.
18. Boy O, Hahn S, Kociemba E. *Hüftgelenknahe Femurfraktur: BQS-Fachgruppe Orthopädie und Unfallchirurgie*, 2008. http://www.bqs-qualitaetsreport.de/2008/ergebnisse/leistungsbereiche/hueft_femur/hueft-femur.pdf
19. Carballido-Gamio J, Folkesson J, Karampinos DC, et al. Generation of an atlas of the proximal femur and its application to trabecular bone analysis. *Magn Reson Med* 2011; 66: 1181–91.
20. Caruso G, Andreotti M, Pari C, et al. Can TAD and CalTAD predict cut-out after extra-medullary fixation with new generation devices of proximal femoral fractures? A retrospective study. *J Clin Orthop Trauma* 8(1): 68–72, 2017.
21. Caruso G, Corradi N, Caldaria A, et al. New tip-apex distance and calcar-referenced tip-apex distance cut-offs may be the best predictors for cut-out risk after intramedullary fixation of proximal femur fractures. *Sci Rep* 2022; 12(1): 357.
22. Charnley J, Blockley NJ, Purser DW. The treatment of displaced fractures of the neck of the femur by compression. *J Bone Joint Surg Br* 1957; 39: 45–65.
23. Cheng SY, Levy AR, Lefaivre KA, Guy P, Kuramoto L, Sobolev B. Geographic trends in incidence of hip fractures: a comprehensive literature review. *Osteoporosis Int* 2011; 22(10): 2575–2586.
24. Chiari C, Felsing C. Inzidenz, Biomechanik und Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie. *Arthroskopie* 2022; 35: 3–11.
25. Chiu KY, Ng TP, Chow SP. Seasonal variation of fractures of the hip in elderly persons. *Injury* 1996; 27: 333–6.

26. Clawson DK. Trochanteric fractures treated by the sliding screw plate fixation method. *J Trauma* 1964; 4: 737–52.
27. Crawford JR, Parker MJ. Seasonal variation of proximal femoral fractures in the United Kingdom. *Injury* 2003; 34: 223–5.
28. Cummings SR, Black DM, Nevitt MC, et al. Bone density at various sites for prediction of hip fractures. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Lancet* 1993; 341: 72–5.
29. Danis, R. *Théorie et pratique de l'ostéosynthèse*. Soulisse-Martin; 1949.
30. Davison JN, Calder SJ, Anderson GH, Jagger C, Harper WM, Gregg PJ. Treatment for displaced intracapsular fracture of the proximal femur. A prospective, randomised trial in patients aged 65 to 79 years. *J Bone Joint Surg Br* 2001; 83: 206–12.
31. Debrunner A, Čech O. Biomechanik der Osteosynthese pertrochanter Frakturen. *Z Orthop* 1969; 107: 516–27.
32. Denisiuk M, Afsari A. Femoral Shaft Fractures. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556057> (Zuletzt aufgerufen am 22.10.2022)
33. Devereaux PJ, Bhandari M, Clarke M, et al. Need for expertise based randomised controlled trials. *BMJ* 2005; 330: 88-91.
34. Dimon JH, Hughston JC. Unstable intertrochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 1967; 49: 440–50.
35. Dittel KK, Rapp M. *The double dynamic Martin screw (DMS)*. Stuttgart: Steinkopf Verlag; 2008.
36. Dyer SM, Crotty M, Fairhall N, et al. A critical review of the long-term disability outcomes following hip fracture. *BMC Geriatr* 2016; 16: 158.
37. Ecker ML, Joyce JJ, Kohl J. The treatment of trochanteric hip fractures using a compression screw. *J Bone Joint Surg Am* 1975; 57: 23–27.
38. Ehlinger M, Favreau H, Eichler D, Adam P, Bonnomet F. Early mechanical complications following fixation of proximal femur fractures: From prevention to treatment. *Orthop Traumatol: Surg Res* 2020; 106(1): S79–S87.
39. Ekström W, Karlsson-Thur C, Larsson S, Ragnarsson B, Alberts K-A. Functional outcome in treatment of unstable trochanteric and subtrochanteric fractures with the proximal femoral nail and the Medoff sliding plate. *J Orthop Trauma* 2007; 21(1): 18–25.
40. Ender J, Simon-Weidner R. Die Fixierung trochanterer Brüche mit runden elastischen Condylennageln. *Acta Chir Austriaca* 1970; 1: 40–42.

41. Evans PJ, McGrory BJ. Fractures of the proximal femur. *Hospital Physician* 2002; 38(4): 30–38.
42. Fakler JK, Hase F, Böhme J, Josten C. Safety aspects in surgical treatment of pathological fractures of the proximal femur - modular endoprosthesis replacement vs. intramedullary nailing. *Patient Saf Surg* 2013; 7(1): 37.
43. Filipov O. Epidemiology and social burden of the femoral neck fractures. *J of IMAB* 2014; 20(4): 516–518.
44. Fischer E. Zur Plattfußfrage. *DMW* 1920; 46(28): 774–774.
45. Fischer H, Maleitzke T, Eder C, Ahmad S, Stöckle U, Braun KF. Management of proximal femur fractures in the elderly: current concepts and treatment options. *Eur J Med Res* 2021; 26(1): 86.
46. Frihagen F, Nordsletten L, Madsen JE. Hemiarthroplasty or internal fixation for intracapsular displaced femoral neck fractures: randomised controlled trial. *BMJ* 2007; 335(7632): 1251–1254.
47. Fujii T, Nakayama S, Hara M, Koizumi W, Itabasji T, Saito M. Tip-Apex Distance Is Most Important of Six Predictors of Screw Cutout After Internal Fixation of Intertrochanteric Fractures in Women. *JBJS Open Access* 2017; 2(4): e0022.
48. Gallagher JC, Melton LJ, Riggs BL, Bergstrath E. Epidemiology of fractures of the proximal femur in Rochester, Minnesota. *Clin Orthop Relat Res* 1980; 150: 163–171.
49. Gallo M. Fractures of the proximal extremity of the femur: current diagnostic and therapeutic classification overview. *EuroMediterranean Biomed J* 2012; 7(12): 55–60.
50. Garden RS. Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. *J Bone Joint Surg Br* 1961; 43(4): 647–663.
51. Garrison I, Domingue G, Honeycutt MW. Subtrochanteric femur fractures: current review of management, *EFORT Open Reviews* 2021; 6(2): 145–151.
52. Gašpar D, Crnkovic T, Durovic D, Podsednik D, Slisuric F. AO group, AO subgroup, Garden and Pauwels classification systems of femoral neck fractures: are they reliable and reproducible?. *Med Glas* 2012; 9(2): 243–247.
53. Geller JA, Saifi C, Morrison TA, Macaulay W. Tip-apex distance of intramedullary devices as a predictor of cut-out failure in the treatment of peritrochanteric elderly hip fractures. *Int Orthop* 2010; 34(5): 719–722.
54. Goldacre MJ, Roberts SE, Yeates D. Mortality after admission to hospital with fractured neck of femur: database study. *BMJ* 2002; 325(7369): 868–869.

55. Graber M, Marino DV, Johnson DE. *Anterior Hip Dislocation*. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507814> (Zuletzt aufgerufen am 22.10.2022)
56. Graef F, Tsitsilonis S, Märdian S. Distale Femurfrakturen extraartikulär und intraartikulär. *OP-Journal* 2019; 34(02): 145–155.
57. Grifka J, Kuster M. *Orthopädie und Unfallchirurgie: für Praxis, Klinik und Facharztprüfung; mit 155 Tabellen*. Berlin: Springer; 2011.
58. Grimsrud C, Monzon RJ, Richman J, Ries MD. Cemented hip arthroplasty with a novel cerclage cable technique for unstable intertrochanteric hip fractures. *J Arthroplasty* 2005; 20(3): 337–343.
59. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporosis Int* 1997; 7(5): 407–413.
60. Gupta M, Arya R-K, Kumar S, Jain Y-K, Sinha S, Naik A-K. Comparative study of multiple cancellous screws versus sliding hip screws in femoral neck fractures of young adults. *Chin J Traumatol* 2016; 19(4): 209–212.
61. Hack J, Bücking B, Eschbach D, Ruchholtz S. Hüftendoprothetik nach Trauma: Was sind die „Big Points“?. *Trauma und Berufskrankheit* 2017; 19(S2): 192–197.
62. Hardeman F, Bollars P, Donnelly M, Bellemans J, Nijs S. Predictive factors for functional outcome failure in angular stable osteosynthesis of the proximal humerus. *Injury* 2012; 43(2): 153–158.
63. Heim, UF. Die Grenzziehung zwischen Diaphyse und Metaphyse mit Hilfe der Viereckmessung. Ein Beitrag zur Klassifizierung und Dokumentierung von Frakturen der langen Röhrenknochen am Beispiel der distalen Tibia. *Der Unfallchirurg* 1987; 90(6): 274–280.
64. Hertig D, Thalmann R, Rufer B. Verletzung der A. profunda femoris mit transfusionspflichtiger Blutung durch sekundäre Dislokation des Trochanter minor nach Osteosynthese einer pertrochantären Femurfraktur. *Der Unfallchirurg* 2021; 124(2): 167–171.
65. Hoffmann M, Runge M, Dufek P, Westphal K-C. Posttraumatische Korrekturen und Revision am proximalen Femur. *Trauma und Berufskrankheit* 2016; 18(S5): 479–485.
66. Höntzsch D, Perren S, Frigg R. Geschichte und technische Möglichkeiten der winkelstabilen Osteosynthese – eine Bildergeschichte. *OP-Journal* 2012; 28(02): 124–128.

67. Hrubina M, Skoták M, Běhounek J. [Complications of dynamic hip screw treatment for proximal femoral fractures]. *Acta Chir Orthop Tr* 2010; 77(5): 395–401.
68. Hsueh K-K, Fang C-K, Chen C-M, Su Y-P, Wu H-F, Chiu F-Y. Risk factors in cutout of sliding hip screw in intertrochanteric fractures: an evaluation of 937 patients. *Int Orthop* 2010; 34(8): 1273–1276.
69. Jansen H, Frey SP, Meffert RH. Subtrochanteric fracture: a rare but severe complication after screw fixation of femoral neck fractures in the elderly. *Acta Orthop Bel* 2010; 76(6): 778.
70. Joglekar SB, Lindvall EM, Martirosian A. Contemporary management of subtrochanteric fractures. *Orthop Clin of N Am* 2015; 46(1): 21–35.
71. Johansson Å, Strömquist B, Bauer G, Hansson LI, Pettersson H. Improved operations for femoral neck fracture: A radiographic evaluation. *Acta Orthop Scan* 1986; 57(6): 505–509.
72. Johnell O, Kanis J. Epidemiology of osteoporotic fractures. *Osteoporosis Int* 2005; 16 Suppl 2: S3-7.
73. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporosis Int* 2006; 17(12): 1726–1733.
74. Jones HW, Johnston P, Parker M. Are short femoral nails superior to the sliding hip screw? A meta-analysis of 24 studies involving 3,279 fractures. *Int Orthop* 2006; 30(2): 69–78.
75. Kadar A, Chechik O, Steinberg E, Reider E, Sternheim A. Predicting the need for blood transfusion in patients with hip fractures. *Int Orthop* 2013; 37(4): 693–700.
76. Kalka C. Anatomie der Arterien: Untere Extremität. *Phlebologie* 2020; 49(06): 363–377.
77. Karagas MR, Lu-Yao GL, Barrett JA, Beach ML, Bron JA. Heterogeneity of hip fracture: age, race, sex, and geographic patterns of femoral neck and trochanteric fractures among the US elderly. *Am J Epidemiol* 1996; 143(7): 677–682.
78. Kazley JM, Banerjee S, Abousayed MM, Rosenbaum AJ. Classifications in Brief: Garden Classification of Femoral Neck Fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2018; 476(2): 441–445.
79. Keating JF, Grant A, Masson M, Scott NW, Forbes JF. Randomized Comparison of Reduction and Fixation, Bipolar Hemiarthroplasty, and Total Hip Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88(2): 249-60.

80. Khan SK, Kalra S, Khanna A, Thiruvengada MM, Parker MJ. Timing of surgery for hip fractures: a systematic review of 52 published studies involving 291,413 patients. *Injury* 2009; 40(7): 692–697.
81. Kim DH, Ko SJ, Kang SS, et al. Assessment of the Correlation for Geometry Transition using Bone Mineral Density in Proximal Femur. *Journal of the Korea Contents Association* 2012; 12(12): 335–344.
82. Klestil T, Röder C, Stotter C, et al. Impact of timing of surgery in elderly hip fracture patients: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2018; 8(1): 13933.
83. Klopfer T, Hemmann P, Ziegler P, Stöckle U, Bahrs C. Proximale Femurfraktur und Insuffizienzfrakturen im Alter. *Trauma und Berufskrankheit* 2017; 19(S1): 27–36,.
84. Korbmacher JG, Schulze-Raestrup U, Nowak H, Smektala R. Proximale osteosynthetisch versorgte Femurfrakturen: Der Versorgungszeitpunkt verzögert sich bei vorbestehender Antikoagulation: Ergebnisse der Daten der externen stationären Qualitätssicherung aus Nordrhein-Westfalen mit einer Fallzahl von 24.786 Fällen im Rahmen sekundärer Datennutzung. *Der Unfallchirurg* 2021; 124(8): 642–650.
85. Korim MT, Esler CNA, Ashford RU. Systematic review of proximal femoral arthroplasty for non-neoplastic conditions. *J Arthroplasty* 2014; 29(11): 2117–2121.
86. Kuzyk PRT, Zdero R, Shah S, Olsen M, Waddell JP, Schemitsch EH. Femoral Head Lag Screw Position for Cephalomedullary Nails: A Biomechanical Analysis. *J Orthop Trauma* 2012; 26(7): 414-21.
87. Lakstein D, Hendel D, Haimovich Y, Feldbrin Z. Changes in the pattern of fractures of the hip in patients 60 years of age and older between 2001 and 2010: A radiological review. *Bone Joint J* 2013; 95-B(9): 1250–1254.
88. Landgraeber S, Warwas S, Claßen T, Jäger M. Modifications to advanced core decompression for treatment of avascular necrosis of the femoral head. *BMC Musculoskel Dis* 2017; 18(1): 479.
89. Lang J, Wachsmuth W. *Bein und Statik*. Berlin: Springer; 1972.
90. Laufer Y, Lahav M, Lenger R, Sprecher E. Functional Recovery Following Per-trochanteric Hip Fractures Fixated with the Dynamic Hip Screw vs. the Percutaneous Compression Plate. *Sci World J* 2005; 5: 221–229.
91. Li A-B, Zhang W-J, Wang J, Guo W-J, Wang X-H, Zhao Y-M. Intramedullary and extramedullary fixations for the treatment of unstable femoral intertrochanteric fractures: a meta-analysis of prospective randomized controlled trials. *Int Orthop* 2017; 41(2): 403–413.

92. Liener UC, Becker C, Rapp K, Raschke MJ, Kladny B, Wirtz DC, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie und Deutsche Gesellschaft für Geriatrie. *Weißbuch Alterstraumatologie und Orthogeriatric*. 1. Auflage, 2020. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer; 2020.
93. Liu P, Wu X, Shi H, et al. Intramedullary versus extramedullary fixation in the management of subtrochanteric femur fractures: a meta-analysis. *Clin Interv Aging* 2015; 10: 803–811.
94. Lohmann R, Frerichmann U, Stöckle U, Riegel T, Raschke MJ. Proximale Femurfrakturen im Alter. Auswertung von Krankenkassendaten von über 23 Mio. Versicherten—Teil 1. *Der Unfallchirurg* 2007; 110(7): 603–609.
95. Lopes-Coutinho L, Dias-Carvalho A, Esteves N, Sousa R. Traditional distance “tip-apex” vs. new calcar referenced “tip-apex” - which one is the best peritrochanteric osteosynthesis failure predictor?. *Injury* 2020; 51(3): 674–677.
96. López-Hualda A, Arruti-Perez E, Bebea-Zamorano FN, Sosa-Reina MD, Villafane JH, Martinez-Martin J. Morbidity and Mortality Analysis in the Treatment of Intertrochanteric Hip Fracture with Two Fixation Systems: Dynamic Hip Screw (DHS) or Trochanteric Fixation Nail Advance (TFNA). *Geriatrics* 2013; 8(3): 66.
97. Lu Y, Wang L, Hao Y, Wang Z, Wang M, Ge S. Analysis of trabecular distribution of the proximal femur in patients with fragility fractures. *BMC Musculoskel Dis* 2013; 14(1): 130.
98. Lu Y, Uppal HS. Hip Fractures: Relevant Anatomy, Classification, and Biomechanics of Fracture and Fixation. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 2019; 10: 215145931985913.
99. Mackay DC, Harrison WJ, Bates JH, Dickenson D. Audit of deep wound infection following hip fracture surgery. *J R Coll Surg Edinb* 2000; 45(1): 56–59.
100. Magu NK, Lahoti O. Management of femoral neck fracture non union with modified Pauwels’ osteotomy. *J Clin Orthop Trauma* 2022; 25: 101721.
101. Malkani AL, Settecerci JJ, Sim FH, Chao EY, Wallrichs SL. Long-term results of proximal femoral replacement for non-neoplastic disorders. *J Bone Joint Surg Br* 1995; 77(3): 351–356.
102. Manninger J, Kazár G. *Proximal Femur Fractures. Definition, Epidemiology, Anatomy, Biomechanics*. In J Manninger, U Bosch, P Cserháti, Fekete K, G Kazár (eds). Internal fixation of femoral neck fractures. 1–27. Berlin: Springer Science & Business Media; 2007. http://link.springer.com/10.1007/978-3-211-68585-3_1 (Zuletzt aufgerufen am 7.4.2023)

103. Maruenda JI, Barrios C, Gomar-Sancho F. Intracapsular hip pressure after femoral neck fracture. *Clin Orthop Relat Res* 1997; 340: 172–180.
104. Matre K, Vinje T, Havelin LI, et al. Trigen Intertan Intramedullary Nail Versus Sliding Hip Screw: A Prospective, Randomized Multicenter Study on Pain, Function, and Complications in 684 Patients with an Intertrochanteric or Subtrochanteric Fracture and One Year of Follow-up. *J Bone Joint Surg* 2013; 95(3): 200–208.
105. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and dislocation classification compendium—2018. *J Orthop Trauma* 2018; 32: S1–S10.
106. Melton LJ, Wahner HW, Richelson LS, O’Fallon WM, Riggs BL. Osteoporosis and the risk of hip fracture. *Am J Epidemiol* 1986; 124(2): 254–261.
107. Minne HW, Pfeifer M, Wittenberg R, Würtz R. Schenkelhalsfrakturen in Deutschland: Prävention, Therapie, Inzidenz und sozioökonomische Bedeutung. *Dtsch Arztebl International* 2001; 98(26): A-1751/B-1502/C-1394.
108. Mittal R, Banerjee S. Proximal femoral fractures: Principles of management and review of literature. *J Clin Orthop Trauma* 2012; 3(1): 15–23.
109. Möckel L, Mohr M, Schillings J. Krankenhaussterbefälle nach proximaler Femurfraktur: eine retrospektive Analyse für Deutschland und die einzelnen Bundesländer. *Osteologie* 2023; 32(02): 133-139.
110. Mueller ME. The intertrochanteric osteotomy and pseudarthrosis of the femoral neck. *Clin Orthop Relat Res* 1999; 363: 5–8.
111. Muftić M, Selimovic EK, Miladinović K. Osteoporosis - Comparative Study Between Quantitative Ultrasound of Calcaneus and DXA, *Med Arch* 2013; 67(4):289-91.
112. Müller F, Galler M, Zellner M, et al. Total Hip Arthroplasty for Hip Fractures: Time to Surgery With Respect to Surgical Revision, Failure, and Mortality. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 2019; 10: 215145931881816.
113. Mysurgery.com. *Oberschenkel*; 2023. <https://www.mysurgery.de/unfallchirurgie/spezielle-traumatologie/oberschenkel/> (Zuletzt aufgerufen am 04.07.2023).
114. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am* 1994; 25(3): 425–465.
115. Park SY, Yang KH, Yoo JH, Yoon HK, Park HW. The treatment of reverse obliquity intertrochanteric fractures with the intramedullary hip nail. *J Trauma* 2008; 65(4): 852–857.
116. Parker MJ, White A, Boyle A. Fixation versus hemiarthroplasty for undisplaced intracapsular hip fractures. *Injury* 2008; 39(7): 791–795.

117. Parvaresh KC, Pennock AT, Bomar, JD, Wegner DR, Upasani VV. Analysis of Acetabular Ossification from the Triradiate Cartilage and Secondary Centers. *J Pediatr Orthop* 2018; 38(3): e145–e150.
118. Pauwels F. Femoral neck fracture. A mechanical problem. *Z Orthop Chir* 1935; 63: 1–138.
119. Philippon MJ, Michalski MP, Campbell KJ, et al. Surgically Relevant Bony and Soft Tissue Anatomy of the Proximal Femur. *Orthop J Sports Med* 2014; 2(6): 232596711453518.
120. Pohl E. *VerbindungsVorrichtung für gelenknahe Knochenbrüche*. German Patent Nr, 918531(7); 1951.
121. Protzman RR, Burkhalter WE. Femoral-neck fractures in young adults. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58(5): 689–695.
122. Pugh WL. A self-adjusting nail-plate for fractures about the hip joint. *J Bone Joint Surg Am* 1955; 37: 1085–1093.
123. Quizlet.com. *Hüftgelenk*; 2023. https://quizlet.com/at/461183779/11_huftgelenk-flash-cards/ (Zuletzt aufgerufen am 07.04.2023)
124. Rahme DM, Harris IA. Intramedullary nailing versus fixed angle blade plating for subtrochanteric femoral fractures: a prospective randomised controlled trial. *J Orthop Surg* 2007; 15(3): 278–281.
125. Rapp K, Büchele G, Dreinhöfer K, Bücking B, Becker C, Benzinger P. Epidemiology of hip fractures: Systematic literature review of German data and an overview of the international literature. *Z Gerontol Geriatr* 2019; 52(1): 10–16.
126. Regazzoni P, Rüedi T, Winquist R, Allgöwer M. *The dynamic hip screw implant system*. Berlin: Springer Science & Business Media; 1985.
127. Rubio-Avila J, Madden K, Simunovic N, Bhandari M. Tip to apex distance in femoral intertrochanteric fractures: a systematic review. *J Orthop Sc* 2013; 18(4): 592–598.
128. Ruchholtz S, Berdel P. *Orthopädie und Unfallchirurgie essentials: Intensivkurs zur Weiterbildung; sicher durch die Facharztprüfung*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2013.
129. Rupp M, Walter N, Pfeifer C, et al. The incidence of fractures among the adult population of Germany. *Dtsch Arztebl International* 2021; 118(40): 665-669.
130. Ryder SA, Reynolds F, Bannister GC. Refining the indications for surgery after proximal femoral fracture. *Injury* 2001; 32(4): 295–297.

131. Sahlstrand T. The Richards compression and sliding hip screw system in the treatment of intertrochanteric fractures. *Acta Orthop Scand* 1974; 45: 213–219.
132. Sambrook P, Cooper C. Osteoporosis. *Lancet* 2006; 367(9527): 2010–2018.
133. Sarmiento A, Williams EM. Unstable intertrochanteric fracture: treatment with a valgus osteotomy and I-beam nail-plate: A preliminary report of one hundred cases. *J Bone Joint Surg Am* 1970; 52: 1309–1318.
134. Schlich T. *Surgery, science and industry*. Houndgraves: Palgrave Macmillan; 2002.
135. Schumpelick W. Die stabile Osteosynthese des medialen Schenkelhalsbrüches mit der verbundenen Doppelschraube. *Chirurg* 1955; 26: 131–135.
136. Schumpelick W, Jantzen PM. Die Versorgung der Frakturen im Trochanterbereich mit einer nichtsperrenden Laschenschraube. *Chirurg* 1953; 24: 506–509.
137. Schumpelick W, Jantzen PM. A new principle in the operative treatment of trochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 1955; 37: 693–698.
138. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. 1.12 Bandapparat des Hüftgelenks: Ernährung des Femurkopfes, In M Schünke, E Schulte, U Schumacher (Hrsg.). *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018.
139. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 5. vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018.
140. Schwartzmann CR, Jacobus LS, de Freitas Spinelli L, et al. Dynamic Hip Screw for the Treatment of Femoral Neck Fractures: A Prospective Study with 96 Patients. *ISRN Orthop* 2014; 214: 257871.
141. Sciacca S, Singh Lidder S, Grechenig C, et al. Variations of treatment in selected proximal femur fractures among surgeons with different surgical experience—A survey at an international AO course. *Injury* 2015; 46: S57–S60.
142. Sendtner E, Renkawitz T, Kramny P, Wenzl M, Grifka J. Fractured Neck of Femur. *Dtsch Arztebl International* 2010; 107(23): 401-7.
143. Sheehan KJ, Sobolev B, Villán Villán YF, Guy P. Patient and system factors of time to surgery after hip fracture: a scoping review. *BMJ Open* 2017; 7(8): e016939.
144. Sieber CC. Der ältere Patient – wer ist das?. *Der Internist* 2007; 48(11): 1190, 1192–1194.
145. Simon-Weidner R. Die Fixierung trochanterer Brüche mit multiplen elastischen Rundnägeln nach Simon-Weidner. *H Unfallheilkd* 1969; 106: 61.

146. Simunovic N, Devereaux PJ, Bhandari M. Surgery for hip fractures: Does surgical delay affect outcomes?. *Ind J Orthop* 2011; 45(1): 27–32.
147. Slobogean GP, Sprague SA, Scott T, Bhandari M. Complications following young femoral neck fractures. *Injury* 2015; 46(3): 484–491.
148. Smektala R, Endres HG, Dasch B. The effect of time-to-surgery on outcome in elderly patients with proximal femoral fractures. *BMC Musculoskel Dis* 2008; 9: 171.
149. Sørensen JL, Varmarken J-E, Bømler J. Internal fixation of femoral neck fractures: Dynamic Hip and Gouffon screws compared in 73 patients. *Acta Orthop Scand* 1992; 63(3): 288–292.
150. Statistisches Bundesamt. Krankenhausstatistik—Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern; 2017. <https://www.gbe-bund.de/gbe> (Zuletzt aufgerufen am 22.10.2022)
151. Steensma M, Boland PJ, Morris CD, Athanasian E, Healey JH. Endoprosthetic treatment is more durable for pathologic proximal femur fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470(3): 920–926.
152. Stöckle U, Lucke M, Haas NP. Zertifizierte medizinische Fortbildung: Der Oberschenkelhalsbruch. *Dtsch Arztebl International* 2005; 102(49): A-3426/B-2894/C-2710.
153. Taeger G, Schmid C, Zettl R, Schweiberer L, Nast-Kolb D. Die stabile und instabile pertrochantäre Femurfraktur. Differenzierte Indikationsstellung für die dynamische Hüftschraube. *Der Unfallchirurg* 2000; 103: 741–748.
154. Tendulkar AP, Victorino GP, Chong TJ, Bullard MK, Liu TH, Harken AH. Quantification of Surgical Resident Stress “On Call”. *J Am Coll Surgeons* 2005; 201(4): 560–564.
155. Towle KM, Monnot AD. An Assessment of Gender-Specific Risk of Implant Revision After Primary Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Arthroplasty* 2016; 31(12): 2941–2948.
156. Tsang C, Boulton C, Burgon V, Johansen A, Wakeman R, Cromwell DA. Predicting 30-day mortality after hip fracture surgery: Evaluation of the National Hip Fracture Database case-mix adjustment model. *Bone Joint Res* 2017; 6(9): 550–556.
157. van de Ree CLP, de Jongh MAC, Peeters CMM, de Munter L, Roukema JA, Gosens T. Hip Fractures in Elderly People: Surgery or No Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 2017; 8(3): 173–180.
158. Warren J, Sundaram K, Anis H, et al. The association between weight-bearing status and early complications in hip fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019; 29(7): 1419–1427.

159. Widhalm HK, Arnhold R, Beigböck H, Munteanu A, Lang NW, Hajdu S. A Comparison of Dynamic Hip Screw and Two Cannulated Screws in the Treatment of Undisplaced Intracapsular Neck Fractures—Two-Year Follow-Up of 453 Patients. *J Clin Med* 2019; 8(10): 1670.
160. Winter E, Weise K. Die pertrochantere Femurfraktur. *OP-Journal* 2002; 18(2): 132–140.
161. Yam M, Chawla A, Kwek E. Rewriting the tip apex distance for the proximal femoral nail anti-rotation. *Injury* 2017; 48(8): 1843–1847.
162. Zhang, Q, Guo W, Chen Y, Zhao Q, Liu Z, Wang W. The Glycosaminoglycan Content of Hip Cartilage in Osteonecrosis of Femoral Head: Evaluation with Delayed Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Imaging of Cartilage. *Cartilage* 2021, 12(1): 70–75.
163. Zhang YL, Zhang W, Zhang CQ. A new angle and its relationship with early fixation failure of femoral neck fractures treated with three cannulated compression screws. *Orthop Traumatol: Surg Res* 2017; 103(2): 229–234.

7 Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anordnung der Trabekel aufgrund einwirkender Kräfte	9
Abbildung 2: Darstellung der Anatomie des Hüftgelenks	10
Abbildung 3: Illustration der Blutversorgung des Hüftkopfes	12
Abbildung 4: Darstellung der Einteilung proximaler Femurfrakturen	13
Abbildung 5: Darstellung der AO- Klassifikation	16
Abbildung 6: Darstellung der Pauwels-Klassifikation.....	18
Abbildung 7: Darstellung der Garden-Klassifikation	19
Abbildung 8: Darstellung der Pohlschen Laschenschraube	24
Abbildung 9: Illustration des Tip-Apex-Abstands mit der entsprechenden Gleichung zur Korrektur der Röntgenvergrößerung	33
Abbildung 10: Bestimmung des Tip-Apex Abstand	34
Abbildung 11: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Tip-Apex-Abstand und der Revisionsbedürftigkeit für männliche Probanden mit einer nach AO Typ B Fraktur ..	45
Abbildung 12: Frakturspezifische Risikofaktoren auf die Revisionsbedürftigkeit	45
Abbildung 13: Darstellung der Bestimmung des Tip-Apex-Abstand (A) und dem Tip-Calcar-Abstand (B), wobei die Orientierung in der Sagittalebene (C) bestehen bleibt	48

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Früh- und Spätkomplikationen bei der Behandlung proximaler Femurfrakturen.....	27
Tabelle 2: Übersicht Demografie und Klinik Gesamtkollektiv	36
Tabelle 3: AO-Klassifikation Gesamtkollektiv	38
Tabelle 4: Übersicht Demografie und Klinik in Relation zur Revisionsbedürftigkeit...	39
Tabelle 5: AO-Klassifikation in Relation zur Revisionsbedürftigkeit.....	41
Tabelle 6: Gruppenunterschiede Revisionsbedürftigkeit in Abhängigkeit der AO-Klassifikation	42
Tabelle 7: Logistische Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses der Studienvariablen auf das Auftreten einer Revision.....	44

7.3 Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen