

Diplomarbeit

Die Osteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur bei über 65-jährigen Patient*innen

eingereicht von

Niklas Eduard Werner Pfeiler

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an dem

LKH Oststeiermark in der Abteilung für Orthopädie und Traumatologie &
am Lehrstuhl für makroskopische und klinische Anatomie Graz

unter der Anleitung von

Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med.univ. Dr.ⁱⁿ scient.med. Gloria Hohenberger

Prim. Dr. Walter Prager

Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med.univ. Dr.ⁱⁿ scient.med. Bettina Pretterklieber,

Bakk.rer.nat.

Graz, am 24.07.2024

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 24.07.2024

Niklas Eduard Werner Pfeiler eh.

Danksagung

Allen voran möchte ich Ihnen, liebe Fr. Dr. Hohenberger und liebe Fr. Dr. Pretterklieber, herzlichst für die Möglichkeit danken, diese Diplomarbeit in der Abteilung für Orthopädie und Traumatologie des Landeskrankenhauses Oststeiermark und des Lehrstuhls für makroskopische und klinische Anatomie der Medizinischen Universität Graz verfassen zu können. Meine tief empfundene Dankbarkeit gilt Ihrer nicht nachlassenden Unterstützung, Ihrer beider ausgeprägter Hilfsbereitschaft und Ihrer wertvollen, konstruktiven Verbesserungsvorschläge bei der schriftlichen Gestaltung dieser Arbeit. Für Ihre große Geduld bei der regelmäßigen und verständlichen Beantwortung meiner vielen Fragen auf Basis Ihres hohen Wissens mit ebenso hoher Praxisrelevanz erlaube ich mir Ihnen hohen Respekt zu zollen. Auch empfinde ich Dankbarkeit an die Kollegen und Kolleginnen der medizinischen Universität Graz, die sowohl im administrativen als auch im wissenschaftlichen Umfeld mir immer das Gefühl gaben, mich in dem ausgesprochen interessanten Studium zu begleiten, zu fordern und zu fördern und mir zugleich eine soziale Heimat boten.

Ein aufrichtiges Dankeschön geht insbesondere an meine Eltern und meine Großeltern, die nicht nur stets an mich geglaubt haben, sondern auch immer fest von meiner medizinischen Profession überzeugt waren. Ganz herzlichen Dank, dass ihr mir diesen Lebensweg ermöglicht habt und mir nicht nur bei gutem Wetter, sondern auch in Stürmen zur Seite gestanden seid.

Christoph mein bester Bruder, du hast mir mit deinem Optimismus immer weitergeholfen, wenn ich „Lost-in-Space“ war. Zugleich war dein Mantra „Alles im Leben erreichen zu können, wenn man es wirklich will“ für mich immer Ansporn und Anspruch zugleich.

Liebe Adina, du hast wie kein anderer unmittelbar erlebt, wie intensiv sich diese Zeit des Arbeitens an der Diplomarbeit für mich offenbarte. Danke für deine Zuspruch, die Geduld, Unterstützung und Liebe. Das werde ich dir nie vergessen!

Nicht zuletzt ist es mir wichtig, mich bei meinen Freunden Andi und Hofi zu bedanken. Vielen Dank für die lustigen, emotionalen, leichten und schweren Zeiten, die wir miteinander durchlebt haben. Danke für euer immer offenes Ohr, auch wenn sich dieses manchmal längst hätte schlafen legen wollen.

Zusammenfassung

Die Inzidenz von Schenkelhalsfrakturen steigt angesichts der zunehmenden Alterung der Bevölkerung. Schenkelhalsfrakturen gehören zu den häufigsten Frakturtypen bei Erwachsenen, wobei besonders ältere Personen von den potenziell gravierenden Konsequenzen betroffen sind. Diese reichen von eingeschränkter Mobilität über Pflegebedürftigkeit bis hin zum Tod. Daher ist eine adäquate Therapiewahl essenziell, um das Risiko von Komplikationen zu reduzieren und eine effiziente Rehabilitation der Patient*innen zu fördern. Unsere retrospektive Untersuchung zielt darauf ab, die Eignung der Osteosynthese bei der Frakturversorgung zu evaluieren.

In dieser Studie wurde mittels retrospektiver Analyse die Häufigkeit von Komplikationen und die Reoperationsraten nach Osteosynthese von Schenkelhalsfrakturen mit drei kanülierten Schrauben bei Patient*innen über 65 Jahren untersucht. Insgesamt wurden 36 Fälle identifiziert, die im Landeskrankenhaus Oststeiermark/Standort Feldbach aufgrund einer Schenkelhalsfraktur osteosynthetisch versorgt wurden. Die Reoperationsrate betrug 8,3 % bei einer durchschnittlichen Zeitspanne bis zur Reoperation von 29,3 Tagen. Die Rate der postoperativen Komplikationen betrug 16,6 %. Der posterior tilt betrug bei zwei Patient*innen $\geq 20^\circ$, wobei in einem Fall eine Reoperation notwendig war. Die Reoperationsrate bei einem posterior tilt $< 20^\circ$ betrug 5,88 %. Die Daten deckten sich zwar größtenteils mit der aktuellen Studienlage, jedoch konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gezeigt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen kann die osteosynthetische Versorgung der Schenkelhalsfraktur bei Patient*innen über 65 Jahre als risikoarme Behandlungsoption betrachtet werden. Zusätzliche neue Studien mit Anpassungen im Studiendesign sind notwendig, um aussagekräftigere Daten zu generieren. Als Anpassungen sind ein größeres Patient*innenkollektiv, prospektives und multizentrisches Studiendesign, die Etablierung einer Kontrollgruppe und der Miteinbezug von weiteren Qualitätskriterien der operativen Versorgung vorzuschlagen.

Abstract

The incidence of femoral neck fractures is increasing considering the aging population. Femoral neck fractures are among the most common types of fractures in adults, with older individuals particularly affected by the potentially severe consequences, ranging from limited mobility to dependency on care and even death. Therefore, selecting an appropriate therapy is essential to reduce the risk of complications and promote efficient patient rehabilitation. Our retrospective study aims to evaluate the suitability of osteosynthesis in fracture management.

In this study, the frequency of complications and reoperation rates following osteosynthesis of femoral neck fractures using three cannulated screws in patients elder than 65 years was examined through retrospective analysis. A total of 36 cases were identified, which were treated osteosynthetically for femoral neck fractures at the State Hospital East Styria/Location Feldbach. The reoperation rate was 8.3% with an average time to reoperation of 29.3 days. The rate of postoperative complications was 16.6%. Posterior tilt $\geq 20^\circ$ in two patients, one of whom required reoperation. The reoperation rate for a posterior tilt $< 20^\circ$ was 5.88%. Although the data largely aligned with current literature, no statistically significant associations could be demonstrated. Based on these results, osteosynthetic treatment of femoral neck fractures in patients over 65 can be considered a low-risk treatment option. However, further studies with adjustments in study design, a larger patient cohort, prospective and multicenter study designs, establishment of a control group, and inclusion of additional quality criteria of surgical care are necessary to generate more comparable data.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	III
ZUSAMMENFASSUNG	IV
ABSTRACT	V
INHALTSVERZEICHNIS	VI
GLOSSAR.....	VIII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	X
1 EINLEITUNG	1
1.1 ANATOMIE.....	2
1.1.1 Die Osteologie des Femur	2
1.1.2 Das Hüftgelenk	9
1.1.3 Die arterielle Blutversorgung des proximalen Abschnitts des Femur	13
1.1.4 Die sensible Innervation der Hüftgelenkscapsel	15
1.1.5 Die Hüft- und Gesäßmuskulatur	17
1.2 FRAKTUR IM ALLGEMEINEN	24
1.2.1 Die Definition einer Fraktur	24
1.2.2 Die AO-Klassifikation	25
1.2.3 Die Knochenheilung	26
1.2.4 Die Risiken und Komplikationen	28
1.2.5 Die Knochenheilungsstörungen	29
1.3 SCHENKELHALSFRAKTUR.....	30
1.3.1 Definition	30
1.3.2 Epidemiologie	30
1.3.3 Ätiologie.....	30
1.3.4 Diagnostik.....	31
1.3.5 Klassifikationen.....	33
1.3.6 Therapie.....	37
1.3.7 Prävention	46
1.4 ZIEL DER DIPLOMARBEIT	47
1.4.1 Einordnung der bestehenden Klassifikationen.....	47
1.4.2 Einführung des Posterior tilt	47
1.4.3 Nullhypothese	48

2	MATERIAL UND METHODEN	49
2.1	ETHIKVOTUM.....	49
2.2	VERFAHRENSMODELL	49
2.3	PATIENT*INNENAKQUISE	50
2.4	PATIENT*INNENCHARAKTERISTIKA	50
2.5	BESTIMMUNG DES POSTERIOR TILT.....	51
2.6	STATISTISCHE ANALYSE	52
3	ERGEBNISSE.....	53
3.1	DESKRIPTIVE STATISTIK	53
3.2	ZUSAMMENHÄNGE MIT POSTOPERATIVEN KOMPLIKATIONEN UND IMPLANTATVERSAGEN	55
4	DISKUSSION.....	59
4.1	LIMITATIONEN	63
4.2	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	63
5	LITERATURVERZEICHNIS	65
6	ANHANG.....	73

Glossar

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
a.p.	anterior-posterior
Art.	Articulatio
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ACFM	Arteria circumflexa femoris medialis
ACFL	Arteria circumflexa femoris lateralis
ASA	American Society of Anesthesiologists
BMI	Body-Mass-Index
CCD	Collodiaphysenwinkel (= Centrum-Collum-Diaphysenwinkel)
CHS	Kanülierte Hüftschraube
CT	Computertomographie
DHS	Dynamische Hüftschraube
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MCL	Mittlere Collumlinie
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Medianwert
N.	Nervus
OP	Operation
p	Statistisches Signifikanzniveau
r	Rangkorrelationskoeffizient (nach Spearman-Rho)
R.	Ramus
Rr.	Rami
RCL	Radius Collumlinie
SD	Standardabweichung
α	Neigungswinkel des posterior tilt

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:	PROXIMALER TEIL EINES RECHTEN FEMUR.....	3
ABBILDUNG 2:	CCD-WINKEL	4
ABBILDUNG 3:	PROXIMALER TEIL EINES RECHTEN FEMUR, FRONTALSCHNITT MIT TRABEKELSTRUKTUR	5
ABBILDUNG 4:	PROXIMALER TEIL EINES LINKEN FEMUR, TRABEKELSTRUKTUR IM FRONTALSCHNITT	6
ABBILDUNG 5:	FEMUR, LINKS (ABGEBILDET VON DORSAL); RECHTS (ABGEBILDET VON VENTRAL)	8
ABBILDUNG 6:	VENTRAL ERÖFFNETE HÜFTKAPSEL RECHTS.....	9
ABBILDUNG 7:	HÜFTGELENK RECHTS ERÖFFNET.....	10
ABBILDUNG 8:	HÜFTGELENK RECHTS MIT MEMBRANA FIBROSA UND KAPSELVERSTÄRKENDEN BÄNDERN	12
ABBILDUNG 9:	ARTERIELLE BLUTVERSORGUNG DES CAPUT UND COLLUM FEMORIS	13
ABBILDUNG 10:	INNERVATION EINER LINKEN HÜFTGELENKSKAPSEL.....	15
ABBILDUNG 11:	NERVENVERLAUF SCHEMATISCH.....	16
ABBILDUNG 12:	RECHTES BECKEN, MEDIANSAGITTALSCHNITT	17
ABBILDUNG 13:	HÜFTE RECHTS (ABGEBILDET VON DORSOLATERAL)	19
ABBILDUNG 14:	HÜFTGELENK RECHTS.....	21
ABBILDUNG 15:	MEDIALE OBERSCHENKELMUSKELN, OBERSCHENKEL RECHTS	23
ABBILDUNG 16:	AO-KLASSIFIKATION PROXIMALER TEIL EINES RECHTEN FEMURS.....	34
ABBILDUNG 17:	KLASSIFIKATION NACH GARDEN	35
ABBILDUNG 18:	KLASSIFIKATION NACH PAUWELS	36
ABBILDUNG 19:	DYNAMISCHE HÜFTSCHRAUBE MIT ANTIROTATIONSSCHRAUBE.....	40
ABBILDUNG 20:	DREI KANÜLIERTE HÜFTSCHRAUBEN RECHTS	41
ABBILDUNG 21:	A.P. RÖNTGENAUFNAHME DES BECKENS.....	45
ABBILDUNG 22:	VERFAHRENSMODELL DES STUDIENDESIGNS	49
ABBILDUNG 23:	MESSUNG DES POSTERIOR TILT	51
ABBILDUNG 24:	HÄUFIGKEITSVERTEILUNG NACH REOPERATION AUFGRUND VON IMPLANTATVERSAGEN	56
ABBILDUNG 25:	BOXPLOT ZUM AUFTRETEN POSTOPERATIVER KOMPLIKATIONEN.....	57
ABBILDUNG 26:	BOXPLOT ZUM AUFTRETEN VON REOPERATIONEN BEI IMPLANTATVERSAGEN	58

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:	TESTUNG METRISCHER METADATEN	52
TABELLE 2:	DESKRIPTIVE STATISTIK METRISCHER METADATEN	54
TABELLE 3:	STATISTISCHE ZUSAMMENHÄNGE MIT POSTOPERATIVEN KOMPLIKATIONEN SOWIE REOPERATIONS-RATEN	55
TABELLE 4:	KORRELATION OPERATIONSINTERVALL MIT POSTOPERATIVEN KOMPLIKATIONEN UND MIT REOPERATIONEN ...	57

1 Einleitung

Die demographisch feststellbare Alterung unserer Gesellschaft sowie die damit einhergehende Erhöhung der Lebenserwartung führen zu einem kontinuierlichen Anstieg altersbedingter osteoartikulärer Pathologien, die insbesondere orthopädisch/traumatologisch versorgt werden (1,2). In diesem Kontext nimmt die Bedeutung der medialen Schenkelhalsfraktur bei älteren Patient*innen weiter zu (1). Diese Fraktur entsteht im höheren Lebensalter oft aufgrund von Bagatell-Traumata, am häufigsten bereits durch Osteoporose verändertes Knochengewebe (3). Für viele ältere Patient*innen wird die mediale Schenkelhalsfraktur ein einschneidendes Ereignis. Menschen, die zuvor noch autonom ihren Alltag bewältigt hatten, sind plötzlich auf Grund der Fraktur und der damit verbundenen Einschränkungen hilfsbedürftig und auf Pflege angewiesen. Hieraus resultieren nicht selten diverse Komorbiditäten infolge prolongierter hospitalisierter Aufenthalte, die das Patient*innenwohl zusätzlich beeinträchtigen können (4).

Das primäre Behandlungsziel jeder operativen Therapie ist eine rasche Remobilisierung der Patient*innen. Ein längerer immobilisierender stationärer Aufenthalt sollte auf Grund des damit einhergehenden Komplikationsrisikos vermieden werden. Ziel ist es daher die Mobilität so gut und so schnell wie möglich wiederherzustellen (5). Als Alternative zur operativen Versorgung mittels Endoprothetik gibt es gerade bei wenig dislozierten Brüchen die Möglichkeit der osteosynthetischen Versorgung der medialen Schenkelhalsfraktur (6).

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit verfolgt das Ziel, anhand einer retrospektiven Analyse die Reoperationsrate nach Osteosynthese von medialen Schenkelhalsfrakturen bei Patient*innen über 65 Jahren zu ermitteln. Anhand dieser gewonnenen Daten wird eine Einordnung in die bereits gewonnenen Erkenntnisse zu diesem Thema erfolgen. Es wird überprüft ob der Neigungswinkel nach medialer Oberschenkelhalsbruch, der „posterior tilt“ als geeigneter Prädiktor der Reoperationswahrscheinlichkeit valide ist.

1.1 Anatomie

1.1.1 Die Osteologie des Femur

Der Oberschenkelknochen, das Femur, ist die knöcherne Grundlagen des Oberschenkels und befindet sich zwischen dem Hüftknochen, dem Os coxae und dem Unterschenkel, dem Crus. Daher ist er sowohl an der Bildung des Hüftgelenks, als auch an der Bildung des Kniegelenks beteiligt (7,8). Dieser Knochen lässt sich in mehrere Teile untergliedern.

Teile des Oberschenkelknochens von körperstammnah (proximal) nach körperstammfern (distal):

- Oberschenkelkopf, das Caput femoris
Dieser ellipsoid geformte Knochenteil befindet sich am proximalsten. Er bildet als Gelenkskopf zusammen mit der Hüftgelenkspfanne, dem Acetabulum, das Hüftgelenk (7,8).
- Oberschenkelhals, das Collum femoris
Distal des Oberschenkelkopfes verbindet dieser Knochenteil den Oberschenkelkopf mit dem distal folgenden Oberschenkelschaft, dem Corpus femoris. Der Oberschenkelhals wird proximal durch die Knorpel-Knochen-Grenze des Oberschenkelkopfes und distal durch die Wurzeln des großen und kleinen Rollhügels, des Trochanter major et minor begrenzt (7,8).
- Oberschenkelschaft, das Corpus femoris
Als diaphysärer Teil des langen Röhrenknochens beginnt das Corpus femoris distal der beiden Trochanteren und reicht bis zur distalen Epiphyse (7,8)
- Großer und kleiner Rollhügel, Trochanter major und Trochanter minor
Als eigenständige Knochenkerne, Apophysen entstanden, fungieren sie als Anheftungsbereiche verschiedener Muskeln. Diese Apophysen markieren den Übergang vom Collum femoris auf das Corpus femoris (7,8)
- Innerer und äußerer Gelenksknorren, Condylus medialis und Condylus lateralis
Am distalen Ende des Oberschenkelschaftes bilden diese die proximalen Gelenksflächen des Kniegelenks und fungieren als Anheftungsbereiche für verschiedene Muskeln (7,8).

1.1.1.1 Das Caput femoris, der Oberschenkelkopf

Der Oberschenkelkopf besteht aus spongiossem Knochengewebe, das nur von einer dünnen Kortikalis überzogen ist. Er ist ungefähr 2/3 zu einer Kugel geformt, wobei diese in anteroposteriorer Richtung komprimiert ist (siehe Abbildung 1) (9-11).

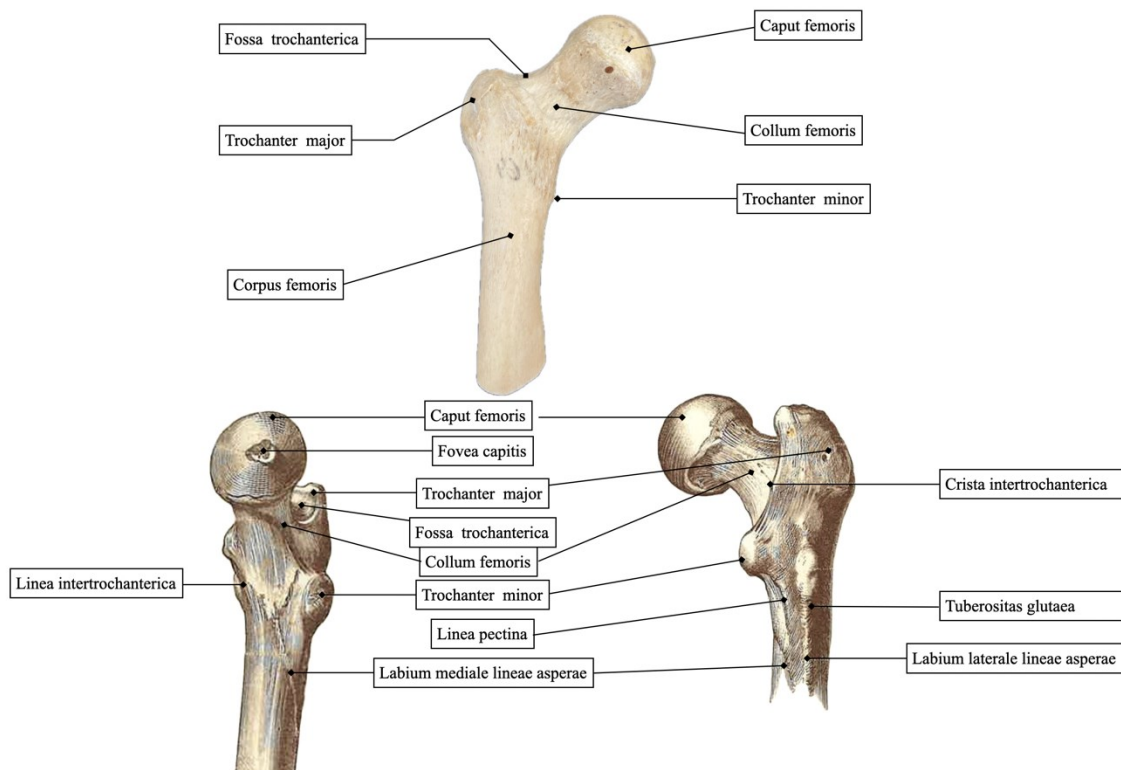


Abbildung 1: Proximaler Teil eines rechten Femur (links von medial; oben von ventral; rechts von dorsal). Knochenpräparat mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Prettertklieber; Zeichnungen adaptiert nach Toldt et al. (11)

Die Oberfläche des ellipsoiden Oberschenkelkopfes ist, bis auf eine kleine, dreieckige Grube, zu 2/3 mit hyalinem Knorpel bedeckt (10). Diese Überknorpelung ist nicht kreisrund abgeschlossen, sondern weist sowohl ventral als auch dorsal am Übergang zum Collum femoris eine Einbuchtung auf (12). Außerdem variiert die Dicke des Knorpelüberzugs, wobei die Hauptbelastungszonen in der Mitte am dicksten überknorpelt sind und die Dicke des Knorpels zum Rand hin flacher wird (10). Im posteromedialen Quadranten des Kopfes findet sich die Fovea capitis femoris. In dieser verbindet ein gefäßführendes, locker bindegewebiges Band, das Lig. capitis femoris, die Fovea capitis femoris mit dem Rand der Incisura acetabuli und dem Lig. transversum acetabuli (9). Die A. capitis femoris verläuft in

diesem Band als Ast der A. obturatoria und versorgt partiell den medialen Anteil des Hüftkopfes (8,10).

1.1.1.2 Das Collum femoris, der Oberschenkelhals

Der Oberschenkelhals verbindet den Oberschenkelkopf mit dem Oberschenkelschaft (7,8). Er besteht zentral aus Substantia spongiosa, die nur von einer dünnen Kortikalis überzogen ist und ähnelt einem ventral und dorsal abgeplatteten Zylinder (siehe Abbildung 1) (12). Proximal reicht der Oberschenkelhals an die überknorpelte Fläche des Oberschenkelkopfes heran (12,13). Die distale Grenze zwischen Collum femoris und Corpus femoris wird ventral durch die Linea intertrochanterica und dorsal durch die Crista intertrochanterica markiert (12). An der Linea intertrochanterica setzt die Membrana fibrosa der Hüftgelenkscapsel (bzw. das Lig. iliofemorale) an. Die Crista intertrochanterica liegt außerhalb der Kapselan-satzlinie und somit extrakapsulär (8).

Der CCD-Winkel (Collodiaphysenwinkel/Centrum-Collum-Diaphysenwinkel)

Der Winkel zwischen den Längsachsen des Collum femoris und des Corpus femoris wird als Collodiaphysenwinkel bezeichnet (siehe Abbildung 2) (14). Gemessen wird dieser Win-

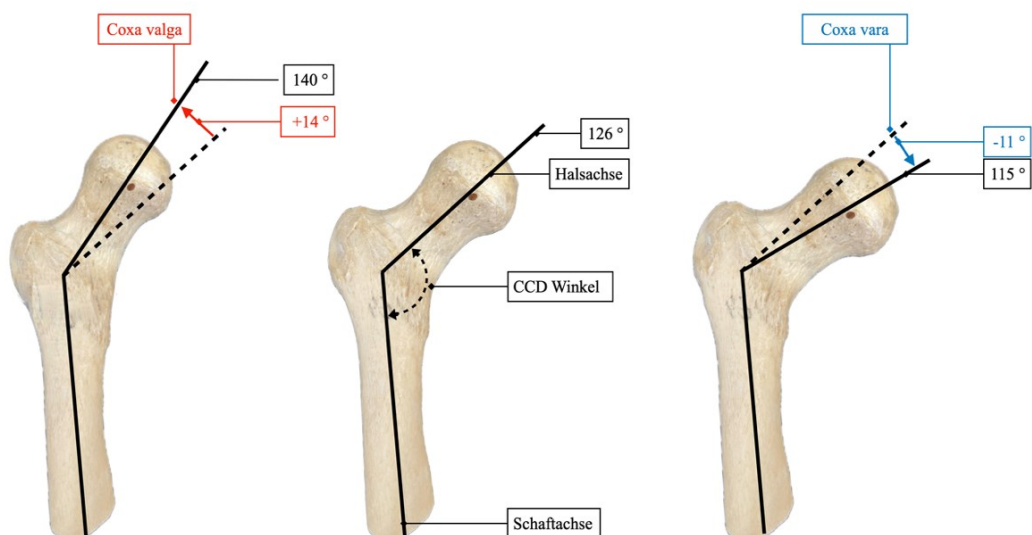


Abbildung 2: CCD-Winkel, proximaler Teil eines rechten Femur (links: Coxa valga; Mitte: Norm; rechts: Coxa vara). Knochenpräparate mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Pretterkieber; Achsenverläufe adaptiert nach Niethard et al. (14)

kel mittels Röntgenaufnahme durch das Legen der Achsen durch Collum und Corpus femoris (12). Dieser Winkel weist im Durchschnitt bei einem Erwachsenen einen Wert von etwa 126° auf und unterliegt einer Schwankungsbreite zwischen 115° und 140° (8,12). Ist der CCD-Winkel im Bereich von $115-120^\circ$ wird die Hüfte als Coxa vara, liegt er im Bereich $128-140^\circ$ als Coxa valga bezeichnet (8).

Die Knochenstruktur des Collum femoris

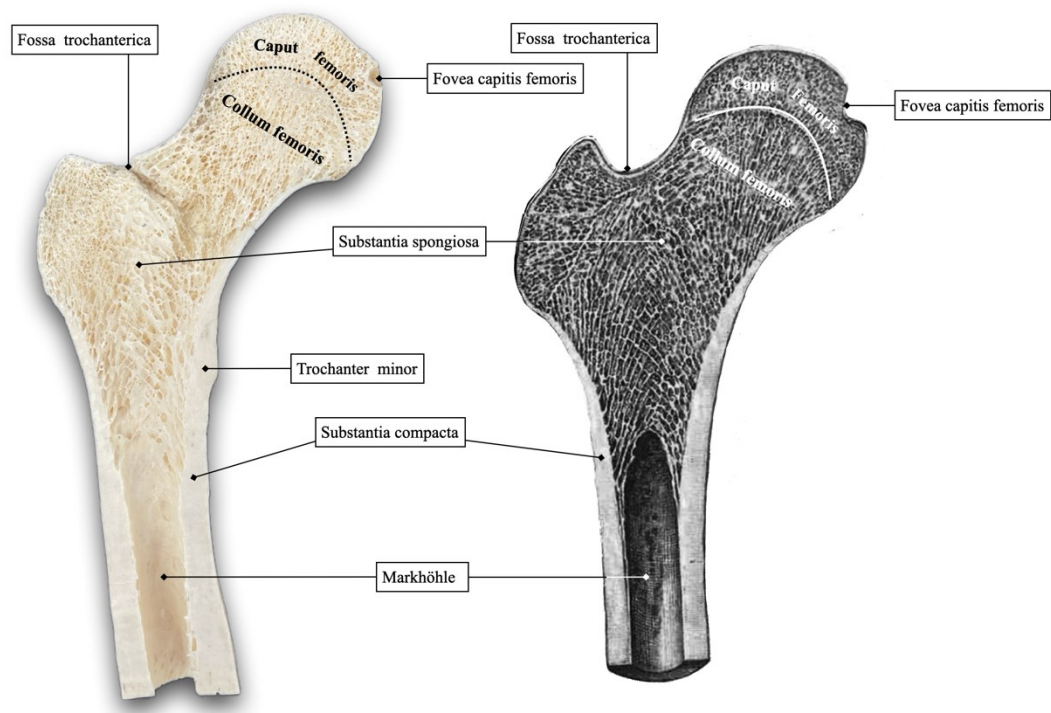


Abbildung 3: Proximaler Teil eines rechten Femur, Frontalschnitt mit Trabekelstruktur (abgebildet von ventral). links: Knochenpräparat mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Prettertklieber; rechts: Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

Als metaphysärer Knochenabschnitt ist die trabekuläre Knochenstruktur der Substantia spongiosa des Collum femoris stark ausgeprägt (siehe Abbildung 3) (7). Die Substantia compacta oder Kortikalis bildet mit ihren parallel ausgerichteten Knochenzellen (Osteonen) die äußere Schale (13). Im Oberschenkelhals wird die Substantia spongiosa durch eine horizontal und eine vertikal verlaufende innere Knochensäule verstärkt (12). Dieses dreidimensionale System präsentiert sich im Röntgen- und anatomischen Schnittbild zweidimensional als Bogenstrukturen, die auch als Trabekelsäulen bezeichnet werden (8,12). Dieses System dient zur Aufnahme von Zug- und Druckbelastungen, die auf den Knochen wirken (siehe Abbildung 4) (8). Dieses System ist dynamisch und sehr adaptiv. Durch strukturellen Umbau

ist es in der Lage sich an physiologische oder pathologische Veränderungen des Belastungsmusters anzupassen (10). Um die Stabilität der Kortikalis zu verstärken, sind beide Säulen eng mit dieser verwachsen (13). Die spiralförmige horizontale Säule beginnt am proximalen lateralen Teil des Oberschenkelchaftes und endet am distalen medialen Teil des Oberschenkelhalses und Oberschenkelkopfes (10). Auf Grund dieser Ausrichtung nimmt diese Trabekelsäule vor allem die Zugbelastungen auf (9,10). Die vertikale Säule hingegen beginnt im proximalen medialen Femurschaftbereich, teilt sich und endet einerseits an der Kortikalis

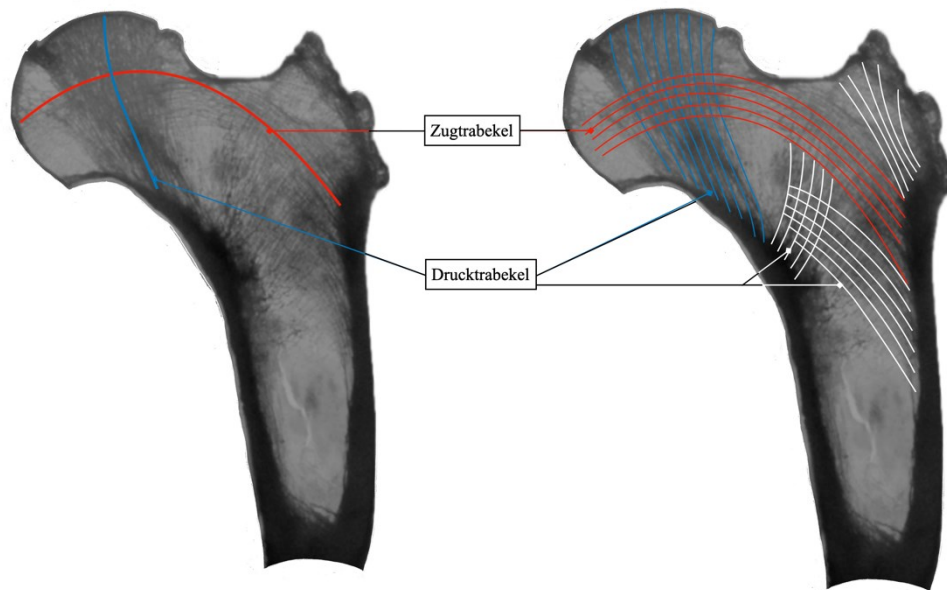


Abbildung 4: Proximale Teile eines linken Femurs, Trabekelstruktur im Frontalschnitt.
Epoxidharz-Plastination mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Prettertklieber

des großen Rollhügels und andererseits im proximalen medialen Bereich des Femurkopfes (12). Sie nimmt vor allem Druckbelastungen auf, die durch die Last des Körperstamms entstehen und über das Becken auf den Oberschenkel übertragen werden (10). Auch die Kortikalis, als außen gelegene Knochenschicht ist im Bereich des Collum femoris verstärkt. Die Verstärkung des medialen Teils, der sich an der medialen Seite des Halses befindet und sich bis zum Knorpelrand des Schenkelhalses erstreckt, wird als sogenanntes „Calcar femorale“ bezeichnet (13).

1.1.1.3 Das Trochantermassiv

Der lateral liegende Trochanter major und der dorsomedial liegende Trochanter minor sind Apophysen mit eigenen Knochenkernen und fungieren als Anheftungsstellen für Muskelsehnen (siehe Abbildung 1) (8). Die schwache ventrale Knochenleiste, die beide Trochantere verbindet, wird als Linea intertrochanterica bezeichnet (13). Dorsal ist diese Verbindungslinie zwischen den Trochanteren als stärkerer Knochenkamm ausgeprägt, die Crista intertrochanterica (13). An der Außenfläche des Trochanter major setzen die Mm. glutei medius et minimus an. An seiner Spitze ist die Sehne des M. piriformis befestigt. Die mediale Fläche des Trochanter major dient dem M. obturatorius internus sowie den Mm. gemelli superior et inferior als Ansatzfläche (13). Der M. obturatorius externus setzt in der Fossa trochanterica, einer Grube an der Wurzel des Trochanter major, an. Am medialen Ende der Crista intertrochanterica befindet sich der Trochanter minor, der dem Großteil des M. iliopsoas als Ansatzpunkt dient (13).

1.1.1.4 Das Corpus femoris, der Oberschenkelschaft

Das Corpus femoris, der Oberschenkelschaft ist nach ventral leicht konvex gekrümmt (8). Dorsal bildet sich eine starke, vertikal verlaufende Knochenleiste, die Linea aspera (siehe Abbildung 5). Diese Struktur wird in ein Labium mediale und ein Labium laterale unterteilt (13). Diese beiden Knochenleisten fungieren als Ansatz und Ursprung für einige Oberschenkelmuskeln. Proximal setzt sich das Labium laterale in eine knöcherne Rauigkeit, die Tuberositas glutea, fort. Diese bildet den knöchernen Ansatzbereich für einen Teil des M. gluteus maximus und den M. adductor minimus (13). Die beiden Labia weichen im distalen Drittel des Femur sukzessiv weiter auseinander und erreichen so als Lineae supracondylares medialis et lateralis die Condyli medialis et lateralis (8). Zwischen diesen beiden Linien wird auf der Oberschenkelrückseite ein dreieckiges Feld, die Facies poplitea begrenzt. Distal wird diese Fläche durch die Linea intercondylaris begrenzt. Diese befindet sich auf Höhe des proximalen Endes der beiden Kondylen. Distal der Linea intercondylaris befindet sich zwischen den beiden Kondylen die Fossa intercondylaris (8). Am distalen Ende des Femur verdickt sich der Knochen zu den Condyli medialis et lateralis, wobei der Condylus medialis stärker ausgeprägt ist. Diesen gelenkbildenden Teilen ist medial der Epicondylus medialis und lateral der Epicondylus lateralis aufgesetzt. Eine höckerartige Erhabenheit im proximalen Bereich des Epicondylus medialis wird als Tuberculum adductorium bezeichnet und dient als

Ansatz für die ischicondyläre Portion des M. adductor magnus (8). Die Kondylen, die Gelenksknorren sind mit hyalinem Knorpel bedeckt und artikulieren im Kniegelenk mit der Tibia und den Menisci. Außer im Bereich der oben erwähnten Fossa intercondylaris sind die Gelenksflächen vereint. Ventral werden die Gelenksknorren schlanker und bilden als Facies patellaris die Gelenkfläche für die Kniescheibe, Patella (13).

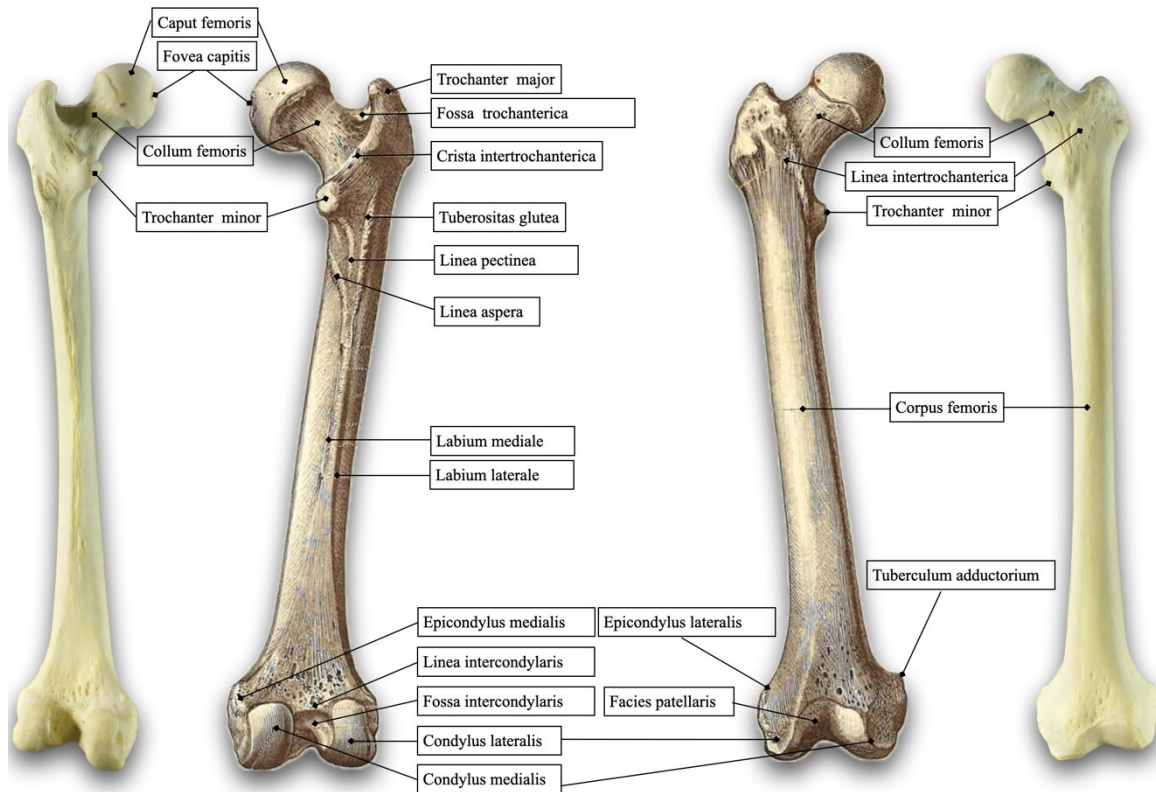


Abbildung 5: Femur, Links (abgebildet von dorsal); Rechts (abgebildet von ventral). Knochenpräparat linkes Femur mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Pretterkieber; Zeichnungen rechtes Femur adaptiert nach Toldt et al. (11)

1.1.2 Das Hüftgelenk

Das Hüftgelenk ist ein synoviales Gelenk, eine Diarthrose mit zwei Gelenkpartnern und einem Gelenksspalt. Funktionell handelt es sich um eine Sonderform eines Kugelgelenks,

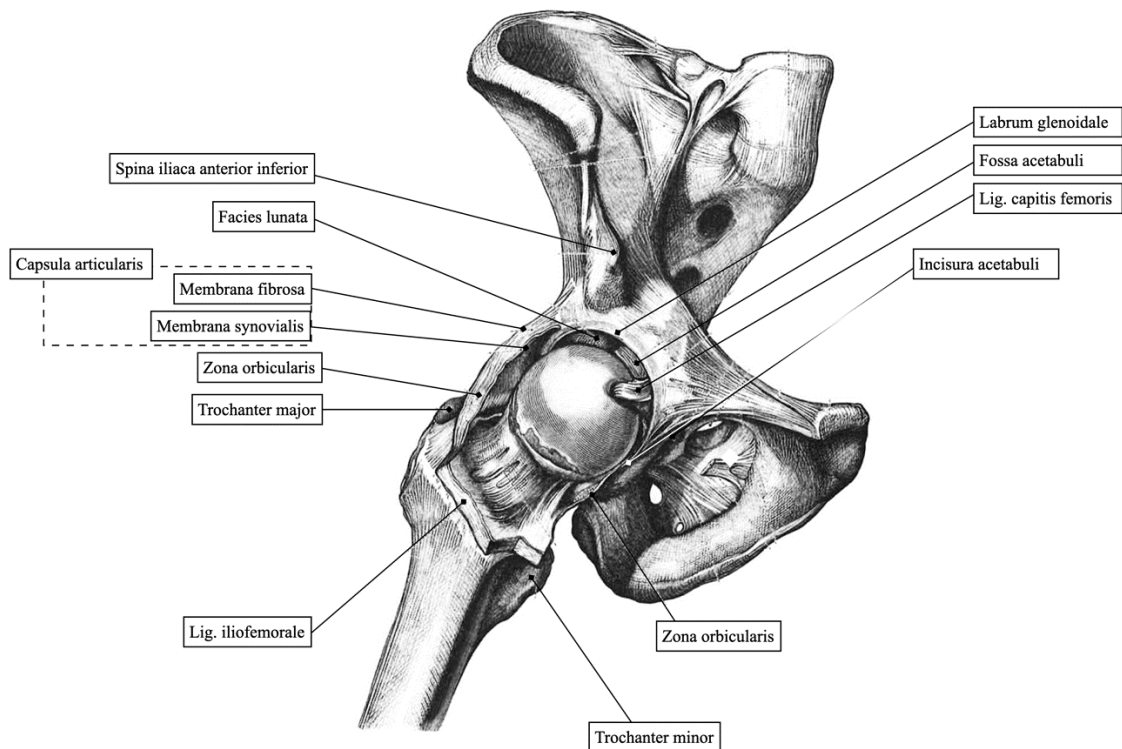


Abbildung 6: Ventral eröffnete Hüftkapsel rechts (abgebildet von ventral).
Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

einer Art. spheroida (8). Auf Grund der Einfassung eines Großteils des Caput femoris durch die Hüftgelenkspfanne, das Acetabulum, wird das Hüftgelenk als Nussgelenk, Art. cotylica bezeichnet (8). Bildlich kann man den Oberschenkelkopf in der Pfanne mit einer Haselnuss vergleichen, bei der ca. 1/3 der Nussschale entfernt wurde. Am knöchernen Rand des Acetabulums, dem Limbus acetabuli ist eine ringförmige Lippe aus Faserknorpel, das Labrum acetabulare, befestigt. Dieses vergrößert als akzessorische Gelenkeinrichtung die Gelenkspfanne, verbessert die Kongruenz und bietet einen zusätzlichen Luxationschutz (siehe Abbildung 6) (8,10). Diese besondere Gelenkskonfiguration ermöglicht eine hohe Stabilität und Belastbarkeit mit gleichzeitig großen Bewegungsumfängen um die Anforderungen eines bipedalen, aufrechten Gangs zu erfüllen (13). Als Diarthrose sind die artikulierenden Gelenksflächen, des Caput femoris und die Facies lunata mit druckelastischem hyalinem Knorpel überzogen (13). Die Fossa acetabuli, der zentrale und caudale Teil des Acetabulum, ist

knorpelfrei (8). Sie wird durch einen synovialen Fettkörper ausgepolstert. Als Facies lunata wird der hyaline Knorpelbesatz bezeichnet, der die Fossa acetabuli halbmondförmig umschließt (siehe Abbildung 7) (13). Die Incisura acetabuli ist die Unterbrechung dieser überknorpelten Fläche und des Limbus acetabuli (13). Diese wird von einem straffen Band,

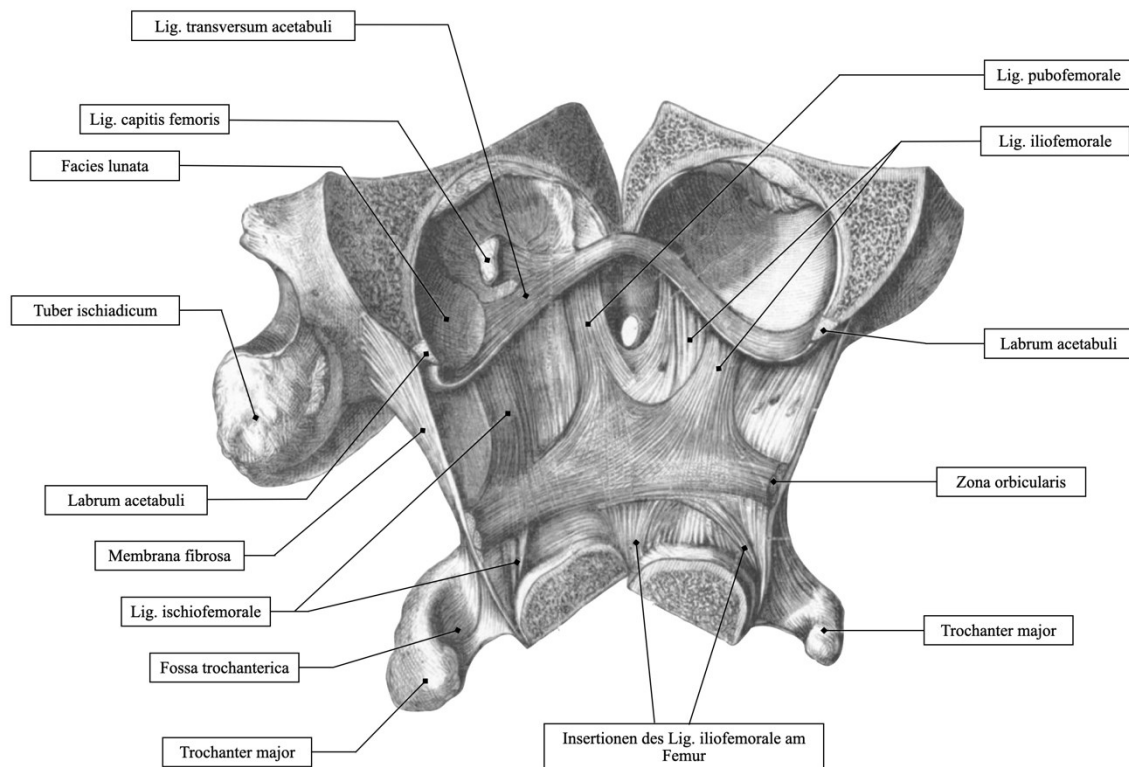


Abbildung 7: Hüftgelenk rechts eröffnet, Collum und Caput femoris entfernt, Frontalschnitt achsengerecht mit der Oberschenkelhalsachse (abgebildet von cranial). Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

dem Lig. transversum acetabuli, überbrückt. Auf diesem setzt sich auch das Labrum acetabuli fort und schließt einen Ring. Durch die Incisura acetabuli gelangt der R. acetabularis der A. obturatoria in die Fossa acetabuli und gibt auch einen Ast in das Lig. capitis femoris (A. capitis femoris) ab (13). In der Fossa acetabuli verzweigt sich der R. acetabularis profund des synovialen Fettkörpers. Das Lig. capitis femoris entspringt, gleich einem unsymmetrischen Kegelstumpf, breitbasig an den Rändern der Incisura acetabuli und dem Lig. transversum acetabuli (10). Synovial umscheidet, wird es im weiteren Verlauf schlanker und ist in der unregelmäßig begrenzten Fovea capitis femoris befestigt. Das Caput femoris ist als Ellipsoid grobsteils kongruent zur Gelenkpfanne und zu 2/3 mit hyalinem Knorpel überzogen. Die Fovea capitis ist knorpelfrei (13). Allerdings hat nie die gesamte Gelenkfläche des Caput femoris Kontakt zur Gelenkpfanne. Die maximale Kongruenz ist im Vierfüßlerstand bei 90°

Flexion, 5° Abduktion und 10° Außenrotation gegeben. Andernfalls hat immer ein Teil des überknorpelten Femurkopfes keinen Kontakt mit der Gelenkspfanne (13).

Die Gelenkkapsel, die Capsula articularis

Die innere Schicht der Capsula articularis, die Membrana synovialis, liegt der Membrana fibrosa von innen an. Sie bedeckt das Labrum acetabuli und ist im Bereich der Incisura acetabuli am Innenrand des Lig. transversum angewachsen. In der Fossa acetabuli bedeckt sie den synovialen Fettkörper und umscheidet das Lig. capitis femoris bis zu dessen Ansatz in der Fovea capitis (10). Im Bereich des Collum femoris schlägt sich die Membrana synovialis von der Membrana fibrosa auf den Knochen um und reicht bis zur Knorpel-Knochen-Grenze des Caput femoris. Dabei entstehen die sogenannten Retinakular-Falten, in denen Arterien zum Femurkopf gelangen (10).

Die äußere, straffe Gelenkkapsel, die Membrana fibrosa, ist proximal am Limbus acetabuli angewachsen (10). Im Bereich der Incisura acetabuli entspringt sie am Lig. transversum. Parallel dem Verlauf des Oberschenkelhalses folgend, ist sie an dessen distalen Grenzen befestigt. Ventral reicht sie dabei bis an die Linea intertrochanterica. Dorsal liegen nur die medialen 2/3 des Collum femoris intrakapsulär (13). Die Crista intertrochanterica und beide Trochanteren liegen somit extrakapsulär. Verstärkt wird die straffe Gelenkkapsel durch kräftige kapselverstärkende Bänder (siehe unten), die sich an der Innenseite in einer ringförmigen Struktur, der Zona orbicularis teilweise vereinen (13). Das Caput femoris wird von der Zona orbicularis wie ein Knopf in einem Knopfloch gehalten. Zusätzlich strahlen dorsal die tiefen Fasern des M. gluteus minimus sowie die gemeinsame Ansatzsehne der Mm. obturatorius internus, gemelleus superior et inferior in die Kapsel ein (9).

Die kapselverstärkenden Bänder, die Ligamenta

Das ventral liegende Lig. iliofemorale gleicht in seiner Form einem auf dem Kopf stehenden Y (13). Es entspringt proximal an einer Knochenrauigkeit des Beckens, der Spina iliaca anterior inferior. Die beiden Schenkel des Y sind einmal medial und einmal lateral an der Linea intertrochanterica angewachsen (siehe Abbildung 8). Zwischen diesen Anwachsungsstellen ist das sonst starke und dicke Band schwächer ausgeprägt. Medial verläuft das Lig. pubofemorale. Es entspringt proximal vom Ramus superior ossis pubis, der Eminentia iliopubica sowie der Crista obturatoria. Es verläuft im medialen Bereich der Kapsel nach distal. Im Verlauf fusioniert es mit dem medialen Schenkel des Lig. iliofemorale und ist mit diesem

gemeinsam medial an der Linea intertrochanterica befestigt (13). Als drittes kapselverstärkendes Band entspringt das Lig. ischiofemorale dorsalseitig am Corpus ossis ischii und verläuft spiralartig nach lateral zur Wurzel des Trochanter major. Außerdem vereint es sich im Bereich der Zona orbicularis mit den beiden anderen Bändern. (13). Diese drei Bänder spielen eine wichtige Rolle zur Erhaltung der Gelenkstabilität und zur Limitierung der Bewe-

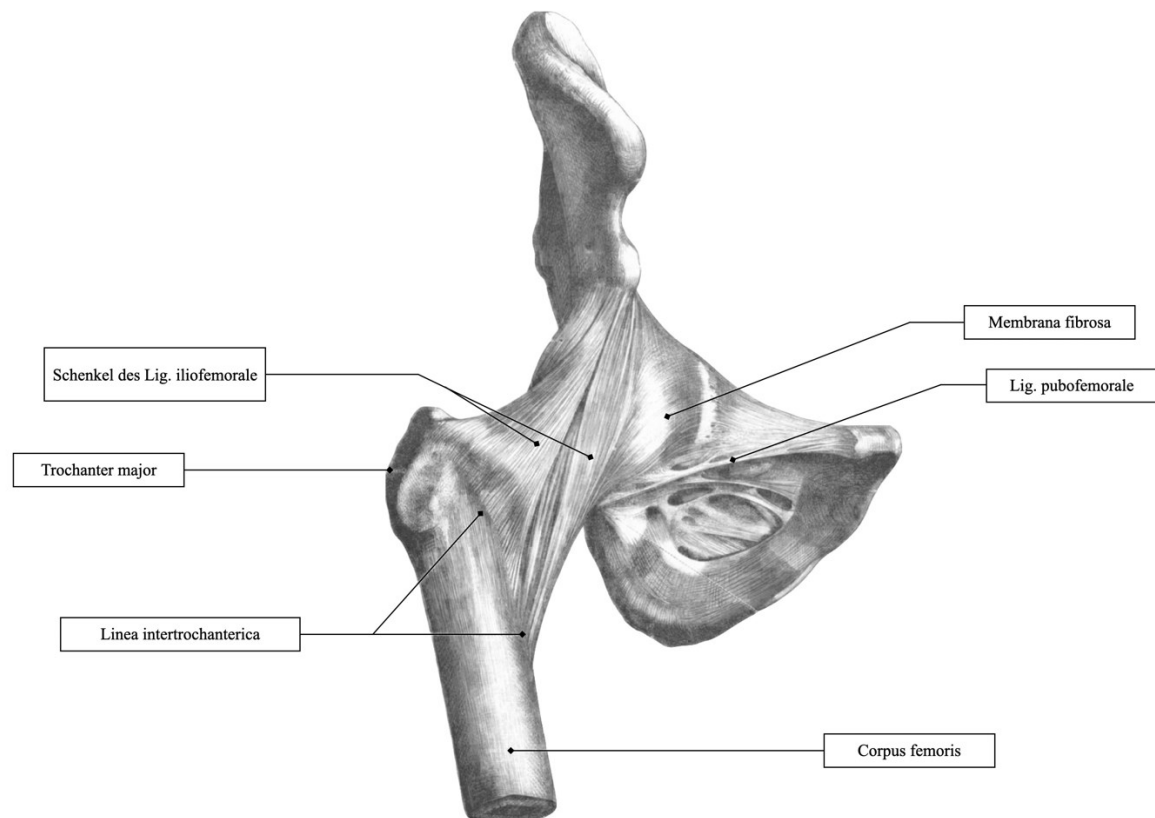


Abbildung 8: Hüftgelenk rechts mit Membrana fibrosa und kapselverstärkenden Bändern (abgebildet von ventral).
Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

gungsumfänge des Hüftgelenks (10). Sie sind in Flexionsstellung der Hüfte wenig gespannt, wodurch der Oberschenkelkopf locker und beweglich im Acetabulum sitzt. Umso stärker das Hüftgelenk extendiert wird, desto mehr verschrauben sich diese Bänder (10). Durch diese Verschraubung nähern sich Ursprung und Ansatz der Bänder an und der Oberschenkelkopf wird stärker in die Gelenkspfanne gepresst. Je nach Hüftgelenksstellung sind unterschiedliche Anteile der Bänder straff oder locker und sichern in allen Bewegungsrichtungen das Gelenk (10).

1.1.3 Die arterielle Blutversorgung des proximalen Abschnitts des Femur

Die A. profunda femoris stellt zum Großteil die arterielle Versorgung des proximalen Abschnitts des Femur sicher (15). Sie ist ein Ast der A. femoralis, die wiederum distal ab dem Leistenband, dem Lig. inguinale eine direkte Fortsetzung der A. iliaca externa ist (13). Die A. profunda femoris entspringt variabel bis zu fünf Zentimeter distal des Lig. inguinale. Meist gibt sie direkt nach ihrem Ursprung die A. circumflexa medialis femoris und die A. circumflexa lateralis femoris ab. Allerdings entspringen diese beiden Arterien auch häufig direkt aus der A. femoralis (13). Beide versorgen die Muskeln im proximalen Bereich des Oberschenkels. Die Rr. ascendentes beider Arterien bilden einen Arterienring um den

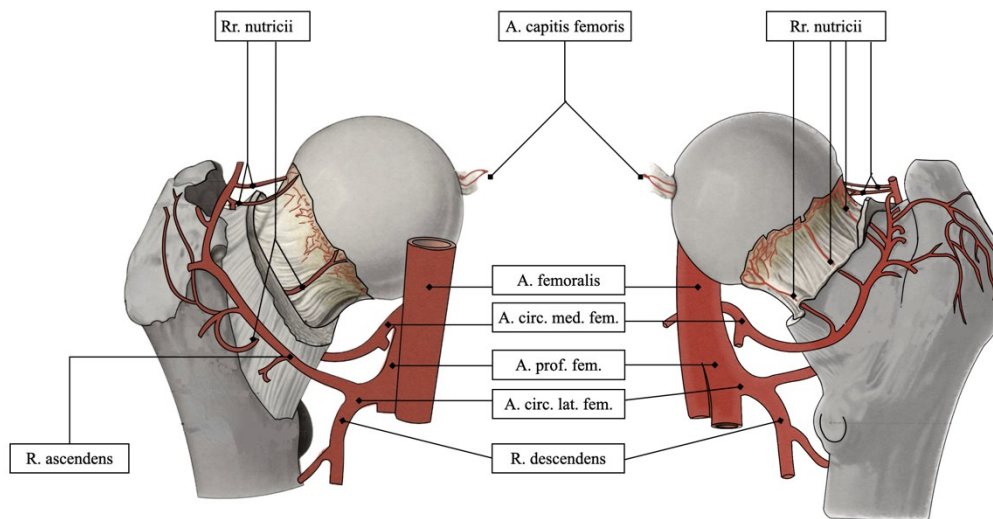


Abbildung 9: Arterielle Blutversorgung des Caput und Collum femoris am Beispiel eines rechten Femur (links von ventral, rechts von dorsal abgebildet).
Zeichnung adaptiert nach Lang et al. (11)

distalen Teil des Collum femoris, wobei der Ast aus der A. circumflexa medialis femoris dorsal des Collum femoris und der Ast aus der A. circumflexa lateralis femoris ventral verläuft. Sie anastomosieren im Bereich der Fossa trochanterica und schließen so den arteriellen Ring (siehe Abbildung 9) (13). In ihrem Verlauf geben beide Rr. ascendentes sogenannte Retinakulararterien ab. Diese ernähren als Rr. nutriticii den proximalen Abschnitt des Femur inklusive beide Trochanteren. Diese Rami verlaufen tief zur Synovialmembran am Collum femoris nach proximal zum Femurkopf und versorgen dabei den Femurhals (10). An

der Knorpel-Knochen-Grenze treten sie durch die Kortikalis und gelangen so in das Caput femoris (13).

Der R. ascendens stammt vom R. profundus der A. circumflexa medialis femoris. Von diesem geht auch der R. acetabularis ab (13). Gemeinsam mit dem R. acetabularis der A. obturatoria erreicht er über die Incisura acetabuli die Fossa acetabuli, in der sich beide Äste im synovialen Fettkörper verzweigen (13). Beim Eintritt in den synovialen Fettkörper geht die A. capitis femoris ab und gelangt im Lig. capitis femoris zum Caput femoris. Sie tritt in diesen häufig durch die Fovea capitis femoris ein und ist nach dem Eintritt an der Blutversorgung des medialen Teils des Caput femoris beteiligt (13). Während die arterielle Versorgung durch die A. capitis femoris im Wachstum eine wichtige Rolle spielt, ist es noch nicht endgültig geklärt, inwiefern sie beim erwachsenen Menschen an der Blutversorgung des Caput femoris beteiligt ist (8). Zusätzlich beteiligen sich die Aa. gluteae superior et inferior an der Blutversorgung des proximalen Abschnitts des Femur, indem sie variable Anastomosen mit der A. circumflexa femoris medialis bilden (13).

1.1.4 Die sensible Innervation der Hüftgelenkscapsel

Der ventrale Anteil der Hüftgelenkscapsel wird sensibel vom N. femoralis, vom N. obturatorius und - wenn vorhanden - vom N. obturatorius accessorius innerviert. Dorsal sind der N. ischiadicus, der N. gluteus superior und der N. muscoli quadrati femoris für die Innervation verantwortlich (13). Um die Häufigkeit der Beteiligung der einzelnen Nerven an der Innervation genauer zu quantifizieren haben Tomlinson et al. (16) eine Metaanalyse durchgeführt. Abbildung 10 illustriert die Häufigkeit, nach der sich die Nerven laut dieser Studie an der Innervation der Hüftgelenkscapsel beteiligen (16).

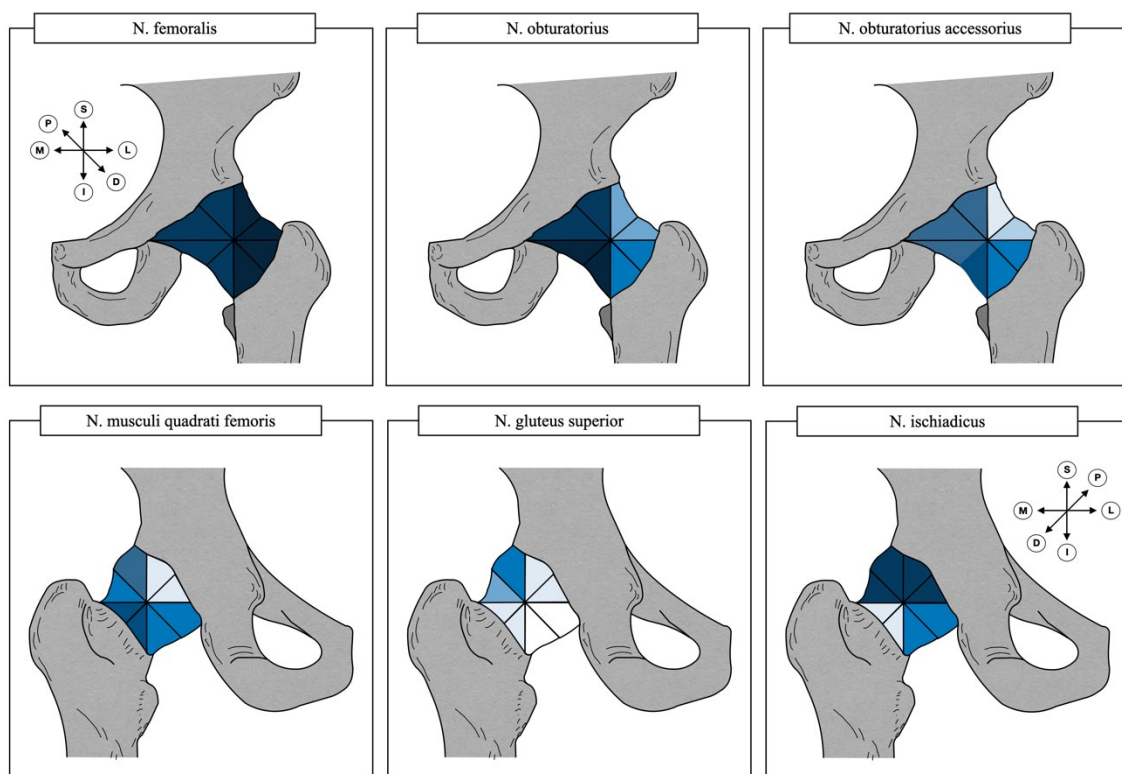


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines linken Hüftgelenkes. Die Beteiligung der einzelnen Nerven an der Innervation der Hüftgelenkscapsel wurden durch die Farbtöne quantifiziert (oben von ventral, unten von dorsal abgebildet).
Zeichnung adaptiert nach Tomlinson et al. (16)

Je dunkler der Blauton, desto häufiger wurde beobachtet, dass die Region durch den jeweilige Nerven innerviert wird. Diese Nerven stammen aus Ästen des Plexus lumbalis und sacralis (10). Der N. femoralis, der aus den Rückenmarksegmenten L2 bis L4 stammt, innerviert hauptsächlich die ventrale Region des Hüftgelenks, insbesondere das Lig. iliofemorale und die angrenzenden Bereiche des Femur (siehe Abbildung 11) (13). Der N. obturatorius, aus den Segmenten L2 bis L4 stammend, innerviert den medialen Teil der Hüftgelenkscapsel,

speziell das Lig. pubofemorale (13). Er kann variabel intraartikuläre Nervenfasern in das synoviale Gewebe des Gelenks, den Fettkörper und über das Lig. capitis femoris in das Caput femoris abgeben. Inkonstant ist auch der gelegentlich vorkommende N. obturatorius accessorius an der Innervation des ventralen Bereichs der Hüftgelenkscapsel beteiligt (siehe Abbildung 11) (17). Auch der N. ischiadicus, aus den Segmenten L4 bis S3 stammend, beteiligt sich variabel an der Innervation des dorsalen Bereichs der Gelenkscapsel (13).

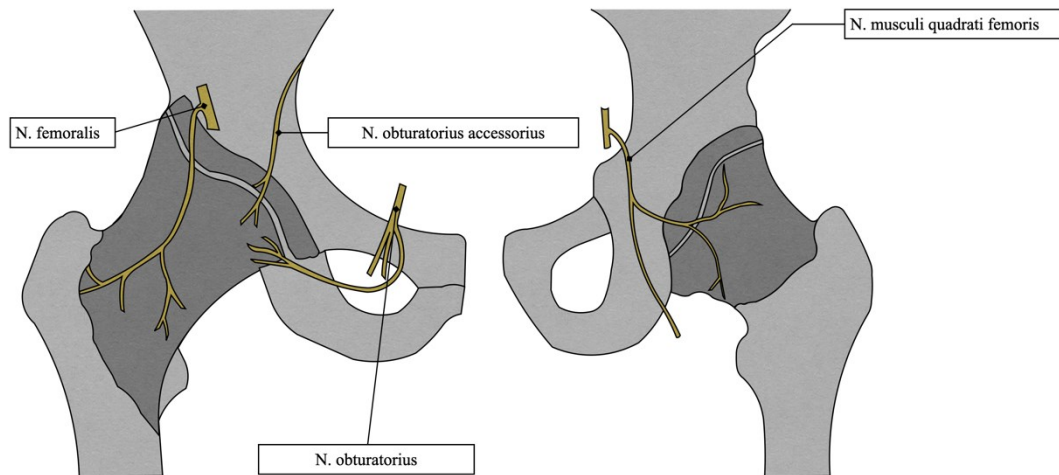


Abbildung 11: Nervenverlauf schematisch, Hüftgelenk rechts (links von ventral, rechts von dorsal abgebildet).
Zeichnung adaptiert nach Lang et al. (11)

Außerdem spielen auch der N. musculi quadrati femoris und der N. gluteus superior bei der Innervation des Hüftgelenks eine variable Rolle (16). Der N. musculi quadrati femoris innerviert den posterioren Anteil der Kapsel, während der N. gluteus superior an der Innervation sowohl des ventralen als auch des posterioren Anteils beteiligt sein kann (17,18).

1.1.5 Die Hüft- und Gesäßmuskulatur

Es gibt unterschiedliche Gruppierungsmöglichkeiten der Hüftmuskulatur. Eine Möglichkeit ist die Einteilung nach phylo- und ontogenetischen Gesichtspunkten, die allerdings am post-fetalen Organismus ohne das Wissen über die Embryogenese verwirrend sein mag. Daher wurde hier eine Einteilung gewählt, die einen Kompromiss zwischen topographischen und funktionellen Gesichtspunkten darstellen.

1.1.5.1 Ventrale Hüftmuskeln

Die ventrale Hüftmuskulatur besteht aus dem M. iliacus und dem M. psoas major (8). Der M. psoas major und der M. iliacus verlaufen gemeinsam profund zum Leistenband durch die Lacuna musculorum (9). Da sie sich in Richtung Ansatz mehr oder weniger vereinen, werden sie als M. iliopsoas bezeichnet (siehe Abbildung 12) (8,9). Sie setzen gemeinsam am bzw. distal des Trochanter minor an (10).

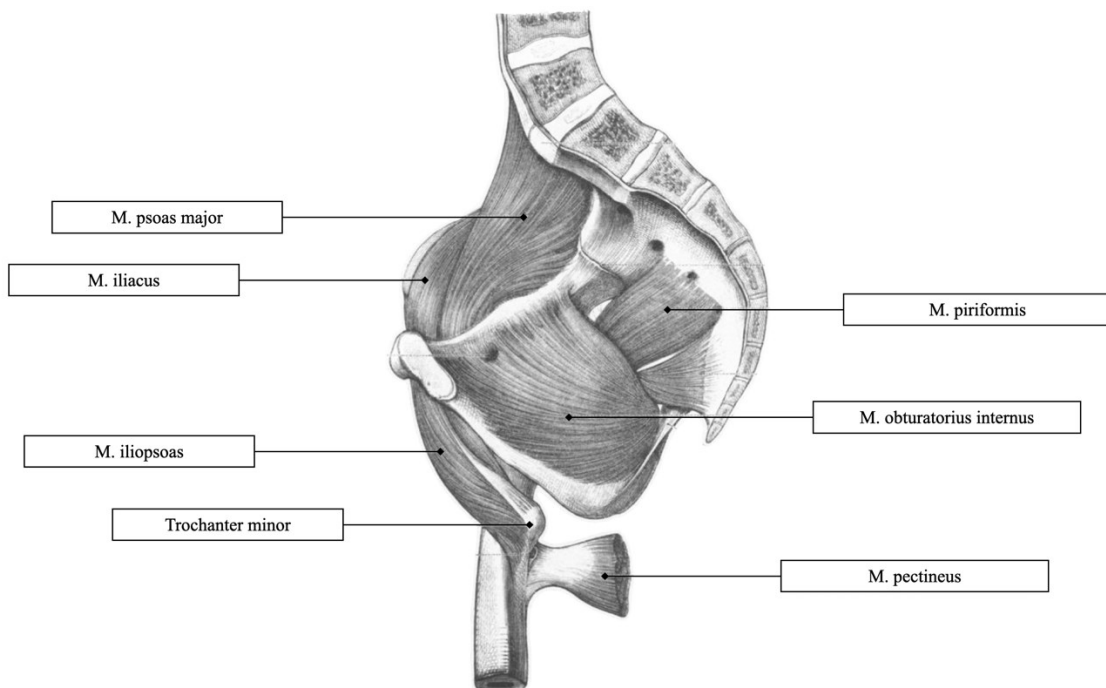


Abbildung 12: Rechtes Becken, Mediansagittalschnitt (abgebildet von medial).
Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

Der M. psoas major entspringt von den Bandscheiben sowie den Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper des zwölften Brust- bis fünften Lendenwirbels (10). Zusätzlich entspringt der Muskel sehnig an den jeweiligen Querfortsätzen, den Processus costales und teilweise

von den lateralen Flächen der Lendenwirbelkörper (10). Der M. iliacus entspringt großflächig an der ventralen Fläche des Os ilium, der Fossa iliaca, von der Crista iliaca, vom Lig. sacroiliacum anterius und vom lateralen Teil des Os sacrum (8). Ein Teil dieses Muskels entspringt um die Spina iliaca anterior inferior und von der Hüftgelenkscapsel und setzt distal des Trochanter minor an. Dieser Teil wird als M. iliacus minor oder M. iliocapsularis bezeichnet (8). Ein Schleimbeutel, die Bursa iliopectina, liegt wie ein Kissen zwischen dem caudalen Schenkel des Lig. iliofemorale, dem Lig. pubofemorale und dem M. iliopsoas. Dieser Schleimbeutel kommuniziert häufig mit der Gelenkhöhle des Hüftgelenks und dient zur Druckminderung zwischen Sehne und Gelenkscapsel (10). Die wichtigste Funktion des M. iliopsoas ist die Beugung im Hüftgelenk (10). Ist die Wirbelsäule fixiert, zieht dieser Muskel den Oberschenkel zum Körper. Ist der Oberschenkel fixiert, zieht dieser Muskel den Rumpf zum Oberschenkel (10). Wird der Muskel einseitig angespannt und der Oberschenkel ist fixiert, unterstützt er die Seitbeugung, die Lateralflexion der Lendenwirbelsäule (10). Zusätzlich unterstützt der M. iliopsoas die Außenrotation und Adduktion im Hüftgelenk (8).

1.1.5.2 Gesäßmuskeln und Außenrotatoren

Bis auf den M. gluteus maximus und den M. tensor fasciae latae inserieren alle Muskeln der äußeren Hüftmuskulatur am oder im Bereich des Trochanter major (9). Ihre Hauptfunktion ist die Extension des Oberschenkels bei fixiertem Rumpf und die Extension und Aufrichtung des Beckens und der Wirbelsäule bei fixiertem Oberschenkel. Außerdem gehören zu dieser Gruppe die kräftigen Abduktoren und Außenrotatoren des Hüftgelenks (8,9).

Der M. tensor fasciae latae entspringt im ventralen Bereich der äußeren Knochenlippe des Beckenkamms, dem Labium externum cristae iliaca (8,13). Der ventrale Teil des Muskels nutzt den vorderen oberen Beckenkammstachel, die Crista iliaca anterior superior, als Ursprung (8). Seine Fasern verlaufen ein kurzes Stück nach distal und bilden einen Teil des Tractus iliotibialis (13). Dieser straff kollagene Bindegewebszug erstreckt sich bis distal des Kniegelenks, wo er ventral am lateralen Gelenksknorren des Schienbeins, dem Condylus lateralis tibiae, inseriert (13,19). Dieser Muskel flektiert und abduziert den Oberschenkel im Hüftgelenk (20). Seine innenrotatorische Funktion ist gering (13). Über seine Insertion am Schienbein führt er eine Extension im Kniegelenk aus (18). Der tiefe Ansatz des Tractus iliotibialis, am Labium laterale, setzt als Septum intermusculare femoris lateralis nach dem Zuggurtungsprinzip die Biegebelastung auf das Femur herab (9).

Der M. gluteus maximus besitzt auf der Rückseite des Darmbeins, dem Os ilium mehrere Ursprungsstellen (8). Er ist an der dorsalen Fläche des Darmbeins, der Facies glutea ossis ilii dorsal der Linea glutea posterior angewachsen (siehe Abbildung 13) (10). Weiters entspringt er dorsal von der äußeren Lippe des Darmbeinkamms, der Crista iliaca (10). Zusätzlich entspringt er lateral am Steißbein, dem Os coccygis und dorsal am Kreuzbein, dem Os sacrum, sowie von der großen Rückenfaszie, der Fascia thoracolumbalis (8). In diesem Bereich sind auch sehnige Anteile des Muskels am Band zwischen Kreuzbein und Sitzbeinhöcker fixiert (8). Über die Aponeurosis glutea bildet er eine Einheit mit dem weiter ventral liegenden M. tensor fasciae latae (13). Gemeinsam mit diesem bildet er den oben

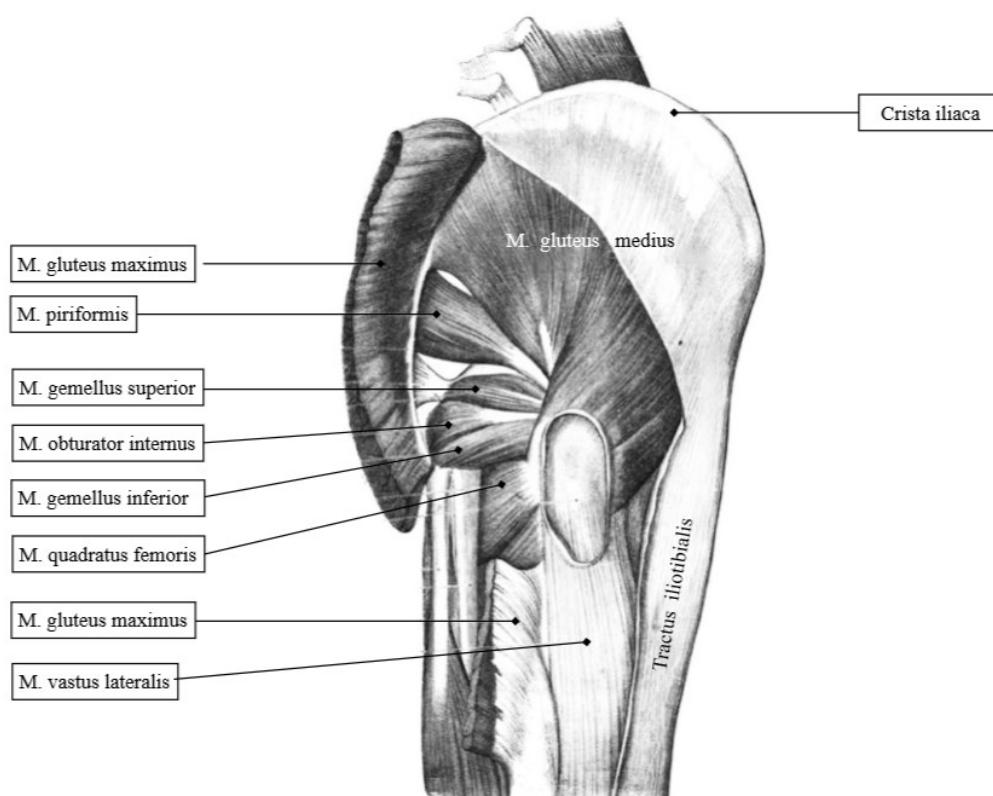


Abbildung 13: Hüfte rechts (abgebildet von dorsolateral).
Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

beschriebenen Tractus iliotibialis (10). Die caudalen, tiefen Muskelfasern ziehen nach distal und lateral und inserieren dort an einer Rauigkeit auf der Rückseite des Oberschenkelknochens, der Tuberositas glutea (siehe Abbildung 5) (10). Die Hauptfunktionen des M. gluteus maximus sind die Streckung und Außenrotation des Hüftgelenks. Ist der Rumpf fixiert, streckt der Muskel den Oberschenkel (10,13). Ist der Oberschenkel fixiert, richtet der Muskel den Rumpf im Hüftgelenk auf (13). Zusätzlich sind die lateral der Sagittalachse gelegenen Muskelfasern an der Abduktion, die medial der Sagittalachse gelegenen Muskelfasern

an der Adduktion beteiligt (10,13). Über seinen Ansatz über den Tractus iliotibialis am Schienbein kann er das Kniegelenk strecken und bei gebeugtem Gelenk bei einer Außenrotation unterstützen (8).

Der *M. gluteus medius* entspringt großflächig von der *Facies glutea ossis ilii* zwischen der *Linea glutea posterior* und der *Linea glutea anterior* sowie vom *Labium externum* der *Crista iliaca* (siehe Abbildung 14) (8,9). Oberflächliche Fasern entspringen von der *Aponeurosis glutea* (8,13). Seine Fasern ziehen nach lateral distal und setzen an der Außenfläche des *Trochanter major* an (8).

Der *M. gluteus minimus* liegt profund zum *M. gluteus medius*. Sein Ursprung ist die *Facies glutea* im Bereich des *Os ilium* zwischen *Linea glutea anterior* und *Linea glutea inferior*. Er inseriert anterolateral an der Außenfläche des *Trochanter major* (8). Die Hauptfunktion dieser beiden Muskeln ist die Abduktion im Hüftgelenk. Statisch stabilisieren sie dadurch das Becken in der Frontalebene und verhindern dessen Absinken zur Gegenseite im einbeinigen Stand und somit auch während des Gehens (8,10). Außerdem beteiligen sich die ventralen Muskelfasern an der Innenrotation. Die dorsalen Muskelfasern unterstützen die Extension und Außenrotation im Hüftgelenk (20).

Der *M. piriformis* hat seinen Ursprung ventral am Kreuzbein, an der *Facies pelvina ossis sacri*, zwischen den Austrittslöchern der ventralen Äste der sakralen Rückenmarksnerven (8). Dorsal bietet die *Facies glutea ossis ilii* flächig im Bereich des hinteren unteren Hüfttachsels, der *Spina iliaca posterior inferior* eine Befestigungszone (13). Als ligamentärer Ursprung sind auch Teile dieses Muskels mit dem *Lig. sacrotuberale* verwachsen (10). Die Muskelfasern verlassen das Becken dorsal durch das *Foramen ischiadicum majus* und inserieren mittels einer rundlichen Sehne an der Spitze des *Trochanter major* (siehe Abbildung 14) (13). Primär bewirkt der *M. piriformis* eine Außenrotation im gestreckten Hüftgelenk und eine Abduktion im gebeugten Hüftgelenk (13). Außerdem unterstützt er die Extension (20).

Der *M. obturatorius internus* entspringt von den Knochen, welche das *Foramen obturatum* begrenzen. Dies sind der obere und untere Ast des Schambeins, die *Rami inferior et superior ossis pubis* und ein Teil des Sitzbeins, der *Ramus ossis ischii* (13). Der Ursprung dieses Muskels reicht bis zur *Linea terminalis* und bis zur *Incisura ischiadica major*. Außerdem entspringt er von der Innenfläche der *Membrana obturatoria* (13).

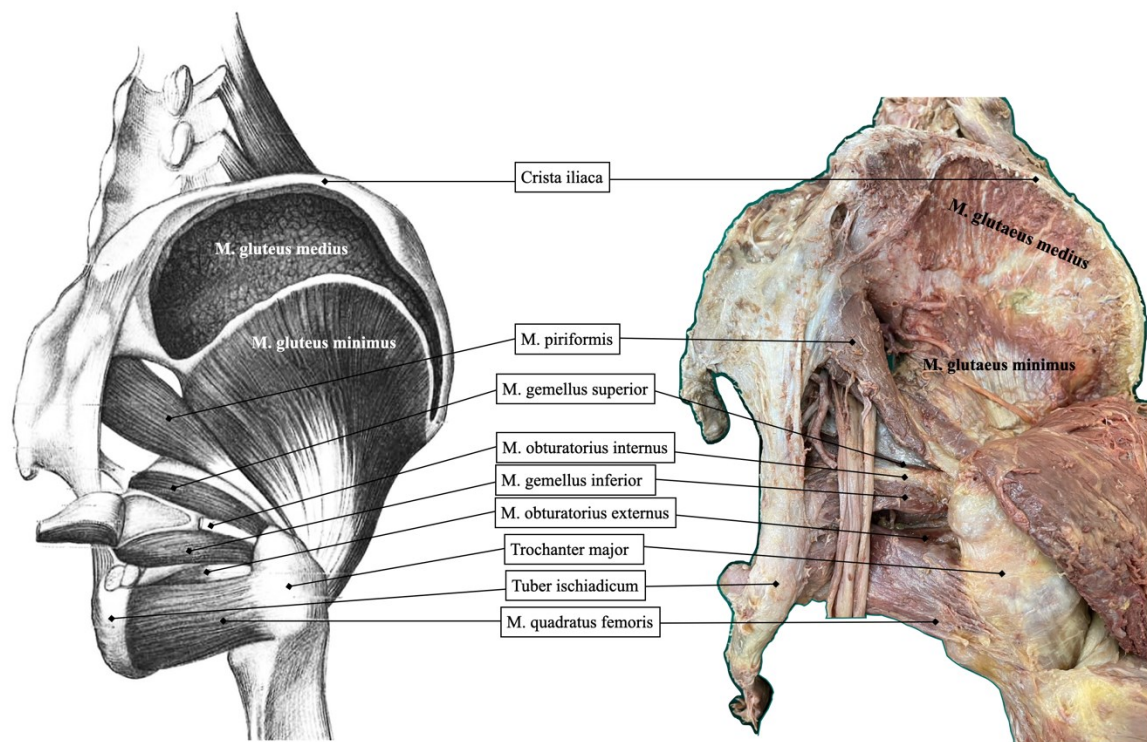


Abbildung 14: Hüftgelenk rechts (abgebildet von dorsolateral).
 rechts: Humanpräparat mit freundlichen Genehmigung von Michael und Bettina Pretterkieber
 links: Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

Der M. obturatorius internus verläuft nach dorsolateral durch das Foramen ischiadicum minus. In seinem Verlauf nutzt er den angrenzenden Knochen den Ramus superior ossis ischii als Widerlager, Hypomochlion, um seine mechanische Kraftübertragung zu optimieren (8,9). Nach dem Durchtritt vereinigt sich seine Sehne mit den Mm. gemelli superior et inferior. Die Mm. gemelli entspringen beide vom Sitzbein, Os ischii. Der craniale M. gemellus superior hat an der dorsalen Seite der Spina ischiadica, der caudale M. gemellus inferior am Tuber ischiadicum seinen Ursprung (siehe Abbildung 14). Diese drei Muskeln inserieren gemeinsam an der medialen Fläche des Trochanter major, anterosuperior zur Fossa trochanterica (8,13). Der M. obturatorius externus entspringt von der Außenfläche der Membrana obturatoria sowie von der Außenseite der oben beschriebenen Umrahmung des Foramen obturatum. Er verläuft spiralförmig aufsteigend nach dorsolateral und inseriert in der Fossa trochanterica (13). Funktionell ist die primäre Aufgabe der Mm. obturatorii sowie der Mm. gemelli bei extendiertem Hüftgelenk die Außenrotation (8). Bei flektiertem Hüftgelenk bewirken diese Muskeln eine Abduktion (10).

Der *M. quadratus femoris* entspringt an der ventralen Fläche des Sitzbeinhöckers, dem *Tuber ischiadicum*. Er verläuft als rechteckige Muskelplatte nach lateral und inseriert an der *Crista intertrochanterica* (8). Seine Primärfunktionen sind die Außenrotation bei gestreckter und die Abduktion bei gebeugtem Hüftgelenk (8,10)

1.1.5.3 Mediale Oberschenkelmuskeln

Die Muskeln dieser Gruppe wirken bis auf eine Ausnahme, dem *M. gracilis*, ausschließlich auf das Hüftgelenk ein. Die Hauptfunktion dieser Muskeln ist das Heranführen des Oberschenkels zur Körpermitte, die Adduktion. Sie entspringen vom Scham- und Sitzbein. Ihr Ansatz befindet sich zum Großteil an der inneren Lippe der hinteren rauen Linie des Oberschenkels, dem *Labium mediale lineae asperae* sowie an dessen Verlängerungen (siehe Abbildung 5 und Abbildung 15) (9,10,13).

Der *M. gracilis* entspringt symphysennah vom unteren Schambeinast, dem *Ramus inferior ossis pubis*, und vom Sitzbeinast, dem *Ramus ossis ischii* (10). Der schlanke und lange Muskel erstreckt sich als oberflächlichster Adduktor medial über das Kniegelenk (13). Dort ist er an der Vorderfläche des inneren Gelenksknorren des Schienbeins, dem *Condylus medialis tibiae*, medial der *Tuberositas tibiae* befestigt. Zusammen mit den Ansätzen des *M. semitendinosus* und *M. sartorius* bildet er an dieser Stelle eine fächerförmige Sehnenformation, den *Pes anserinus superficialis* (13). In Hüftstreckung adduziert und flektiert der zweigelenkige Muskel im Hüftgelenk. Im Kniegelenk bewirkt er eine Flexion und Innenrotation (8).

Der *M. pectineus* entspringt von einem Knochenkamm des Schambeins, dem *Pecten ossis pubis* und inseriert dorsolateral an einer rauen Knochenlinie, der *Linea pectinea* auf der Rückseite des Femur (8). Die *Linea pectinea* ist die proximale Verlängerung des *Labium mediale* der *Linea aspera* und reicht bis zum *Trochanter minor* (13). Die Funktionen sind die Flexion und Adduktion im Hüftgelenk (18).

Der *M. adductor longus* entspringt von der *Crista pubica* am *Corpus ossis pubis*. Diese verbindet das *Tuberculum pubicum* mit der Symphyse (13). Der Muskel verläuft nach laterodorsal auf die Rückseite des Femur und ist im mittleren Abschnitt an der inneren Knochenlippe der rauen Oberschenkellinie, dem *Labium mediale lineae asperae*, befestigt (siehe Abbildung 15) (10). Die Hauptfunktion dieses Muskels ist eine Adduktion im Hüftgelenk (10).

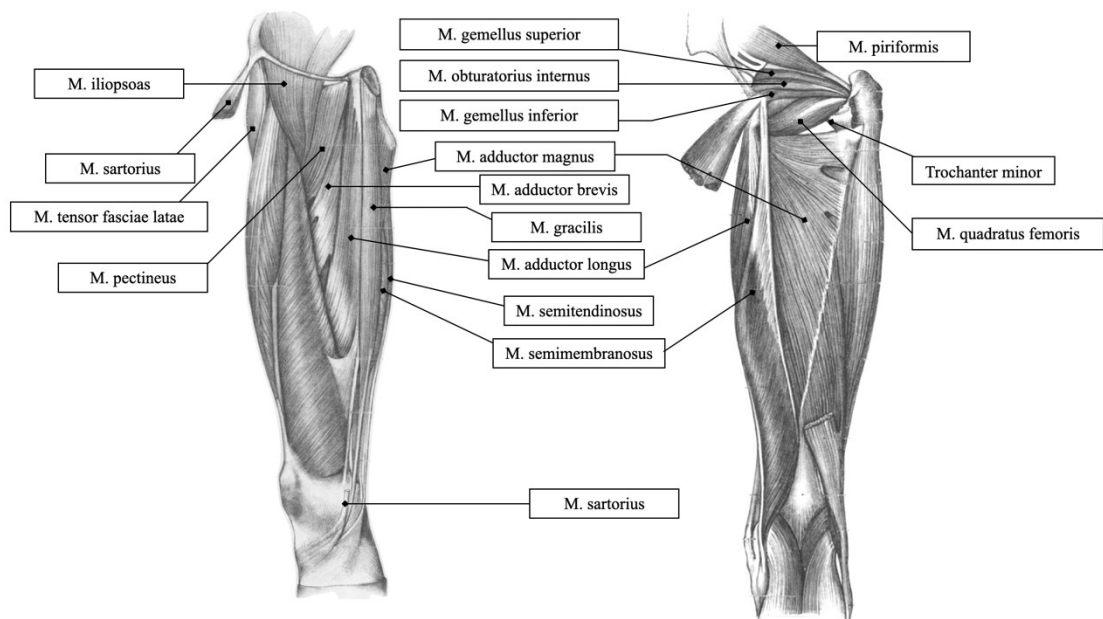


Abbildung 15: Mediale Oberschenkelmuskeln, Oberschenkel rechts (links von medial, rechts von dorsal abgebildet).
Zeichnung adaptiert nach Toldt et al. (11)

Der M. adductor brevis entspringt vom Corpus ossis pubis nahe der Symphyse und vom Ramus inferior ossis pubis. Er inseriert ebenfalls am Labium mediale der Linea aspera, zwischen dem Ansatz des M. pectineus proximal und dem Ansatz des M. adductor longus distal (8,13). Seine Funktion ist die Adduktion und Flexion im Hüftgelenk (8).

Der große dreiecksförmige M. adductor magnus wird aus drei Teilen gebildet und kann funktionell sowohl den Adduktoren als auch der ischiocruralen Muskulatur zugeordnet werden. Der craniale Teil, auch als M. gluteus minimus bezeichnet, entspringt vom unteren Schambeinast, dem Ramus inferior ossis pubis, und inseriert an der Tuberositas glutea (siehe Abbildung 15) (8). Der Ursprung des mittleren (Haupt-) Teils ist der Ramus ossis ischii. Von dort aus verläuft er nach laterodorsal und ist nahezu an der gesamten Länge des Labium mediale lineae asperae befestigt (13). Der ischiocondyläre Teil beginnt als dicker Muskelbauch am Sitzbeinhöcker, dem Tuber ischiadicum. In seinem vertikalen Verlauf verschlankt er sich immer weiter und endet als runde Sehne, die cranial des inneren Gelenksknorren des Oberschenkels, am Epicondylus medialis femoris inseriert. Diese Insertionsstelle wird als Tuberculum adductorium bezeichnet (8,13). Alle Anteile des Muskels adduzieren im Hüftgelenk (8). Der Hauptteil kann zusätzlich außenrotieren. Der ischiocondyläre Teil führt eine

Extension des Hüftgelenks aus. Bei flektiertem und außenrotiertem Bein wirkt er zusätzlich als Innenrotator (20).

1.1.5.4 Zweigelenkige Muskeln mit Funktionen im Hüftgelenk

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Hüftmuskeln beteiligen sich zweigelenkige Muskeln am Oberschenkel nicht nur an der Bewegung des Kniegelenks sondern wirken auch auf das Hüftgelenk ein. Die ventrale und dorsale Oberschenkelmuskulatur, die das Hüftgelenk überquert, ist in diesem nur funktionell effizient, wenn das Knie durchgestreckt ist. Bei gebeugtem Knie sind diese Muskeln im Hüftgelenk aktiv insuffizient (10).

Die dorsalen situierte ischiocrurale Gruppe, der M. semitendinosus, der M. semimembranosus und das Caput longum des M. biceps femoris entspringen vom Os ischii und verlaufen dorsal über das Kniegelenk. Sie strecken das Hüftgelenk bei gestrecktem Kniegelenk (10).

Auf der ventralen Oberschenkelseite liegen der M. sartorius und der M. rectus femoris. Der M. sartorius entspringt von der Spina iliaca anterior superior, zieht schräg nach mediodistal und inseriert medial der Tuberositas tibiae am Condylus medialis tibiae. Er beteiligt sich wie oben beschrieben an der Bildung des Pes anserinus superficialis. Seine Funktionen sind die Flexion, Außenrotation und Abduktion im Hüftgelenk und die Flexion und Innenrotation im Kniegelenk (13). Der einzige zweigelenkige Teil des vierköpfigen Oberschenkelmuskels, des M. quadriceps femoris, ist der M. rectus femoris. Er entspringt mit seinem Caput rectum von der Spina iliaca anterior inferior und mit seinem Caput reflexum vom Sulcus supraacetabularis und der Hüftgelenkscapsel. Gemeinsam mit den anderen Köpfen des M. quadriceps femoris inseriert er zunächst an der Patella und gelangt über das Lig. patellae zur Tuberositas tibiae. Neben der gemeinsamen Funktion, der Streckung im Kniegelenk, kann er gleichzeitig die Flexion im Hüftgelenks unterstützen (13).

1.2 Fraktur im Allgemeinen

1.2.1 Die Definition einer Fraktur

Eine Fraktur ist durch einen zumindest 90% Kontinuitätsverlust eines Knochens charakterisiert. Es entsteht ein Bruchspalt mit zwei oder mehr Bruchstücken. Die Bruchstücke können

regelmäßig zueinander stehen oder verschoben sein. Frakturen werden anhand ihrer Genese in traumatische oder pathologische Frakturen unterteilt. Ein Knochenbruch ist das Resultat von auf den Knochen wirkenden Kräften, die dessen Elastizität und Festigkeit übersteigen. Bei pathologischen Frakturen fehlt das vorangegangene adäquate Trauma. Hier kann ein Bagatelltraumata zu einer Spontanfraktur führen, wenn eine Vorschädigung der Knochenstruktur vorliegt. Eine andere Form der pathologischen Fraktur ist der Ermüdungsbruch, der sich über einen längeren Zeitraum entwickelt und auf vielen unzureichend verheilten Mikrotraumata beruht (14,21,22).

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Frakturformen. Die Häufigsten sind Biege-, Torsions- und Trümmerfrakturen. Welche Frakturform entsteht wird einerseits durch die variierende Festigkeit und Form des betroffenen Knochens und andererseits durch Art und Ausmaß der einwirkenden Gewalt bestimmt. Als direkte Folge kann es zu Längs-, Seit- oder Rotationsverschiebungen sowie einem Achsknicken kommen, die entweder direkt durch die einwirkende Gewalt oder indirekt durch den Muskelzug an den Fragmenten bedingt sind (14,21,22).

1.2.2 Die AO-Klassifikation

Im Lauf der Zeit wurden verschiedene Klassifikationssysteme entwickelt, um Frakturen zu kategorisieren und zu dokumentieren. Diese Systeme dienen dazu, eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Frakturtypen herzustellen, strukturierte Behandlungsmethoden abzuleiten um dadurch den klinischen Alltag zu erleichtern (22).

Eine weit verbreitete und umfassende Klassifikation, die eine umfangreichen Datenbasis zu Grunde liegt, ist die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO-Klassifikation), die basierend auf dem Werk von Müller et al. (23) entwickelt wurde. Sie ermöglicht nicht nur die präzise Lokalisierung der Fraktur im Körper, sondern auch die Einschätzung ihrer Schwere, was wiederum als Grundlage für potenzielle Behandlungsstrategien dient. In der AO-Klassifikation wird jede Fraktur anhand einer spezifischen alphanumerischen Kombination beschrieben, bestehend aus zwei Ziffern, einem Buchstaben und einer weiteren Ziffer. Diese detaillierte Codierung erlaubt eine eindeutige Identifikation und Klassifizierung aller Arten von Frakturen im menschlichen Körper, wodurch eine präzise

klinische Kommunikation sichergestellt und fundierte Entscheidungen bezüglich der Behandlungsoptionen getroffen werden können.

Im Folgenden ist eine kurze Erklärung der AO-Klassifikation angeführt.

- Die erste Ziffer steht für die Körperregionen (1-9)
Jeder Körperregion wird eine bestimmte Nummer zugeordnet. Zum Beispiel ist das Femur mit Ziffer 3 gekennzeichnet.
- Die zweite Ziffer bezieht sich auf das Segment der langen Röhrenknochen
Dabei werden die proximale Epiphyse und Metaphyse als Segment 1, die Diaphyse als Segment 2 und die distale Epiphyse und Metaphyse als Segment 3 definiert. Bei Tibia und Fibula gibt es zusätzlich jeweils ein Segment 4 für den Malleolus.
- Komplexitätsgrad Typ (A-C)
Dieser Buchstabe kennzeichnet den Komplexitätsgrad der Fraktur. Typ A steht für einfache Frakturen mit nur zwei Fragmenten, Typ B und Typ C stehen für komplexe Frakturen mit mehr als zwei Fragmenten mit oder ohne Kontakt zwischen den einzelnen Bruchstücken.
- Die dritte Ziffer steht für die Gruppen
Die Gruppen 1 bis 3 geben zusätzliche Informationen über die Fraktur. Diese Gruppen werden verwendet, um die morphologische Komplexität der Fraktur, den Schwierigkeitsgrad ihrer Behandlung und ihre Prognose zu beschreiben.
- Die vierte Ziffer steht für die Untergruppen
Innerhalb jeder Gruppe gibt es Untergruppen, die weitere Details über die Fraktur angeben. Zur Beschreibung des Schweregrades des Frakturtyps wird dieser mit der letzten Ziffer von 1 bis 3 – von geringem über mittlerem bis zu hohem Schweregrad – eingeteilt.

Beispiel: Eine subkapitale Femurhalsfraktur bei keiner oder geringer Verschiebung wird nach der AO- Klassifikation mit 31B1.1 codiert (14,21-23).

1.2.3 Die Knochenheilung

Nach stattgefundenen Frakturen wird der physiologische Knochenmetabolismus deutlich verstärkt. Die Homöostase zwischen Knochenabbau durch Osteoklasten und Knochenaufbau durch Osteoblasten wird stark zur Seite des Knochenaufbaus verschoben. Zusätzlich

spielen das Endost, das Periost und die Havers-Knochenkanäle eine wichtige Rolle in der Wiederherstellung der Knochenintegrität. Die Heilung der Substantia compacta erfolgt über den sogenannten „Havers-Knochenumbau“, bei dem Osteone längs von einem Fragment zum anderen wandern. Die Substantia spongiosa heilt durch die direkte Überbrückung der Trabekel (14,24,25).

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Knochenheilung sind die ausreichende Blutversorgung der frakturierten Knochen, deren korrekte Stellung zueinander und eine suffiziente Ruhigstellung (26). Entscheidend für die Heilung ist ebenso eine gewisse Gewebedehnung zwischen den Bruchfragmenten. Jedoch verhindert zu viel Bewegung der Fragmente das Einwachsen der Osteone und kann zu sogenannten Pseudoarthrosen (siehe unten) führen. Zu wenig Bewegung verlangsamt die Knochenbildung, da der physiologische Reiz fehlt (14,24,25,27).

Es werden zwei Arten der Knochenheilung unterschieden,

- die primäre Knochenheilung, und
- die sekundäre Knochenheilung.

Die primäre Frakturheilung setzt dann ein, wenn eine Fraktur in anatomisch korrekter Position ohne verbleibenden Bruchspalt durch eine Osteosynthese stabil fixiert wird (26). Bei diesem Prozess der direkten Kontaktheilung fusionieren die Frakturfragmente, ohne dem Interim einer fibrösen oder kollagenen Zwischenstufe (25). Osteoblasten und Osteoklasten sind unmittelbar für die Vereinigung der Fragmente verantwortlich. Diese ist ohne die Bildung eines Kallus unter guten Voraussetzungen nach fünf bis sechs Wochen abgeschlossen. Der vollständige Umbauprozess und die damit verbundene Restitutio ad integrum dauert zwischen eineinhalb und zwei Jahren (23).

Die sekundäre Knochenheilung, setzt bei allen konservativ therapierten Frakturen ein, sofern die Voraussetzungen zur Knochenheilung gegeben sind. Die sekundäre Knochenheilung entspricht dem physiologischen Heilungsprozess und erfolgt in folgenden Schritten (14):

a. Initiale Verletzungsphase

Bildung eines Frakturhämatoms.

b. Entzündungsphase (3-14 Tage)

Organisation des Hämatoms durch Fibroblasten mit Bildung eines bindegewebigen Kallus.

c. Kallushärtungsphase (Wochen bis Monate)

Differenzierung des Zwischengewebes zu Geflechtknochen.

d. Remodelling-Phase (1-2 Jahre)

Funktionelle Anpassung, Umbau zu lamellärem Knochen, Rekonstruktion des medullären Gefäßsystems und Abbau von überschüssigem Kallus.

Verschiedene Matrixproteine wie Osteocalcin und Interleukine fungieren als Induktoren und Mediatoren der Knochenheilung (23).

1.2.4 Die Risiken und Komplikationen

Auftretende Komplikationen lassen sich je nach zeitlichem Auftreten in akut und spät einteilen. Eine andere Einteilung erfolgt nach direkten und indirekten Gesichtspunkten (14,22).

Als direkte akute Komplikationen der Verletzung sind vor allem sekundäre Weichteilschäden und infolgedessen Durchblutungsstörungen, der Verlust motorischer Fähigkeiten und der Sensibilität anzuführen. Durch einen ausgeprägten Blutverlust kann ein Volumenmangelschock resultieren. Darüber hinaus besteht auf Grund der Blutung auch die Gefahr eines Kompartmentsyndroms und eine erhöhte Thromboseneigung. Ebenso können auch innere Organe durch das Trauma verletzt sein. Eine weitere direkte, akute Folge ist die offene Fraktur, bei der ein Knochenteil den Hautmantel perforiert. Durch die Zerstörung dieser Barriere ist das Infektionsrisiko im Vergleich zu geschlossenen Frakturen erhöht (14,22).

Im späteren Verlauf können eine Vielzahl indirekter Frakturkomplikationen auftreten. Durch die Immobilisierung ist eine erhöhte Rate an Infektionskrankheiten, Muskelatrophien und Lungenembolien zu beobachten. Des Weiteren kann es zu Refrakturen, Ermüdungsfrakturen

bei zu früher Belastung und noch nicht ausreichender Knochenheilung, dem komplexen regionale Schmerzsyndrom, posttraumatischen Arthrosen bei Gelenksbeteiligung und noch weiteren Komplikationen kommen (14,21,25).

1.2.5 Die Knochenheilungsstörungen

Die Annäherung der Bruchstücke aneinander, eine suffiziente Durchblutung und die Immobilisierung des betroffenen Segments sind die Voraussetzungen für eine adäquater Frakturheilung. Fehlen diese Voraussetzungen, resultiert daraus eine verlängerte Heilungszeit (26).

Die Diagnose einer verzögerten Frakturheilung wird gestellt, wenn nach einem Zeitraum von drei bis vier Monaten radiologisch weder eine Kallusbildung noch eine ossäre Durchbauung des Frakturspalts nachweisbar ist. Persistiert diese Situation über einen Zeitraum von sechs bis acht Monaten und zeigt sich weiterhin keine Stabilität der Fraktur, geht man von einem Arrest der osteogenen Aktivität aus. Dieser Zustand wird dann als Pseudoarthrose oder "Falschgelenk" bezeichnet. Auch eine erhöhte Komplexität der Fraktur sowie eine Infektion im Bereich der Fraktur sind prädisponierende Faktoren für die Entstehung einer Pseudoarthrose (24,26-28).

1.3 Schenkelhalsfraktur

1.3.1 Definition

Die Schenkelhalsfraktur ist ein Bruch des Femur zwischen Caput femoris und Trochanter major (siehe Abbildung 16) (14).

1.3.2 Epidemiologie

Die Inzidenz der Frakturen des Collum femoris variiert international. Sie wird durch Faktoren wie Alter, Geschlecht, Komorbiditäten und Lebensweise beeinflusst. Es findet sich eine Spitzeninzidenz bei Patient*innen zwischen 85 und 89 Jahren (4). Einigkeit herrscht, dass die Inzidenzen ansteigen, so dass die Anzahl dieser Frakturen bis zum Jahr 2050 global bis zu 21,3 Millionen Fälle erreichen könnte. Die steigende Inzidenz ist am stärksten auf den demografischen Alterungsprozess, den damit verbundenen Rückgang der Knochenmasse und eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Unfällen und Stürzen zurückzuführen (29). Von diesen Frakturen sind häufiger Frauen als Männer betroffen (4). Bei kognitiver Einschränkung und einem Aufenthalt in Krankenhäusern oder Pflegeheimen ist eine Inzidenzsteigerung zu beobachten (3,4,30,31).

1.3.3 Ätiologie

Schenkelhalsfrakturen manifestieren sich in unterschiedlichen Patient*innenpopulationen durch diverse ätiologische Faktoren. Im jüngeren Lebensalter resultieren sie überwiegend aus Hochenergietraumata, wie bei Verkehrsunfällen oder Stürzen aus beträchtlicher Höhe (21,22). Im Gegensatz dazu entstehen bei älteren Menschen Frakturen des Schenkelhalses meist aufgrund von Niedrigenergietraumata. Die reduzierte Knochendichte und Strukturfestigkeit, bedingt durch Osteoporose, prädisponiert diese Altersgruppe für Frakturen infolge von Stürzen aus geringer Höhe oder aus dem Stand (21). Darüber hinaus sind Spontanfrakturen relevant, die ohne direktes Trauma entstehen. Dazu zählen Insuffizienzfrakturen, die aufgrund alltäglicher Belastungen bei vorgeschwächten Knochenstrukturen auftreten und Ermüdungsfrakturen, verursacht durch repetitive, ungewöhnliche Belastungen auf einen ge-

sunden Knochen. Insbesondere bei Osteoporose oder bei Athlet*innen mit extremer physischer Beanspruchung sind derartige Frakturen zu beobachten. Pathologische Frakturen, ausgelöst durch intrinsische Knochenkrankheiten wie Osteolyse zum Beispiel im Rahmen von Knochtumoren, erweitern das Spektrum der ätiologischen Faktoren von Schenkelhalsfrakturen. Diese treten oftmals ohne signifikante externe Einflüsse auf, speziell bei kompromittierter Knochenintegrität (1,21).

1.3.4 Diagnostik

Die diagnostische Prozedur bei Verdacht auf eine Schenkelhalsfraktur beginnt mit einer eingehenden Anamnese. Das Ziel ist die Zusammenstellung von präzisen Informationen. Die wichtigsten Punkte sind die genaue Beschreibung des Unfallhergangs, der spezifischen Schmerzcharakteristika und der Schmerzlokalisationen. Zudem ist es notwendig die Mobilität der Patient*innen bis zum Unfallzeitpunkt zu eruieren. Präexistente Hüftpathologien sollten erkannt werden. Die genaue Erfassung des Zeitpunktes des Unfallereignisses ist dabei von essenzieller Bedeutung, insbesondere wenn eine hüftkopferhaltende Therapie vorgesehen ist. Dies ermöglicht die Planung und Durchführung der operativen Versorgung innerhalb des kritischen Zeitfensters von sechs Stunden. Aus chirurgischer Perspektive sind darüber hinaus die Einnahme von Antikoagulanzen durch die Patient*innen und das Vorliegen vorbestehender maligner Erkrankungen von hoher Relevanz. Dieser anamnestischen Evaluation folgt eine strukturierte diagnostische Exploration. Primär wird eine genaue Inspektion vorgenommen, bei der Kontusionsindikatoren wie Hämatome oder Prellmarken im Bereich des Trochanter major frühzeitig auf eine Fraktur hindeuten können. Bei einer dislozierten Fraktur zeigt sich eine Verkürzung des betroffenen Beines im Vergleich zum gesunden Bein ergänzt um eine charakteristische Außenrotationsfehlstellung (1,14,21,22).

Nach der Inspektion erfolgt die Palpation, idealerweise nach der Verabreichung von Analgetika zur Schmerzreduktion. Ein recht sicheres Indiz für eine Schenkelhalsfraktur ist der Druckschmerz, der oberflächlich zum Trochanter major oder im proximalen Anteil des Femur ausgelöst werden kann. Zudem ist der durch die Applikation von Druck auf die Ferse des extendierten Beines der provozierte Stauchungsschmerz diagnostisch hinweisend. Während der Palpation im Frakturbereich kann eine Krepitation spürbar sein, die auf die Bewegung der Frakturfragmente zurückzuführen ist (21).

Die Evaluation der Durchblutung, Motorik und Sensibilität des betroffenen Beines ist essenziell. Die Schmerzintensität und Bewegungsfähigkeit des Beines variieren in Abhängigkeit von der Frakturtypologie und -schwere, was die motorische Untersuchung limitieren kann. Obwohl bei nicht dislozierten Schenkelhalsfrakturen eine Belastbarkeit des Beines unter Schmerzbedingungen bestehen kann, ist bei den meisten Frakturen das Stehen oder Gehen nicht umsetzbar. Weitere charakteristische Symptome sind Flexions- oder Extensionsdefizite im Hüftgelenk sowie Schmerzen insbesondere bei Innenrotation (21).

1.3.4.1 Differentialdiagnostik

Verschiedene andere Pathologien können sich klinisch ähnlich der Schenkelhalsfraktur präsentieren. Eine Hüftprellung, lumbale Radikulopathie, aktivierte Coxarthrose, Coxitis, Synovitis, Bursitis trochanterica sowie weitere ligamentäre oder muskuläre Pathologien können mit ähnlichen Symptomen imponieren und sich als Fraktur maskieren. Auch primäre Knochentumore oder Knochenmetastasen können ein ähnliches Schmerzmuster erzeugen. Hintere und vordere Beckenringfrakturen und Frakturen des Femurkopfes können traumatische bedingte Differentialdiagnosen sein (1,14,21).

1.3.4.2 Radiologische Diagnostik

In der radiologischen Diagnostik von Schenkelhalsfrakturen ist initial das konventionelle Röntgenverfahren das geeignete bildgebende Instrument. Diese Präferenz basiert auf der hohen Effizienz des Verfahrens bei der Diagnosestellung und vor allem dem Ausschluss solcher Frakturen. Zur adäquaten Beurteilung sind eine Beckenübersichtsaufnahme im anterior-posterioren (a.p.) Strahlengang und eine axiale Aufnahme erforderlich. Die Beckenübersichtsaufnahme gewährleistet eine klare und überlagerungsfreie Darstellung des gesamten Schenkelhalses. Die axiale Aufnahme dient zur Darstellung einer weiteren Ebene, bei der durch Flexion des gesunden Beins im Hüft- und Kniegelenk eine Reduktion der Überlagerung erreicht wird (14,21).

Bei unklaren röntgenologischen Darstellungen und passender Symptomatik und Klinik ist die Computertomographie (CT) das ergänzende Diagnoseverfahren der Wahl. Insbesondere bei nicht dislozierten Frakturen, die in den Röntgenaufnahmen möglicherweise nicht sichtbar sind, erweist sich die CT-Untersuchung therapeutisch wegweisend. Die Magnetreso-

nanztomographie (MRT) spielt bei Ermüdungsfrakturen sowie bei der Beurteilung der Vitalität des Femurkopfes nach einer Schenkelhalsfraktur eine wichtige Rolle. Insbesondere bei der Unterscheidung zwischen älteren, bereits eingestauchten und kürzlich erlittenen Schenkelhalsfrakturen erweist sich die MRT als nützlich. Sie ermöglicht die Identifizierung subtiler Unterschiede in der Knochenmorphologie und dem Vorhandensein von Knochenmarködemen, die auf eine frischere Verletzung hinweisen. Darüber hinaus lässt sich mit Hilfe der MRT ein Rückschluss auf die Blutversorgung und damit auf die Vitalität des Caput femoris ziehen, was für die Planung einer angemessenen therapeutischen Strategie von entscheidender Bedeutung ist (32).

1.3.5 Klassifikationen

Frakturen im Bereich des Collum femoris lassen sich gemäß ihrer spezifischen Lokalisation in drei distinkte Kategorien klassifizieren. Diese Einteilung basiert auf anatomisch definierten Grenzen, wobei medial der Übergangsbereich von ossären Strukturen zum Knorpel des Caput femoris und lateral die Linea intertrochanterica sowie die Wurzeln der beiden Trochanteren als Abgrenzung dienen. Die Klassifizierung umfasst mediale oder subkapitale, transzervikale und laterale Schenkelhalsfrakturen. Laterale Schenkelhalsfrakturen sind charakteristischerweise an der Demarkationslinie am Übergang in das Corpus femoris lokalisiert. Sie liegen daher extrakapsulär. Mediale Schenkelhalsfrakturen weisen im Vergleich die höchste Inzidenz der Frakturen des Collum femoris auf (3).

1.3.5.1 AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation unterscheidet Frakturen des Femur (Kategorie „31“) in Abhängigkeit davon welcher Anteil des Knochens gebrochen ist. Sie unterscheidet zwischen intraartikulären Frakturen des Femurkopfes, extraartikulären Frakturen in der Region der Trochanteren sowie extraartikulären Frakturen im Bereich des Schenkelhalses (Subkategorie „31-B“). Letztere Kategorie lässt sich, basierend auf dem Grad der Schwere, in drei distinkte Subgruppen unterteilen (siehe Abbildung 16).

Die Subkategorie „31-B1“ charakterisiert eine subkapitale Fraktur mit minimaler Dislokation, die primär durch eine leichte Deviation der Trabekelstruktur identifiziert wird. Diese

Frakturen können zudem komprimiert oder impaktiert sein. Transzervikale Frakturen werden unter dem AO-Code „31-B2“ klassifiziert. Die Klassifikation „31-B3“ umfasst subkapitale, dislozierte, jedoch nicht impaktierte Frakturen (14,21). Die AO-Klassifikation hat nur eine geringe klinische Relevanz, da sie nicht für die endgültige Therapieentscheidung genutzt werden kann (1).

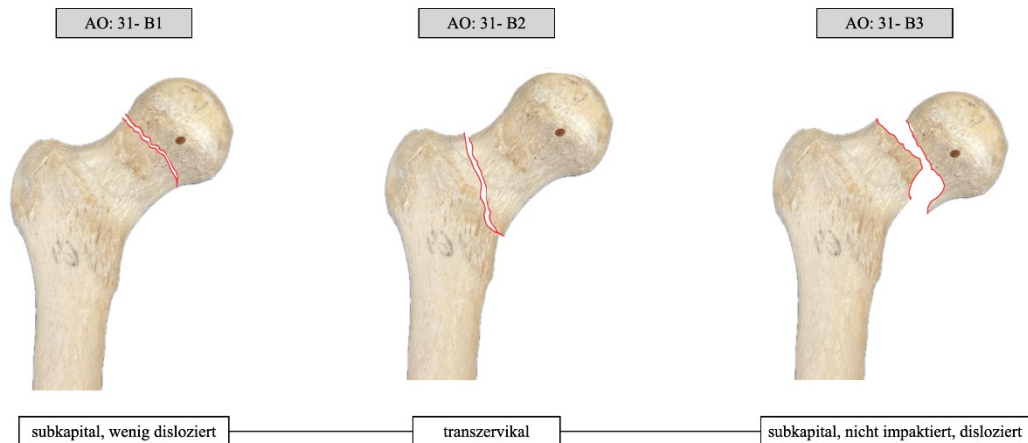


Abbildung 16: AO-Klassifikation proximaler Teil eines rechten Femur (abgebildet von ventral). Knochenpräparat mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Prettertklieber; adaptiert nach Niethard et al. (14)

1.3.5.2 Garden-Klassifikation

In der von Garden entwickelten Klassifikation für Schenkelhalsfrakturen wird insbesondere die Problematik der Perfusionsstörung hervorgehoben. So konnten Garden et al. (33) eine Klassifikation entwickeln mit deren Hilfe eine zuverlässige Prognose über eine suffiziente Knochenheilung und dem Auftreten einer avaskulären Femurkopfnekrose getroffen werden konnte. Dieser liegt die Annahme zu Grunde, dass eine reduzierte Kontaktfläche und eine ausgeprägte Dislokation der Frakturfragmente das Risiko einer unzureichenden arteriellen Versorgung erhöht. Diese Klassifikation wird an Hand von zweidimensionaler Charakteristika an einem a.p. Röntgenbild vorgenommen. Eine schematische Darstellung findet sich in Abbildung 17. Garden Typ 1 ist durch einen inkompletten, nicht dislozierten Bruch mit erhaltenem medialen Anteil der Kortikalis, oft mit valgischer Impaktierung charakterisiert. Im Garden Typ 2 findet sich eine komplette, jedoch nicht dislozierte Fraktur, bei der neben dem lateralen auch der mediale Bereich der Kortikalis durchbrochen ist. Obwohl die Trabekelbahnen durch den Frakturspalt getrennt sind, liegen keine Abknickungen vor. Liegen vollständige, partiell dislozierte Frakturen vor spricht man von einem Garden Typ 3. Das

Caput femoris rotiert nach dorsal und kippt nach caudal. Der Kontakt der Frakturfragmente wird noch über den medialen Anteil der Kortikalis aufrechterhalten. Der Garden Typ 4 ist durch eine vollständig dislozierte Fraktur definiert. Es besteht kein Kontakt mehr zwischen Caput und Collum femoris. Typischerweise ist dieses Stadium durch eine Zerstörung des dorsalen Anteils der Kortikalis gekennzeichnet, was eine deutliche Reduktion der Stabilität zur Folge hat. Morphologisch entsprechen Garden Typ 1 und 2 Frakturen ohne Dislokation, während Garden Typ 3 und 4 als Frakturen mit Dislokation klassifiziert werden. Während bei Typ 1 und 2 eine adäquate Perfusion des Femurkopfes noch angenommen wird, tritt ab dem Typ 3 eine Perfusionsstörung auf (14,33,34).

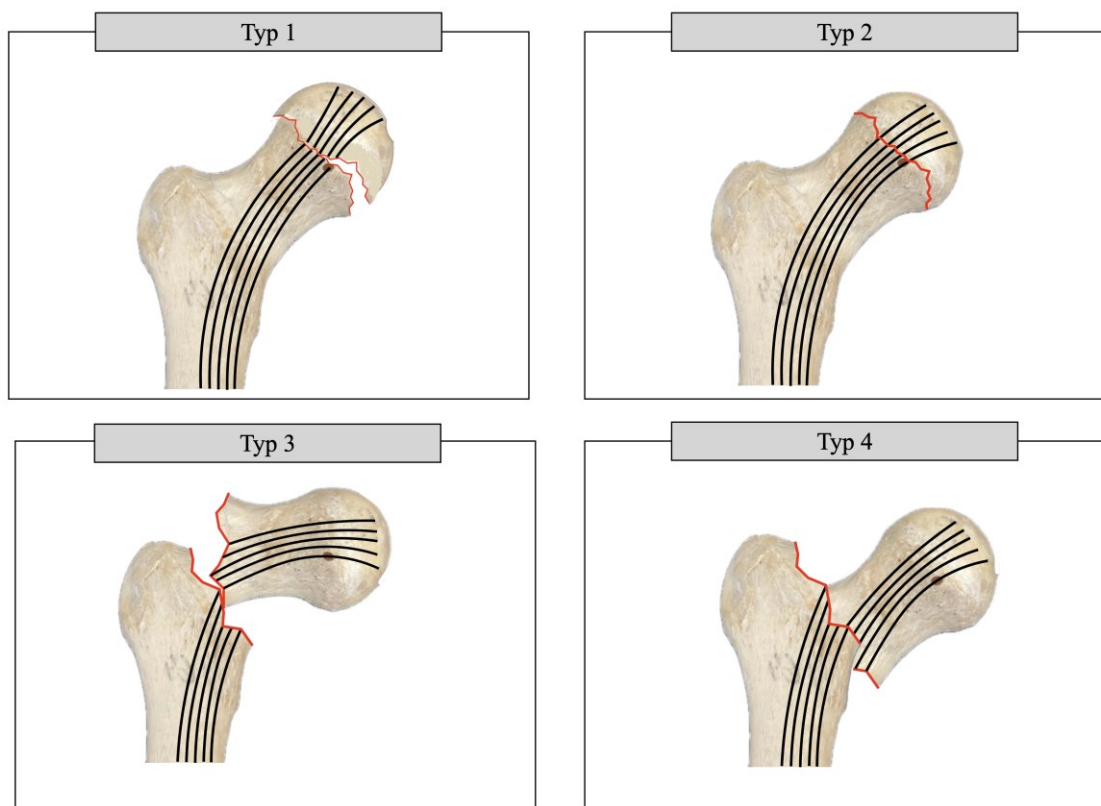


Abbildung 17: Klassifikation nach Garden, proximaler Teil eines rechten Femur (abgebildet von ventral). Knochenpräparat mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Pretterklieber; adaptiert nach Niethard et al. (14)

1.3.5.3 Pauwels-Klassifikation

In seiner systematischen Klassifizierung von Schenkelhalsfrakturen hielt es Friedrich Pauwels „für zweckmäßig, die verschiedenen Schenkelhalsbrüche im Hinblick auf die Prognose und Therapie nach ihrer mechanischen Konstellation in „...“ „drei Gruppen einzuteilen“ (35). Die Einteilung erfolgt mittels des Winkels der Frakturlinie zu einer virtuellen horizontalen Referenzlinie in einem a.p. Röntgenbild. Eine schematische Darstellung findet sich in Abbildung 18. Dabei wurden drei Kategorien festgelegt. Ein zunehmender Neigungswinkel der Frakturlinie resultiert in einer Zunahme der Scherkräfte. Diese Kräfte erhöhen in weiterer Folge das Risiko für eine Frakturdislokation. Diese Dislokation verschlechtert die Chance auf Frakturheilung. Das Ausmaß der Dislokation wird nicht berücksichtigt. Innerhalb dieser Klassifikation definiert das Stadium Pauwels I Frakturen, bei denen der Winkel zwischen der Frakturlinie und der Horizontalen weniger als 30 Grad beträgt. Frakturen, die einen Winkel zwischen 30 und 50 Grad aufweisen, werden dem Stadium Pauwels II zugeordnet. Ist der Winkel größer als 50° handelt es sich um Stadium Pauwels III. Mit zunehmendem Winkel steigt die biomechanische Belastung und die Heilung der Schenkelhalsfraktur wird erschwert (35).

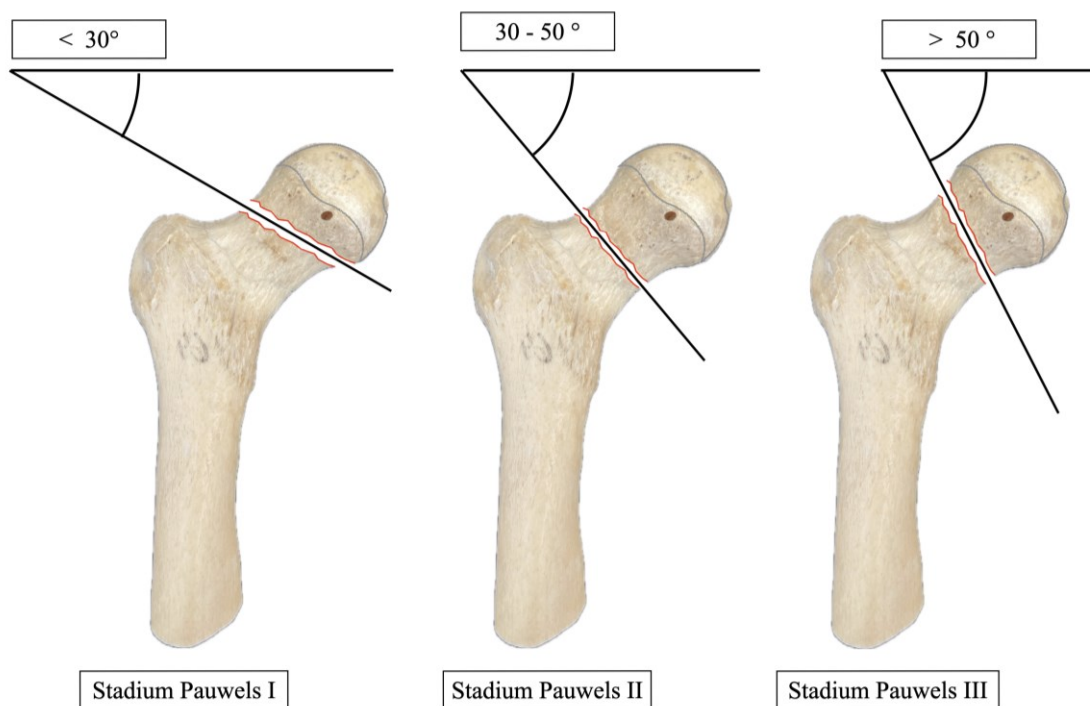


Abbildung 18: Klassifikation nach Pauwels, proximaler Teil eines rechten Femur (abgebildet von ventral). Knochenpräparate mit freundlicher Genehmigung von Michael und Bettina Pretterklieber; adaptiert nach Niethard et al. (14)

1.3.6 Therapie

Neben der Sicherstellung des Überlebens des/der Patient*in liegt der Fokus der Therapie auf dem Erhalt der Lebensqualität und der Wiederherstellung der Mobilität. Es sollte ein Therapieansatz gewählt werden, der voraussichtlich mit einer niedrigen Komplikationsrate verbunden ist (5). Generell gibt es die Möglichkeit einer konservativen und einer operativen Therapie. Die Indikationen, wann welche Therapie gewählt werden sollte und welche Therapieoptionen zur Verfügung stehen, werden im folgenden Abschnitt erörtert.

1.3.6.1 Konservative Therapie

Die wesentlichen Säulen des konservativen Therapieansatzes sind die Analgesie und die zeitnahe Mobilisation. Die physiologische sekundäre Knochenheilung wird bewusst als Therapiepfad gewählt. Nur bei primär einfachen Frakturen (Garden Typ 1, Pauwels Typ I), bei denen keine Dislokation des Caput femoris vorliegt und bei jüngeren Menschen ist die konservative Therapie eine Alternative zur operativen Versorgung (36). Wird konservativ therapiert ist unmittelbar am ersten Tag nach dem Unfallereignis unter physiotherapeutischer Aufsicht mit Teilbelastung zu beginnen (5). Initial ist eine Vollbelastung in Betracht zu ziehen, falls eine Teilbelastung nicht adäquat umzusetzen ist. Die größte Gefahr der Vollbelastung ist eine Sekundärdislokation, weswegen die Belastung unter physiotherapeutischer Aufsicht stattfinden. In den ersten beiden Wochen nach dem Unfallereignis sind engmaschige Röntgenkontrollen durchzuführen, um eine Sekundärdislokation frühzeitig zu erkennen und diese dann zeitnah operativ versorgen zu können (37). Ein möglicher Grund der zurückhaltenden Empfehlung der konservativen Therapie für jüngere Patient*innen liegt in der unzureichenden Studienlage. Zudem ist die Inzidenz der Sekundärdislokation in dieser Gruppe niedrig, so dass auf Grund der geringen Fallzahl nur eine geringe Aussagekraft vorhanden ist. Bei älteren Personen, bei denen es im Vergleich deutlich häufiger zu Schenkelhalsfrakturen kommt, kommt es in 50-80 % der Fälle mit Garden Typ 1- oder Pauwels Typ I-Frakturen zu einer sekundären Dislokation (37,38). Es gibt Untersuchungen, in denen bis zu 88 % der Patient*innen älter als 65 Jahre nach konservativer Therapie vollständig genesen (39,40). Die konservative Therapie wird überwiegend bei Patient*innen mit umfangreichen Vorerkrankungen mit einem dadurch erhöhten Mortalitätsrisiko bei chirurgischen Eingriffen angewandt. Rezente Bronchopneumonien, Herzinsuffizienz, schwerwiegende Malnutrition und Immobilität erhöhen das Komplikationsrisiko bei einer operative

Therapie (41-43). Bei diesen Vorerkrankungen ist davon auszugehen, dass die Therapieziele Mortalitätsreduzierung, Erhaltung der Lebensqualität durch Schmerzfreiheit und eine geringere Komplikationsrate im Vergleich zur Mobilitätswiederherstellung in den Vordergrund rücken (1).

1.3.6.2 Operative Therapie

Die operative Behandlung ist das Verfahren der Wahl bei der Behandlung der Schenkelhalsfraktur (5). Nach aktuellem Wissensstand ist die operative Therapie der konservativen Option überlegen. Dies betrifft sowohl die Hospitalisierungsdauer, die postoperative Mobilität und Funktionseinschränkung, die Komplikationsrate als auch die Genesungsrate. Von daher wird von einigen Autoren postuliert, dass selbst bei Patient*innen, welche die Voraussetzungen für einen konservativen Therapieansatz erfüllen, eine prophylaktische Osteosynthese durchgeführt werden sollte (1,44-47).

Obwohl viele verschiedene Verfahren zur operativen Versorgung der Schenkelhalsfraktur zur Anwendung kommen, kann man diese grundlegend in Femurkopf-erhaltende und Femurkopf-ersetzende Therapieformen einteilen.

1.3.6.2.1 Femurkopf-erhaltende Verfahren

Die Femurkopf-erhaltende Therapie durch Osteosynthese bei Schenkelhalsfrakturen, wird unabhängig vom Frakturtyp für Jugendliche und körperlich aktive Erwachsene empfohlen. Eine Altersgrenze für diese Behandlungsmethode lässt sich allerdings nicht definieren. Basierend auf der Krankengeschichte ist mit Blick auf das Risikoprofil eine individuelle Entscheidung für jede/n Patient*in zu treffen (1,48). Die Osteosynthese wird bei nicht dislozierten, stabilen Frakturen angewendet (1). Genauso wie bei jüngeren Patient*innen ist ein Vorliegen stabiler Frakturen, wie impaktierter Frakturen, Pauwels Stadium I oder Garden Typ 1 oder nur gering dislozierte Frakturen, wie Garden Typ, 2 notwendig (5). Eine weitere Voraussetzung ist eine gut erhaltene körperliche und geistige Leistungsfähigkeit. Ebenso relevante Faktoren sind eine gut reponierbare Fraktur, das Fehlen klinisch relevanter Osteoporose, ein großes Kopf-Hals-Fragment, ein großer Schenkelhalsdurchmesser, sowie ein Operationszeitpunkt innerhalb von 24 Stunden nach dem Unfallereignis. Im Weiteren kann eine ipsilaterale Parese eine Indikation für die Osteosynthese darstellen (5). Eine operative Intervention innerhalb von sechs Stunden nach der Fraktur trägt wesentlich zur Reduktion

von Femurkopfnekrosen, zur Förderung der Knochenheilung und zur Minimierung der Rate an Sekundärdisklokationen bei (49,50).

Vor der Implantation ist eine adäquate Reposition der Fraktur unerlässlich, um anatomisch korrekte Verhältnisse wiederherzustellen. Dies erfolgt vorzugsweise durch eine geschlossene Methode bei der unter leichter Abduktion und Längszug eine Innenrotation im Hüftgelenk erfolgt. Sollte eine geschlossene Reposition nicht möglich sein, wird eine offene Reposition erforderlich. Die korrekte Reposition ist entscheidend für die adäquate Platzierung des Implantats und die Aufrechterhaltung der Durchblutung des Femurkopfes. Die erfolgreiche Reposition ist an der wiederhergestellten Anordnung der Drucktrajektoren der Frakturfragmente und der Positionierung des caudalen Anteils der Kortikalis des Femurkopf-Frakturfragments erkennbar (21,22).

Eine grundlegende Anforderung an die Osteosynthesetechnik ist die Fähigkeit, den oft osteoporotisch beeinträchtigten Hüftkopf effizient gegen Varusdislokation und Rotation zu stabilisieren. Dies kann durch Techniken wie interfragmentäre Kompression oder die Verwendung einer Seitenlasche erreicht werden (51).

Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor ist der Erhalt der Durchblutung des Hüftkopfes zur Minimierung des Risikos von weiteren Komplikationen, vor allem der Hüftkopfnekrose (51). Eine rasche postoperative Vollbelastung, um eine schnelle Rückkehr zu alltäglichen Aktivitäten zu ermöglichen ist ebenso essentiell. Zusätzlich ist es vorteilhaft, wenn das Verfahren eine kontrollierte Sinterung innerhalb der Fraktur zulässt, um den Heilungsprozess und die Osteogenese zu fördern. Abschließend ist die Wahl des Implantatmaterials von Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf die Beeinflussung postoperativer diagnostischer Verfahren. Titanimplantate bieten hierbei Vorteile, da sie im Vergleich zu anderen Materialien weniger Artefakte in bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomographie und der Computertomographie verursachen (51). Hinsichtlich der Methoden und des eingesetzten osteosynthetischen Materials gibt es viele verschiedene Optionen.

Die zwei häufigsten Osteosynthese-Typen sind:

- Die dynamische Hüftschraube (DHS)

Eine großvolumige Schenkelhalsschraube mit winkelstabiler Führung in einer Lasche mit lateral fixierter Platte. Die DHS besteht aus einer Schraube, die in den Femurkopf eingebracht wird, und einer Platte, die entlang des Femurschafts fixiert wird. Sie ermöglicht eine dynamische Kompression, wodurch die Frakturheilung gefördert wird (51).

- Kanülierte (Hüft-) Schrauben (CHS)

Mehrere kanülierte Schrauben werden durch den Schenkelhals bis in den Femurkopf eingedreht. Diese Methode bietet eine stabile Fixierung und minimiert das Risiko einer Fehlstellung oder eines erneuten Bruchs. Die verwendete Schraubenanzahl kann variieren, jedoch werden meist drei gewählt (51).

Die dynamische Hüftschraube (DHS)

Die DHS besteht aus zwei Hauptkomponenten. Eine Platte, welche mittels Kortikalisschrauben am Femurschaft unmittelbar distal der Trochanteren befestigt wird, und einem Hohlzylinder, der in einem Winkel von etwa 135° mit dieser Platte verbunden ist (siehe Abbildung 19). Der Hohlzylinder fungiert als Führung für die Hüftschraube, die analog zu Spongiosaschrauben durch den Schenkelhals in das Caput femoris verläuft. Ein wichtiges Merkmal der



Abbildung 19: Dynamische Hüftschraube mit Antirotationsschraube (102)
(links a.p. Röntgenaufnahme, rechts laterale Röntgenaufnahme).

DHS ist die Möglichkeit des Gleitens der Schraube innerhalb des Zylinders, was eine Sinterung der Fraktur ermöglicht, ohne eine Dislokation des Implantats zu riskieren. Dies reduziert zudem das Risiko eines Schraubendurchbruchs durch den Femurkopf in den Gelenkspalt des Hüftgelenks. Um der geringeren Torsionsstabilität der DHS entgegenzuwirken, kann eine Antirotationsschraube (siehe Abbildung 19) eingesetzt werden. Diese wird cranial der DHS mit möglichst großem Abstand platziert und kann die Stabilität der Fixation um den Faktor drei erhöhen (52). Eine vorherige Platzierung der Antirotationsschraube verhindert zudem eine Rotation des Caput femoris vor der definitiven Fixierung mittels DHS. Analog zur Schraubenosteosynthese sollte das Gewinde der Schraube ausschließlich im Fragment des Femurkopfes liegen, und die Spitze der Schraube sollte knapp vor der Kortikalis enden, um eine optimale Stabilität und Funktionalität des Implantats zu gewährleisten (51).

Die Osteosynthese mit kanülierten Hüftschrauben (CHS)

Der Osteosynthese mit kanülierten Hüftschrauben (siehe Abbildung 20) liegt das biomechanische Prinzip der drei-Punkt-Abstützung am Kopf, am medialen und am lateralen Anteil der Kortikalis zu Grunde. Es werden selbstschneidende Hohlschrauben genutzt, die über einen vorab eingebrachten Führungsdraht positioniert werden. Die Fixierung erfolgt über den Schraubenkopf an der Kortikalis. Mit einem dynamischen Gleiten des gewindelosen Schraubenschafts nach lateral wird eine geführte Sinterung der Fraktur erzielt (5). Durch eine geeignete Gewindelänge der Schrauben wird eine effektive Kompression der Bruchstücke gewährleistet. Die gesamte Länge des Schraubengewindes muss sich im Frakturfragment befinden. Die Winkelstabilität der Schrauben wird dabei durch ihren Verlauf im Schenkelhals sichergestellt (51).



Abbildung 20: Drei kanülierte Hüftschrauben rechts (103), a.p. Röntgenaufnahme. Hinweis: Die cranialen Schrauben überlagern sich in dieser Aufnahme.

Hinsichtlich der Torsionsstabilität wird in den meisten Quellen die Nutzung von drei Schrauben empfohlen. Die richtige Positionierung der Schrauben ist ein wesentlicher Faktor zur Verhinderung der Rotation und eines Absinkens des Caput femoris. Die drei Schrauben sollten in umgekehrter Dreiecksformation angeordnet werden, wobei eine Schraube am caudalen Bereich der Kortikalis des Schenkelhalses und die anderen beiden an den ventralen und dorsalen Anteilen der Kortikalis positioniert werden sollten. Zur Optimierung der Schrauben-Positionierung kann eine Parallelbohrbüchse verwendet werden. Der optimale Eintrittspunkt für die Schrauben liegt auf Höhe des Trochanter minor oder cranial davon, um das Risiko subtrochantärer Frakturen zu minimieren. Eine steile und parallele Anordnung der Schrauben fördert die Sinterung und damit die Heilung der Fraktur. Die Schraubenenden sollten im Idealfall 5 mm profund zum Gelenkspalt in der Kortikalis des Femurkopfes enden (51).

DHS und CHS im direkten Vergleich

Die Torsionsstabilität der DHS ist im Vergleich zu den CHS geringer. Zudem kann die korrekte Verankerung des DHS-Gewindes im Hüftkopf bei kurzem Hüftkopffragment eine Herausforderung darstellen. In einem prospektiv-randomisierten Vergleich lag die 2-Jahres-Heilungsrate nach Verschraubung nach CHS bei 84 %, im Vergleich zu 64 % bei der Anwendung der DHS. In einer rezenten Studie zeigte sich, dass sich die Ergebnisse hinsichtlich Heilungsrate, Komplikationsrate und Verlust der Repositionsstellung für Patient*innen jünger als 65 Jahre, nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Trotzdem zeigte sich ein signifikant besseres Ergebnis beim Hip Disability and Osteoarthritis Outcome Score in der Gruppe, die mit kanülierten Hüftschrauben behandelt worden war. Dies deutet darauf hin, dass die Verwendung von kanülierten Hüftschrauben in Bezug auf die Lebensqualität und funktionelle Erholung für jüngere Patient*innen potenziell vorteilhafter sein könnte, auch wenn die oben angeführten Faktoren keinen Vorteil dieser Behandlungsmethode zeigten (53).

Eine winkelstabile Laschenplatte, wie sie bei einer DHS zum Einsatz kommt, bietet Vorteile für die Fixierung der Hüftschraube, indem sie effektiv die Rotation und das Abkippen des Hüftkopfes nach caudal oder dorsal verhindert (51). Der Raumbedarf im Caput femoris für das Gewinde der DHS von 4,8 cm³ ist auf einem ähnlichen Niveau wie der für drei 6,5 mm Spongiaschrauben (5,0 cm³) (6). Die Stabilität der DHS-Fixation kann durch das zusätzliche Einbringen einer cranialen Antirationsschraube wesentlich erhöht werden, was die

Stabilität um den Faktor drei steigern kann (52). Insbesondere bei Patient*innen mit Osteoporose ist dies von Vorteil. Durch die Fixation mit Zugschrauben zeigte sich eine wesentlich höhere Stabilität im Vergleich zu herkömmlichen Schrauben. Dieser Stabilitätsvorteil wird nicht bei Zugschraubenfixierung und normaler Knochendichte evident (54). In einer Metaanalyse aus dem Jahr 2017 wurde die Effektivität und Sicherheit der beiden Verfahren untersucht. Sieben randomisierte kontrollierte Studien mit insgesamt 592 Patient*innen wurden in die Analyse einbezogen. Diese Studie fand signifikante Unterschiede bezüglich der Reoperationsrate, wobei die CHS-Gruppe eine höhere Rate aufwies. Ebenso wurde ein signifikanter Unterschied in der Versagensrate der Fixierung beobachtet, mit einer höheren Rate in der CHS-Gruppe (55). Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied in der Rate postoperativer Komplikationen zwischen den beiden Behandlungsgruppen. Daraus kann geschlossen werden, dass die DHS-Methode, trotz der Notwendigkeit eines größeren Hautschnitts und umfangreicherer Weichteildissektion, mit niedrigeren Raten von Fixierungsversagen und Reoperationen verbunden ist. Die Autoren empfehlen daher die Verwendung der DHS-Fixierung bei älteren Patient*innen mit Osteoporose aufgrund ihrer Einfachheit, Wirksamkeit und höheren Gesamterfolgsrate (55). In einer weiteren rezenten Metaanalyse kamen Li et al. (56) zu einem konträren Schluss. Laut ihren Auswertungen weisen die beiden Verfahren ähnliche Komplikationen hinsichtlich der Mortalitätsrate, Revisionsrate und Pseudoarthrose auf. Jedoch ist die CHS der DHS in Bezug auf die Zahl avaskulärer Femurkopfnekrosen überlegen und sei demnach vorzuziehen (56).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es aktuell keine eindeutige Evidenz für eine der beiden Methoden gibt und weitere großangelegte Studien durchzuführen sind, um die Frage nach dem vorteilhafteren Implantat abschließend zu klären. Dabei kann es wichtig sein noch differenziertere Charakteristika zu finden, die für den Einsatz eines der beiden Verfahren sprechen (57).

Die Implantatwahl generell ist von der Erfahrung des Chirurgen abhängig. So soll die Auswahl des Implantats nach der Sicherheit in der chirurgischen Technik erfolgen und das verwendete Material durch eine randomisierte klinische Studie abgesichert sein (1,5,58).

1.3.6.2.2 Femurkopf-ersetzende Verfahren

Als Beurteilungsbasis für die Operation mit Gelenkersatz wird die Klassifikation nach Garden genutzt. Tendenziell ist bei älteren Patient*innen (älter als 65 Jahre), mit Coxarthrose und dysplastischem Acetabulum ein Femurkopfersatz anzustreben (1). Bei aktiven, älteren Patient*innen, die einen hohen funktionellen Anspruch an das Operationsergebnis haben, ist eine Endoprothese das Mittel der Wahl (59). Einige Krankheitsbilder sind eine klare Indikation zum primären Gelenkersatz. Dazu zählen Morbus Paget, Morbus Parkinson, pathologische Frakturen, Plegie, Polyarthritiden und ausgeprägte Osteoporose (51). Ist das Risiko einer insuffizienten Frakturheilung und das damit verbundene Risiko einer Reoperation hoch, wird der Erhalt des Femurkopfes ebenfalls nicht empfohlen (60). Ein primärer Ersatz ist vor allem dann anzustreben, wenn das Komplikationsrisiko durch die spätere postoperative Mobilisation das geringere Operationsrisiko der Osteosynthese übersteigt (59,60).

Es gibt Unterschiede im Ausmaß des Gelenkersatzes. Bei einer sogenannten Hemiendoprothese wird nur der Femurkopf ersetzt, wohingegen bei der Totalendoprothese zusätzlich auch die Gelenkspfanne ersetzt wird. Gemeinsam ist beiden Verfahren die Verankerung des Prothesenschaftes im Markraum des Femur (21).

Die Kopf- oder Hemiendoprothese

Kopf- oder Hemiendoprothesen (siehe Abbildung 21) bieten gegenüber Totalendoprothesen sowohl Vorteile als auch Nachteile. Vorteilhaft ist die meist kürzere Operationsdauer, der niedrigere Blutverlust und die geringere Luxationsrate (1,61,62). Ein wesentlicher Nachteil ist der vermehrte Abrieb des Innenkopfes (63). Kopfindoprothesen sind vor allem für Patient*innen mit geringer körperlicher Aktivität und reduzierter Lebenserwartung bei nicht eingestauchten Schenkelhalsfrakturen (Garden Typ 2–4) geeignet. Der Prothesenabrieb ist auf Grund der verminderten körperlichen Aktivität weniger relevant, so dass Wechseloperationen selten notwendig sind (64).

In Ergänzung zur unipolaren Kopfprothese, die nur einen Prothesenkopf besitzt, wurde die verschleißärmere bipolare Kopfindoprothese entwickelt. Bei der bipolaren Hemiendoprothese kann sich der künstliche Gelenkkopf nochmals in sich selbst bewegen. Um einen kleinen Kopf liegt eine Art Schale aus Kunststoff (Polyethylen), die diesen Kopf von der Gelenkpfanne separiert. Die Gelenkbewegung erfolgt dabei primär innerhalb des Gelenkkopfes zwischen dieser Schale und dem kleinen Kopf. Dadurch wird die Reibung auf

die Gelenkspfanne reduziert. Vergleicht man die postoperativen Ergebnisse der beiden Prothesenformen zeigt sich, dass es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des geschätzten Blutverlusts, der Länge des Krankenhausaufenthalts, der Sterblichkeitsrate, der Anzahl der Luxationen, postoperativer Komplikationen oder des Gehstatus nach einem Jahr gibt (65). Andere Studien weisen jedoch darauf hin, dass bei bipolaren Prothesen das funktionelle Ergebnis besser und die Prothesenversagensrate geringer ist (66).

Die Totalendoprothese

Studien zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Komplikationsrate zwischen Totalendoprothesen und Kopfendoprothesen gibt. Die Mobilität und Funktion ist nach Totalendoprothesenimplantation besser. Zudem sind die Schmerzen geringer (67,68). Kontralaterale Hüfterkrankungen oder morphologische Veränderungen der Pfanne durch Knochenstoffwechselstörungen wie Morbus Paget oder rheumatoide Arthritis sind klare Indikationen

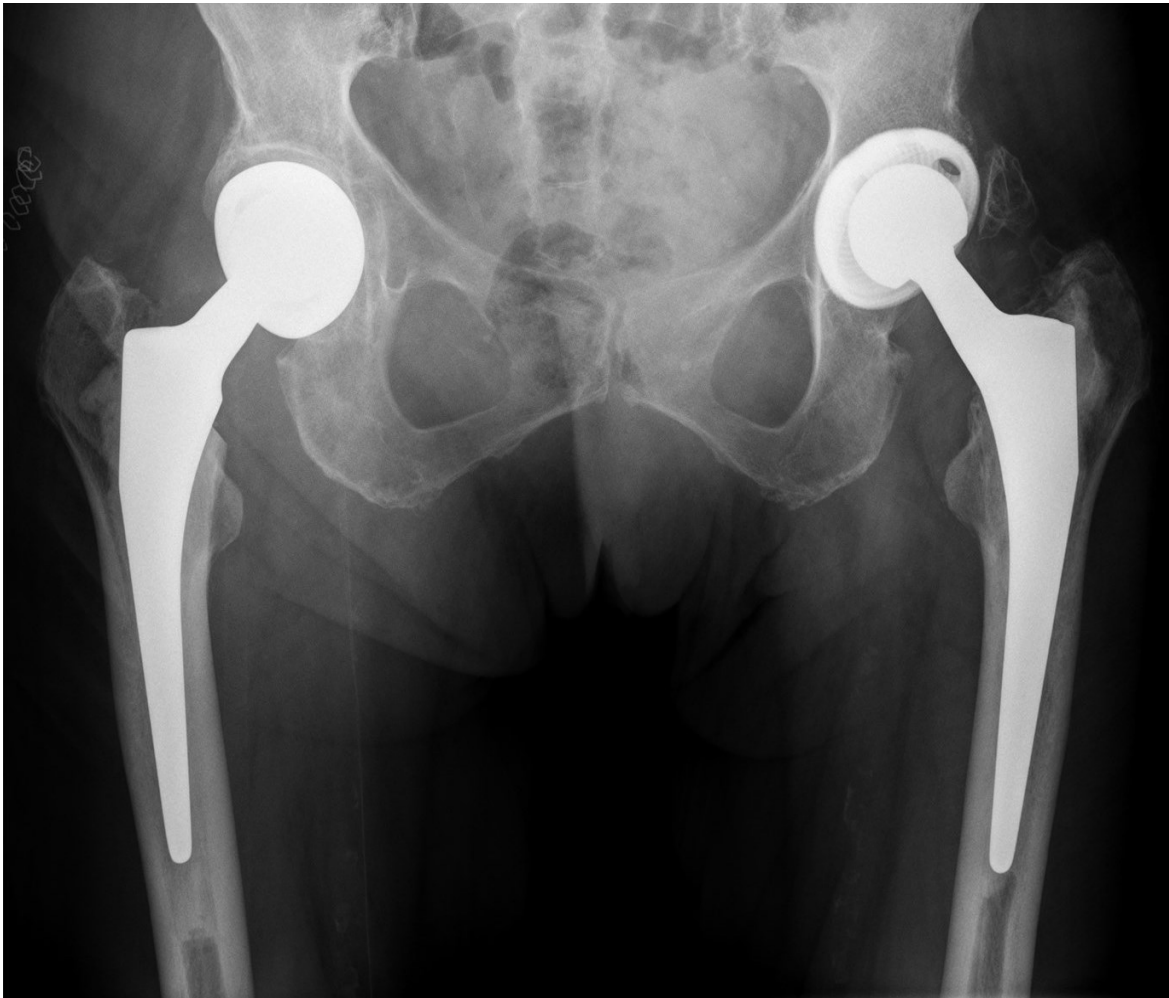


Abbildung 21: a.p. Röntgenaufnahme des Beckens (104)
rechts: Bipolare Hemiendoprothese
links: Totalendoprothese

für eine Totalendoprothese (69). Die Entscheidung für einen Totalersatz basiert häufig auf der Notwendigkeit einer verbesserten Gelenkfunktion und einer durchschnittlich längeren Lebensdauer des Implantats. Totalendoprothesen (siehe Abbildung 21) bieten somit eine dauerhaftere Lösung mit potenziell höherer Lebensqualität für die Patient*innen, bei meist längerer Operationsdauer und höherem intraoperativen Blutverlust (1,5).

1.3.7 Prävention

Zur Prävention einer Schenkelhalsfraktur bieten sich medikamentöse und nicht-medikamentöse Optionen an. Die nicht-medikamentöse Prophylaxe zielt primär auf die Förderung und den Erhalt von Muskelkraft und Mobilität ab. Insbesondere für die ältere Bevölkerungsgruppe ist körperliche Aktivität von zentraler Bedeutung, um Muskelkraft und Mobilität möglichst lange zu erhalten. Der Malnutrition und damit verbundenen Sarkopenie und Osteoporose muss prophylaktisch entgegengewirkt werden (1,5). Alimentär ist es für ältere Personen sinnvoll auf Kalzium und Vitamin D zu achten, um einer Osteoporose entgegenzuwirken und das Frakturrisiko zu verringern (70). Personen mit erhöhtem Osteoporosebedingtem Frakturrisiko wird eine medikamentöse osteoprotektive Therapie empfohlen (70). Rauchen stellt einen zu beachtenden Risikofaktor dar (5). Zusätzliche vorbeugende Maßnahmen umfassen das Tragen geeigneten Schuhwerks, die Nutzung von Gehhilfen und eine Anpassung der häuslichen Umgebung an das Alter. Prophylaktisch konnte ein multidisziplinäres, multifaktorielles Programm eine wesentlichen Reduktion von Stürzen und sturzbedingten Verletzungen bei stationären Patient*innen zeigen (71). Die Intervention dieses Programms beinhaltete unter anderem eine umfassende geriatrische Beurteilung und Rehabilitation, Prävention und die Behandlung von Sturzrisikofaktoren, systematische Behandlung postoperativer Komplikationen wie Delir, Schmerzen und Dekubitus (71). Allerdings zeigten Cameron et al. (72) mittels einer großen Metaanalyse, dass die Datenlage und auch die Qualität einzelner Studien zu diesem Thema aktuell als unzureichend zu bewerten sind. Daher sind hier weitere Studien notwendig, um herauszufinden, welche Interventionen zur Sturzvermeidung effektiv sind (72).

1.4 Ziel der Diplomarbeit

1.4.1 Einordnung der bestehenden Klassifikationen

In der Vergangenheit gab es verschiedene Ansätze Schenkelhalsfrakturen mit dem Ziel einer adäquaten Therapiewahl zu klassifizieren. Vor allem die Garden-Klassifikation hat sich im Laufe der Zeit als relevanteste Einteilung durchgesetzt. In der Praxis werden oft vereinfacht die Schenkelhalsfrakturen nur binär, als nicht disloziert oder disloziert eingeteilt und daraus die Behandlungsstrategie abgeleitet (34). In verschiedenen Studien zeigte sich, dass das Risiko für Frakturheilungsstörungen und avaskulären Nekrosen nicht zwingend mit der Graduierung der Garden Klassifikation korrelieren (73-76). In einer Untersuchung der Pauwels Klassifikation, stellte sich heraus, dass weder der gemessene Winkel noch die vorgeschlagene Stadieneinteilung irgendeine Vorhersagekraft bezüglich des Auftretens einer Frakturheilungsstörung hatten. Infolgedessen wird die weitere Verwendung der Pauwels Klassifikation für die Entscheidung, ob der Oberschenkelkopf erhalten oder ersetzt werden sollte, nicht mehr empfohlen (77).

1.4.2 Einführung des Posterior tilt

Palm et al. (78) stellten im Jahre 2009 den Ansatz zur Messung des posterior tilts als zusätzlichen Prädiktor für Reoperationsraten für Patient*innen mit nicht dislozierter Schenkelhalsfraktur vor. Nachfolgend wurde in Studien von Dolatowski et al. (79) und Sjöholm et al. (80) diese Methodik als Prädiktor für das zu erwartende Operationsergebnis untersucht. Dabei kristallisierte sich die Unterscheidung des posterior tilt in einen Bereich $\geq 20^\circ$ und einen Bereich $< 20^\circ$ als relevant für das Auftreten von Implantatversagen heraus. Einbezogen wurden Osteosynthesen bei Schenkelhalsfrakturen der Klassifikation Garden I und II (79,80). Auch Song et al. (81) stellten fest, dass ein posterior tilt $\geq 15^\circ$ ein höheres Risiko für Osteonekrose, ein schlechteres funktionales Ergebnis und ein höheres Risiko für Sekundäroperationen ist. Das Vorgehen zur Ermittlung des posterior tilt wird im Teil Material und Methoden (Kapitel 2.5) erläutert.

Die Therapiewahl orientiert sich unter anderem nach den Risiken der damit verbundenen Komplikationen (1). In dieser Diplomarbeit soll untersucht werden, ob die Garden Klassifikation zusammen mit dem posterior tilt zur Therapieentscheidungsfindung für mediale

Schenkelhalsfrakturen kombiniert werden sollte. Dazu werden retrospektiv die postoperative Komplikationsrate sowie die Reoperationsrate bei einer Osteosynthese mit drei kanülierten Schrauben analysiert. Dabei werden die Garden- und Pauwels Klassifikation und der posterior tilt miteinbezogen.

1.4.3 Nullhypothese

Die folgende Hypothese H_0 wird aufgestellt:

*H_0 : Bei medialen Schenkelhalsfrakturen, die nach der Garden Klassifikation als Typ 1 und Typ 2 zu beschreiben sind und einen posterior tilt $< 20^\circ$ aufweisen, ist die Osteosynthese bei ≥ 65 -jährigen Patient*innen mit drei kanülierten Schrauben in Bezug auf das Reoperationsrisiko eine risikoarme Therapieoption.*

2 Material und Methoden

2.1 Ethikvotum

Die durchgeführte Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz mit der EK-Nummer 34-500 ex 21/22 genehmigt. Sie ist konform mit den ethischen Richtlinien der Deklaration von Helsinki von 1964 und deren letzter Revision von 2013 (82) sowie den ICH-GCP Guidelines (83). Eine schriftliche Einwilligung zur Studienteilnahme aller eingeschlossenen Patient*innen liegt vor.

2.2 Verfahrensmodell

Nach Akquisition der Patient*innen wurden die in der Datenbank vorliegenden Informationen nach Metadatenkategorien eingeteilt. Im Anschluss wurden diese weiter klassifiziert und in einer statistischen Analyse auf Belastbarkeit nach unterschiedlichen Ansätzen und Methoden bewertet (siehe Abbildung 22). Im letzten Schritt wurden die Signifikanz der Korrelationen vor allem in Bezug auf Implantatversagen und postoperativen Komplikationen untersucht und als Ergebnis ausgewiesen.

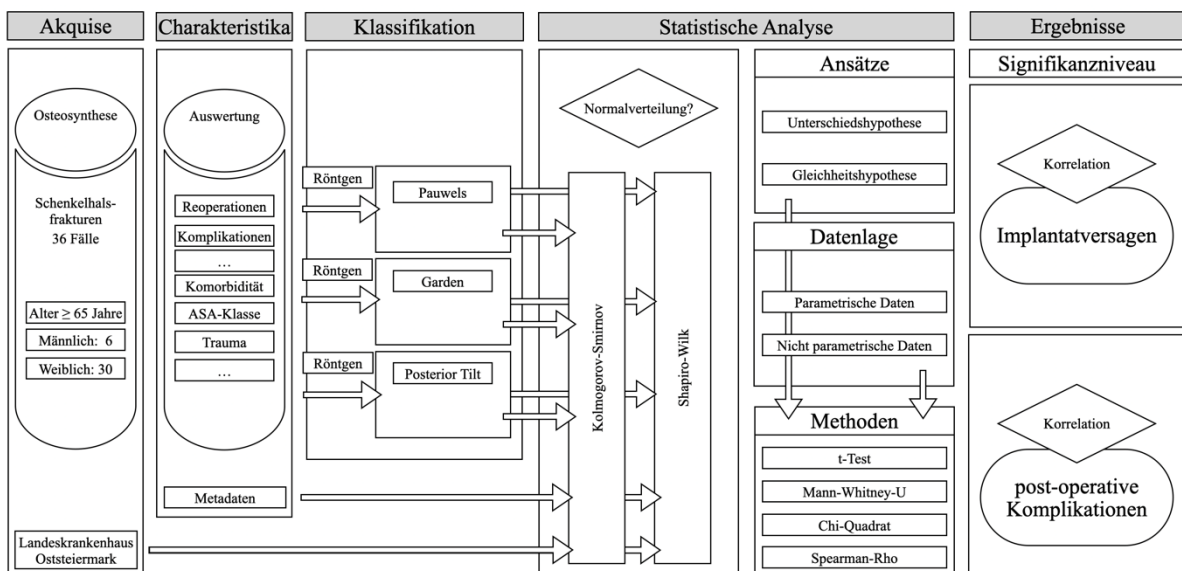


Abbildung 22: Verfahrensmodell des Studiendesigns

2.3 Patient*innenakquise

In diese Studie wurden alle Patient*innen eingeschlossen, die älter als 65 Jahre alt waren und aufgrund einer medialen Schenkelhalsfraktur im Zeitraum zwischen Januar 2012 und Dezember 2021 in einem Level 3 Traumacenter (Landeskrankenhaus Oststeiermark/Standort Feldbach) versorgt wurden. Die Frakturversorgung erfolgte durch eine Osteosynthese mit drei kanülierten Schrauben. Die Ausschlusskriterien der Studie waren Begleitverletzungen der ipsi- und kontralateralen unteren Extremitäten, sowie das Vorliegen einer pathologischen Fraktur.

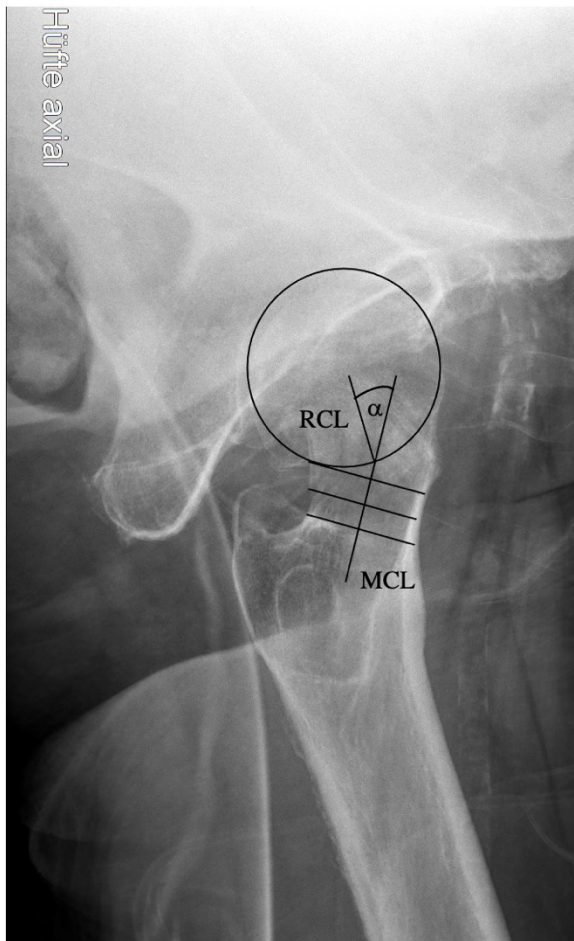
2.4 Patient*innencharakteristika

Die studienrelevanten Daten wurden bereits während der Behandlung in einer eigens dafür eingerichteten Krankenhausdatenbank erfasst. Spezifische Patient*innenmerkmale (Alter, Komorbiditäten, Geschlecht, Klassifikation der American Society of Anaesthesiologists (ASA)) sowie Details des vorangegangenen Traumas wurden retrospektiv ausgewertet. Die jeweiligen Frakturen wurden anhand der Klassifikationen von Garden (84) und Pauwels (35) charakterisiert. Zusätzlich wurde der posterior tilt nach Palm et al. (78) vermessen (siehe Abbildung 23).

Der Zeitraum zwischen dem Trauma und dem operativen Eingriff wurde in Stunden gemessen. Die Dauer der Operation wurde als Zeit in Minuten zwischen Hautinzision und Wundverschluss definiert. Ebenso wurden die intraoperativen Komplikationen und das jeweilige postoperative Behandlungsregime erhoben. Postoperative Komplikationen (mit Hauptaugenmerk auf Implantatversagen) wurden vermerkt und die Zeit bis zu einer eventuell stattgefundenen Revisionsoperation wurde erfasst. Darüber hinaus wurden alle Fälle von durchgeführten Implantatentfernungen miterfasst.

2.5 Bestimmung des posterior tilt

Palm et al. (78) entwickelten im Jahr 2009 eine neue Methode zur Klassifizierung von medialen Schenkelhalsfrakturen über die Messung des „posterior tilt“. Der posterior tilt ist ein Neigungswinkel (α) der Achsabweichung der Fraktur (siehe Abbildung 23). Er wird in präoperativen axialen Röntgenaufnahmen der Hüfte bei vorliegender medialer Schenkelhalsfraktur als Winkel (α) zwischen der



mittleren Collumlinie (MCL) und der Radiuscollumlinie (RCL) gemessen. Die Radiuscollumlinie wird zur Messung von der Mitte des Femurkopfes bis zum Schnittpunkt der mittleren Collumlinie und des Caputkreises gezogen. Dabei wird die MCL als Mitte des Femurhalses, durch drei eingezeichnete senkrechte Linien, im Abstand von 5 Millimeter, durch den schmalsten Teil des Collum femoris definiert.

Abbildung 23: Messung des posterior tilt, basierend auf einem axialem Röntgenbild der Hüfte (105).

2.6 Statistische Analyse

Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Software Statistical Package for Social Sciences (SPSS 21.0) durchgeführt. Die erfassten metrischen Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft (siehe Tabelle 1). Für die Metadatenkategorien Alter, Größe, Gewicht, Body-Mass-Index (BMI) und OP-Dauer in Minuten konnte eine Normalverteilung angenommen werden ($p > 0,05$). Die Variablen posterior tilt, die Stunden bis zur Operation und der Beobachtungszeitraum in Monaten waren nicht normalverteilt ($p \leq 0,05$). Für normalverteilte Variablen wurden für die weiteren Untersuchungen parametrische, für nicht-normalverteilte Variablen nicht-parametrische Tests verwendet.

Als generelles Signifikanzniveau aller Tests wurde $p = 0,05$ festgelegt.

Tabelle 1: Testung metrischer Metadaten

Metadatenkategorie	Kolmogorov-Smirnov	p	Shapiro-Wilk	p
Alter	0,11	0,20	0,97	0,31
Größe	0,13	0,13	0,95	0,10
Gewicht	0,09	0,20	0,98	0,82
BMI	0,13	0,11	0,96	0,18
OP-Dauer in Minuten	0,12	0,20	0,96	0,21
posterior tilt in °	0,27	< 0,001	0,67	< 0,001
Stunden bis OP	0,26	< 0,001	0,67	< 0,001
Beobachtungszeit in Monaten	0,29	< 0,001	0,48	< 0,001

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

Insgesamt wurden 36 Patient*innen in die Studie aufgenommen. 30 waren weiblich (83,3 %) und sechs männlich (16,7 %). Das Durchschnittsalter des Kollektivs betrug 79,7 Jahre (Standardabweichung (SD): 8,57; Spannbreite: 65-96). Der BMI der Patient*innen betrug im Mittel 23,5 (SD: 3,96; Spannbreite: 14-34). Bezüglich der Komorbiditäten hatten 75 % der Patient*innen vaskuläre, 69,4 % kardiale und 33,3 % renale Vorerkrankungen. Bei 25 % war bereits eine Osteoporose diagnostiziert worden, und 16,7 % litten an einem Diabetes mellitus. Die durchschnittliche Einstufung nach American Society of Anesthesiologists (ASA) betrug 2,4 (siehe Tabelle 2).

75 % aller Frakturen wurden dem Garden Typ 1 und 25 % dem Typ 2 zugeordnet. 26 Fälle (72,2 %) wurden als Pauwels-Typ-II-Frakturen und jeweils 13,9 % als Typ-I- bzw. Typ-III-Frakturen eingestuft.

Der mittlere posterior tilt aller Frakturen betrug $8,9^\circ$ (siehe Tabelle 2, SD: 7,13; Spannbreite: 2-42), wobei zwei Frakturen einen Wert von $\geq 20^\circ$ aufwiesen.

27 Patient*innen wurden am Tag des Traumas operativ versorgt, während es in neun Fällen zu einer Verzögerung von bis zu 51 Stunden nach der Verletzung kam. Das mittlere Zeitintervall zwischen dem Auftreten der Fraktur und dem Eingriff betrug 12,65 Stunden (SD: 12,49; Spannbreite: 4-51).

Die durchschnittliche Operationsdauer betrug 31,7 Minuten (siehe Tabelle 2). Es kam zu keinen intraoperativen Komplikationen.

Hinsichtlich des postoperativen Behandlungsregimes wurde 66,7 % aller Patient*innen eine schmerzabhängige Vollbelastung, 25 % eine Teilbelastung (mit 10 kg) und 8,3 % eine Entlastung für sechs Wochen nach Eingriff verordnet.

Durchschnittlich wurden die in die Studie eingeschlossenen Patient*innen über 6,16 Monate nachbeobachtet, bei einem Minimum von 1 Monat und einem Maximum von 60 Monaten (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Deskriptive Statistik metrischer Metadaten

Metadatenkategorie	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	65	96	79,67	8,57
BMI	14,17	34,38	23,55	3,96
ASA	1	4	2,44	0,79
posterior tilt in °	2	42	8,92	7,13
OP-Dauer in Minuten	12	60	31,69	12,21
Stunden bis OP	4	51	12,65	12,49
Beobachtungszeit in Monaten	1	60	6,16	10,17

Es erlitten drei Patient*innen (8,33 %) während des stationären Aufenthalts eine unkomplizierte Harnwegsinfektion. Ein Patient litt an einer vorübergehenden Parese des N. femoralis. Insgesamt ergab sich eine postoperative Komplikationsrate von 11,11%.

Die Rate des Implantatversagens lag bei 8,3 %. Die vom Implantatversagen betroffenen Patient*innen wurden im Durchschnitt 29,3 Tage nach der Primäroperation mittels Hüfttotalendoprothese versorgt (Spannbreite: 8-58), wobei bei all diesen Patient*innen initial die Zeitspanne bis zur operativen Versorgung < 12 Stunden lag.

Zwei Patient*innen (5,6 %) wünschten eine Implantatentfernung aufgrund von Schmerzempfindlichkeit bei Palpation in Höhe der Schraubenköpfe. Dies geschah neun beziehungsweise 17 Monate nach dem Primäreingriff. Ein weiterer Patient (2,8 %) entwickelte eine sekundäre Coxarthrose, die fünf Jahre nach der Osteosynthese des Oberschenkelhalses mittels Hüftendoprothese behandelt wurde. Diese drei Fälle werden im Folgenden weder bei postoperativen Komplikationen noch bei Implantatversagen miteingeschlossen.

3.2 Zusammenhänge mit postoperativen Komplikationen und Implantatversagen

Weder hinsichtlich des Geschlechts, des Alters, des BMI noch der ASA-Klassifikation gab es einen signifikanten Zusammenhang mit der Reoperationsrate oder dem Auftreten postoperativer Komplikationen (siehe Tabelle 3).

Für die Pauwels-Klassifikation ließ sich ebenfalls weder ein signifikanter Zusammenhang hinsichtlich des Auftretens von postoperativen Komplikationen noch hinsichtlich des Implantatversagens feststellen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Statistische Zusammenhänge mit postoperativen Komplikationen sowie Reoperationsraten

Metadatenkategorie	Postoperative Komplikationsrate	Reoperation bei Implantatversagen
Alter	t-Test; p = 0,21	t-Test; p = 0,29
Geschlecht	Chi-Quadrat; p = 0,34	Chi-Quadrat; p = 0,42
BMI	t-Test; p = 0,09	t-Test; p = 0,25
ASA	Chi-Quadrat; p = 0,21	Chi-Quadrat; p = 0,71
Garden-Klassifikation	Chi-Quadrat; p = 0,22	Chi-Quadrat; p = 0,002
Pauwels-Klassifikation	Chi-Quadrat; p = 0,60	Chi-Quadrat; p = 0,51
posterior tilt in °	Mann-Whitney-U; p = 0,008	Mann-Whitney-U; p = 0,32
OP-Dauer in Minuten	t-Test; p = 0,46	t-Test; p = 0,41
Zeit bis zur Operation	Mann-Whitney-U; p = 0,14	Mann-Whitney-U; p = 0,79
Beobachtungszeitraum	Mann-Whitney-U; p = 0,65	Mann-Whitney-U; p = 0,04
Postoperatives Behandlungsregime	Chi-Quadrat; p = 0,81	Chi-Quadrat; p = 0,83

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Klassifikation nach Garden und dem Auftreten von Implantatversagen gezeigt werden (Chi-Quadrat; p = 0,002). Es musste signifikant häufiger bei Frakturen reoperiert werden, welche der Garden Klassifikation

Typ 2 zugeordnet wurden (Spearman-Rho, $r = 0,52$, $p = 0,001$). Abbildung 24 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Fälle nach Reoperation aufgrund von Implantatversagen abhängig von der Garden-Klassifikation. Keine Garden Typ 1 klassifizierte Fraktur wurde auf Grund von Implantatversagen reoperiert. Im Gegensatz wurden ca. 30 % der Garden Typ 2 klassifizierten Frakturen, reoperiert.

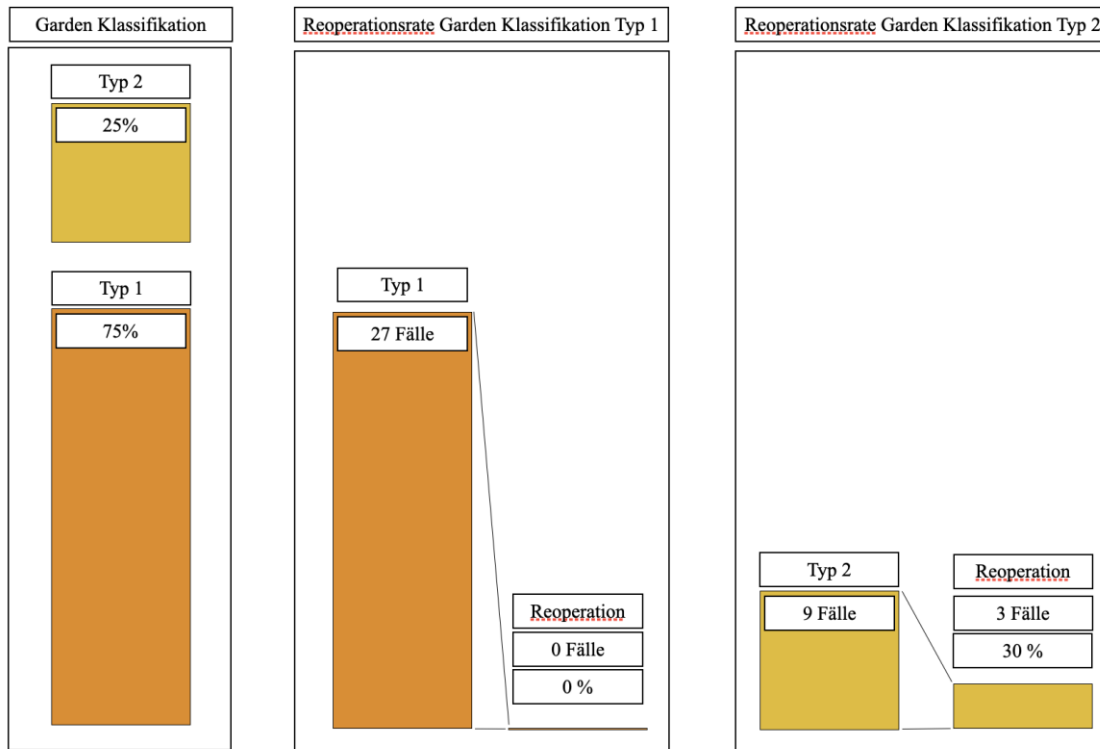


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung nach Reoperation aufgrund von Implantatversagen abhängig von der Garden Klassifikation

Kein signifikanter Zusammenhang ließ sich hingegen zwischen der Einteilung in Garden-Klassifikation und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen feststellen (siehe Tabelle 3).

Der posterior tilt betrug in dem untersuchten Patient*innenkollektiv bei zwei Patient*innen $\geq 20^\circ$, wobei in einem Fall eine Reoperation notwendig war (posterior tilt von 42°). Die Reoperationsrate aufgrund von Implantatversagen bei Frakturen mit einem posterior tilt $< 20^\circ$ betrug 5,88 % (2/34 Patient*innen). In allen Fällen wurde eine initiale Zeitspanne von unter 12 Stunden zwischen Trauma und Osteosynthese eingehalten. Insgesamt zeigte sich in den untersuchten Daten kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem posterior tilt und dem Auftreten von Implantatversagen (Mann-Whitney-U; $p = 0,32$). Statistisch fand sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe des posterior tilt und dem Auf-

treten von postoperativen Komplikationen (Mann-Whitney-U; $p = 0,008$). In einer Korrelationsanalyse zeigte sich ein signifikant gehäuftes Auftreten von postoperativen Komplikationen bei kleinen Werten des posterior tilt (Spearman-Rho, $r = -0,43$; $p = 0,009$). Abbildung 25 zeigt mittels Boxplot diesen Zusammenhang. Der median Wert (MW) des posterior tilt betrug $8,92^\circ$.

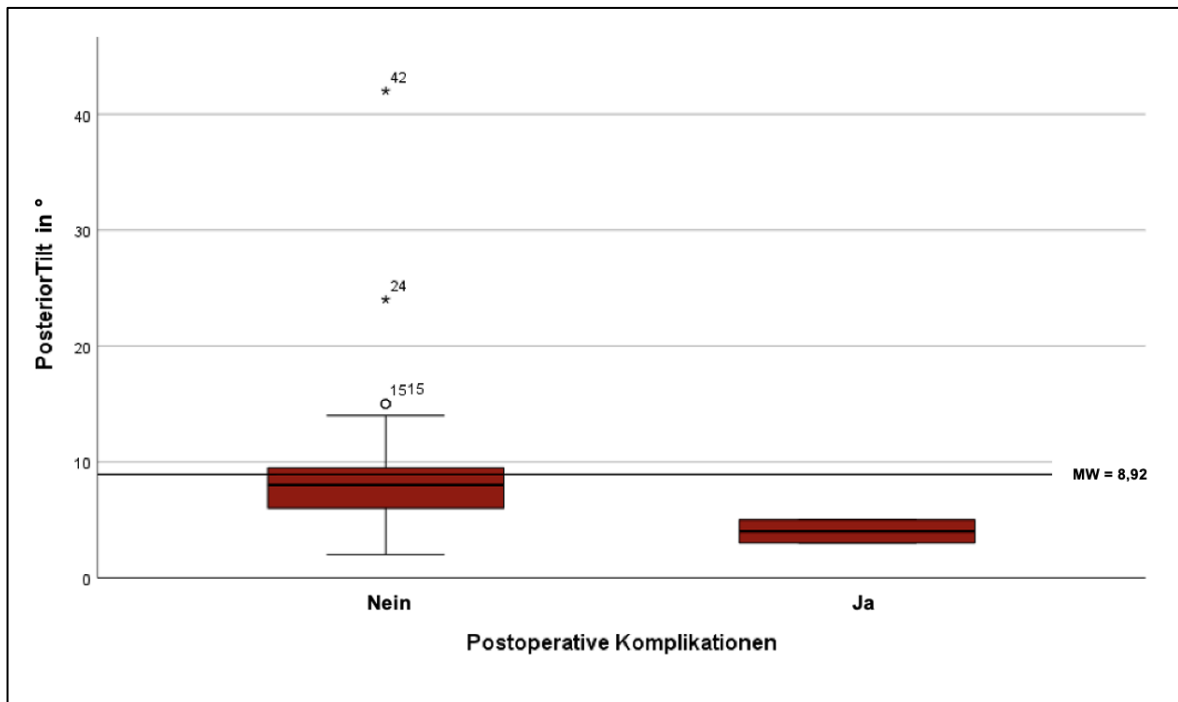


Abbildung 25: Boxplot zum Auftreten postoperativer Komplikationen in Abhängigkeit der Größe des posterior tilt

In den durchgeführten Analysen zeigten weder die Operationsdauer noch die Zeit bis zur Operation einen signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von postoperativen Komplikationen beziehungsweise einem Implantatversagen und anschließender Reoperation (siehe Tabelle 3). Auch über die Kategorisierung der Zeitspanne bis zur Operation in Intervalle $< 6h$ bzw. $< 24h$, ließ sich kein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten postoperativer Komplikationen oder der Reoperationsrate darstellen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Korrelation des Operationsintervalls mit postoperativen Komplikationen sowie mit der Reoperationsrate

Operationsintervall	Postoperative Komplikationen	Reoperationsrate
$< 6 \text{ Std. zu } \geq 6 \text{ Std.}$	Chi-Quadrat; $p = 0,19$	Chi-Quadrat; $p = 0,82$
$< 24 \text{ Std. zu } \geq 24 \text{ Std.}$	Chi-Quadrat; $p = 0,35$	Chi-Quadrat; $p = 0,52$

Die Länge des postoperativen Beobachtungszeitraums zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit Reoperationen aufgrund von Implantatversagen (siehe Tabelle 3, Abbildung 26).

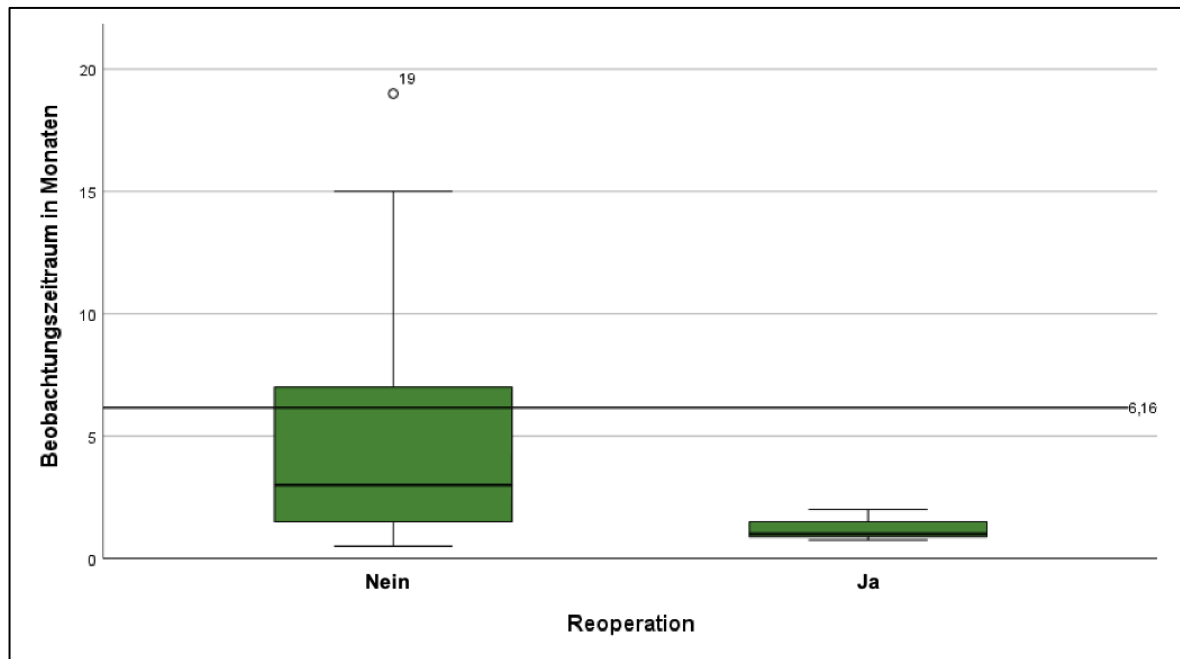


Abbildung 26: Boxplot zum Auftreten von Reoperationen bei Implantatversagen in Abhängigkeit des postoperativen Beobachtungszeitraums

In der Gruppe der Patient*innen mit Implantatversagen war die Beobachtungszeit signifikant geringer (Spearman-Rho, $r = -0,34$; $p = 0,04$). Bezüglich postoperativer Komplikationen konnte kein signifikanter Zusammenhang mit dem Beobachtungszeitraum festgestellt werden.

Bezüglich der Wahl des postoperativen Behandlungsregimes (Vollbelastung, Teilbelastung oder Entlastung für 6 Wochen) zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang mit der postoperativen Komplikationsrate oder einer Reoperation aufgrund von Implantatversagen (siehe Tabelle 3).

4 Diskussion

Das Studienziel war die Ermittlung der Reoperationsrate nach Osteosynthese von medialen Schenkelhalsfrakturen bei ≥ 65 -jährigen Patient*innen via retrospektiver Datenanalyse. Die folgende Nullhypothese wurde verwendet:

*H0: Bei medialen Schenkelhalsfrakturen, die nach der Garden Klassifikation als Typ 1 und Typ 2 zu beschreiben sind und einen posterior tilt $< 20^\circ$ aufweisen, ist die Osteosynthese bei ≥ 65 -jährigen Patient*innen mit drei kanülierten Schrauben in Bezug auf das Reoperationsrisiko eine risikoarme Therapieoption.*

Die Prüfung der Nullhypothese erfolgt im Folgenden über die Diskussion der ausgewerteten Daten und ihrer Einflüsse auf die postoperative Komplikations- und die Reoperationsrate. Im Weiteren werden die analysierten Daten mit der aktuellen Studienlage verglichen.

Postoperative Komplikationen

Unser Patient*innenkollektiv enthielt vier Fälle von postoperativen Komplikationen, was einer postoperativen Komplikationsrate von 11,11 % entspricht. Bei drei Patient*innen kam es zum Auftreten einer Harnwegsinfektion. In einem Fall wurde eine vorübergehende Parese des N. femoralis dokumentiert.

Im Vergleich berichteten Bigoni et al. (85) in einer Studie mit 244 Proband*innen über eine postoperative Komplikationsrate von 8,9 % nach kanülierter Schraubenfixation bei Schenkelhalsfrakturen Garden Typ 1 und 2. Das Komplikationsspektrum umfasste das Auftreten von Osteonekrosen, subtrochantären Frakturen, Infektionen und Pseudoarthrosenbildung. In einer anderen Studie mit 225 Proband*innen von Bjørgul et al. (86) wurden in 9 % postoperative Komplikationen im Sinne von Pseudoarthrosen und Dislokationen beschrieben. Konsekutiv führten die aufgetretenen Komplikationen zu einer Reoperation. In dieser Studie wurden keine anderen postoperativen Komplikationen erfasst. In der Gegenüberstellung der Komplikationsrate unseres Patient*innenkollektivs mit denen der oben angeführten Studien ist festzustellen, dass diese in einem ähnlichen Spektrum anzusiedeln ist. Lediglich die Studie von Bigoni et al. (85) bietet durch gleiches Studiendesign eine direkte Vergleichbarkeit.

In der aktuellen Studie wiesen weder die ASA-Klassifikation (Chi-Quadrat; $p = 0,21$), die Fraktureinteilung nach Garden (Chi-Quadrat; $p = 0,22$) bzw. Pauwels (Chi-Quadrat; $p = 0,89$), die Zeitspanne bis zur Operation (Mann-Whitney-U; $p = 0,14$), noch die Wahl des postoperativen Behandlungsregimes (Chi-Quadrat; $p = 0,59$) einen signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten postoperativer Komplikationen auf. Bigoni et al. (85) konnten ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Garden-Klassifikation oder der ASA-Klassifikation und dem Auftreten postoperativer Komplikationen zeigen. In Studien (77,87), in denen ein Zusammenhang zwischen Pauwels-Klassifikation und postoperativen Komplikationen untersucht wurden, konnte ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. In einer Studie (50), in der das Intervall zwischen Trauma und Osteosynthese im Hinblick auf das postoperative Ergebnis untersucht wurde, stellte sich eine Dauer < 6 Stunden bis zur operativen Versorgung (im Vergleich zu 6-24 Stunden und > 24 Stunden) im Hinblick auf postoperativen Schmerz und die auftretenden Komplikationen, als signifikant besser heraus. In einer Metaanalyse von Welford et al. (88) fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen frühem Operationszeitpunkt (< 24 Stunden) und besserem postoperativen Ergebnis hinsichtlich Komplikations- und Mortalitätsraten sowie Patient*innenzufriedenheit. In unserer Datenanalyse zeigte sich ein signifikant gehäuftes Auftreten postoperativer Komplikationen bei kleineren Werten des posterior tilt (Spearman Korrelationskoeffizient $-0,43$; $p = 0,09$). Eine andere Studie zeigte im Gegensatz dazu eine erhöhte Therapieversagensrate (unzureichende osteosynthetische Fixierung, Frakturheilungsstörung, avaskuläre Femurkopfnekrose und posttraumatische Osteoarthritis) bei Patient*innen mit einem posterior tilt $\geq 20^\circ$ (89). Auch in einer Metaanalyse von van der List et al. (90) fand sich eine signifikante positive Korrelation zwischen der Größe des posterior tilts und dem Auftreten von Therapieversagen bzw. der Reoperationsrate.

Diese Erkenntnisse stehen im Widerspruch zu unseren Auswertungen. Dieser Widerspruch könnte durch die kleine Größe unseres Patient*innenkollektivs bedingt sein. Ein weitergehender Erklärungsansatz ist, dass nur zwei Patient*innen einen posterior tilt $\geq 20^\circ$ hatten und bei diesen keine Komplikationen auftraten. Dadurch wurde statistisch eine Korrelation zwischen großem posterior tilt und niedriger Komplikationsrate evident, der als Kausalität missinterpretiert werden könnte.

Reoperationsrate aufgrund von Implantatversagen

Die analysierte Reoperationsrate unseres Patient*innenkollektivs von 8,33 % während einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 6,13 Monaten (Spannweite: 0-5 Jahre) steht im Kontrast zu einer in Metaanalysen beschriebenen Rate von ca. 20 % bei einer Osteosynthese mittels Schraubenfixierung (89,91). Eine 19 %-Reoperationsrate nach kanülierter Schraubenosteosynthese bei undislozierten Schenkelhalsfrakturen wurde in einer Studie von Gjertsen et al. (92) beschrieben. In einer Studie von Kain et al. (93) zeigte sich eine Revisionsoperationsrate von 10 % in einem durchschnittlichen Nachbeobachtungszeitraum von 11 Monaten (Spannweite 0-5 Jahre) nach der Fixierung mit kanülierten Hüftschrauben bei Patient*innen mit einem Durchschnittsalter von 80 Jahren und einer Schenkelhalsfraktur Garden Typ 1 oder 2. Sowohl die Implantatversagensrate als auch das Durchschnittsalter und die Spannweite der Nachbeobachtungszeit decken sich hierbei mit unseren Daten. Bigoni et al. (85) beschrieben hingegen wiederum eine geringere Reoperationsrate von 4,5 % bei Patient*innen mit Implantatversagen in einem durchschnittlichen Nachbeobachtungszeitraum von 14,6 Monaten (Spannweite: 2-48 Monate).

In unserer Datenauswertung zeigte sich eine signifikant höhere Reoperationsrate bei Frakturen, die der Garden Klassifikation Typ 2 zugeordnet wurden (Chi-Quadrat; $p = 0,002$) im Vergleich zu solchen der Garden Klassifikation Typ 1. Bigoni et al. (85) fanden hingegen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Garden Typ 1 oder 2 und der Reoperationsrate. Eine grundsätzliche Kritik der klinischen Relevanz der Garden Klassifikation ist, dass diese eine Einteilung nur anhand von a.p. Röntgenbildern der Hüfte vornimmt (34). In Studien, die zur Einteilung CT-Bilder heranzogen, zeigte sich, dass die in Röntgenbildern als Garden Typ 1 klassifizierten Frakturen tatsächlich in der dreidimensionalen Darstellung oft als Typ 2 oder Typ 3 eingeteilt wurden (94,95). Dies kann zur falschen Therapiewahl führen, insbesondere, wenn dislozierte Frakturen als nicht disloziert klassifiziert werden. Zudem sind andere wichtige Variablen, die bekanntermaßen Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, nicht Teil der Klassifikation. Dazu gehören das Alter der Patient*innen, Begleiterkrankungen, die postoperative Annäherung der Frakturfragmente und begleitenden Verletzungen (75,96,97).

In der vorliegenden Studie zeigten weder die ASA-Klassifikation (Chi-Quadrat; $p = 0,71$), die Pauwels-Klassifikation (Chi-Quadrat; $p = 0,51$), die Zeitspanne bis zur Operation (Mann-Whitney-U; $p = 0,79$), noch die Wahl des postoperativen Behandlungsregimes (Chi-Quadrat; $p = 0,83$) einen signifikanten Zusammenhang mit einem Implantatversagen und der

daraus resultierenden Reoperationsrate. Jedoch konnte ein signifikant kürzerer Beobachtungszeitraum in den Fällen von Implantatversagen dargestellt werden (Spearman-Rho; $r = -0,34$, $p = 0,04$). Ein Erklärungsansatz dieses statistischen Zusammenhangs wäre die Beendigung der initialen Nachbeobachtung zum Zeitpunkt der Reoperation. Ist dies zutreffend wäre der Nachbeobachtungszeitraum bei reoperierten Patient*innen immanent kürzer.

Lapidus et al. (98) versuchten in einer Studie herauszufinden, bei welchen Patient*innen mit Frakturen des Typs Garden 1 oder 2 ein höheres Risiko für Komplikationen der Frakturheilung und anschließende Revisionen besteht. Sie fanden jedoch keinen signifikanten Zusammenhang mit Alter, Geschlecht, ASA-Klassifizierung, kognitiver Funktion oder Zeit bis zur Operation bei 382 Schenkelhalsfrakturen mit einer Nachbeobachtungszeit von über fünf Jahren (98). Im Gegensatz dazu untersuchten Parker et al. (99) prospektiv 565 nicht dislozierte intrakapsuläre Hüftfrakturen und stellten fest, dass die Inzidenz von Komplikationen bei der Frakturheilung bei älteren und weiblichen Patient*innen höher war.

Die Reoperationsrate aufgrund eines Implantatversagens bei Frakturen mit einem posterior tilt $< 20^\circ$ betrug in unserem Datensatz 5,88 %, mit einem posterior tilt $\geq 20^\circ$ betrug die Rate 50 %. Es fand sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen posterior tilt und Implantatversagen mit anschließender Reoperation (Mann-Whitney-U; $p = 0,32$). In einer großen Metaanalyse von Nielsen et. al (100) wurden zehn Studien mit insgesamt 3131 Patient*innen analysiert. Diese ergab eine Reoperationsrate von 10,3 % bei Patient*innen mit einem posterior tilt $< 20^\circ$ und 24,5 % bei einem posterior tilt $\geq 20^\circ$. Es zeigte sich zudem ein signifikant erhöhtes Risiko für eine Reoperation bei einem präoperativen posterior tilt von $\geq 20^\circ$ in fast allen eingeschlossenen Studien (100). Jedoch finden sich auch konträre Studienergebnisse wie bei Lapidus et al. (98), die keinen Zusammenhang zwischen der Reoperationsrate auf Grund von Implantatversagen und Knochenheilungsstörungen mit dem posterior tilt konstatierten.

Sowohl der bestehende Grenzwert des posterior tilts von 20° als auch eine zusätzliche Stratifizierung des posterior tilts ist wissenschaftlich umstritten. Anhand des Risikos des Implantatversagens schlugen Dolatowski et al. (79) vor eine Dreiteilung vorzunehmen. Ihre ausgewiesenen Ergebnisse stützten die Teilung des Bereichs $\leq 20^\circ$ in einen Bereich $\leq 10^\circ$ (mit 6 % Reoperationsrate) und einen Bereich zwischen $> 10^\circ$ und $\leq 20^\circ$ (mit 11 % Reoperationsrate). Diese zusätzliche Einteilung wird durch den etablierten Bereich $> 20^\circ$ komplettiert in dem das Risiko des Implantatversagens auf 19 % steigt (79). Wird die Relevanz dieser

Klassifizierung des posterior tilt in weiteren qualitativ hochwertigen Studien bestätigt entsteht eine optimierte Behandlungsstrategie auf Grund einer stratifizierteren Risikoabschätzung.

4.1 Limitationen

Die Aussagekraft der gewonnenen Studienergebnisse ist durch die geringe Größe des Patient*innenkollektivs limitiert. Durch die Clusterung der Patient*innen in homogene Untergruppen (z.B. Einteilung nach posterior tilt, Geschlecht, Komplikationen) wird die zur vergleichenden Betrachtung zu Verfügung stehenden Fallzahl, weiter reduziert. Ein kontrolliert randomisiertes Studiendesign konnte auf Grund der retrospektiven Datenerhebung nicht rückwirkend etabliert werden. Die gegebenen Rahmenbedingungen der Datenauswertung ließen keine Einrichtung einer Kontrollgruppe hinsichtlich endoprothetisch behandelte Patient*innen zu. Dieses Vorgehen hätte eine weitere Differenzierung der Fragestellung ermöglicht. Eine weitere Limitation ist die Erhebung der Daten aus nur einem Traumazentrum. Da die Daten zwischen 2012 und 2021 erhoben wurden, variiert der Nachbeobachtungszeitraum zwischen eineinhalb und 60 Monaten. Aus diesem Grund kann nicht sichergestellt werden, dass alle postoperativen Komplikationen des Patient*innenkollektivs erfasst wurden. Außerdem wurde nicht berücksichtigt, dass die Operationen von unterschiedlichen Operateur*innen durchgeführt wurden.

4.2 Schlussfolgerung und Ausblick

Laut aktueller Studienlage ist ein posterior tilt von $\geq 20^\circ$ ein zuverlässiger Indikator für die Reoperationsrate bei nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen Garden Typ 1 oder Typ 2. Unsere Ergebnisse unterstützen die aktuelle Studienlage zum größten Teil, jedoch ohne ausreichende Signifikanz. Aus diesem Grund kann die Nullhypothese H_0 auf Grundlage der vorhandenen Datenbasis und der gewonnenen Erkenntnisse nicht angenommen werden. Trotzdem kann auf Grund unserer Ergebnisse vermutet werden, dass die osteosynthetische Versorgung der Schenkelhalsfraktur bei Patient*innen über 65 Jahre eine risikoarme Behandlungsoption bietet.

Um für die gefundenen Zusammenhänge statistisch relevante Aussagen zu treffen, empfiehlt sich die Modifizierung des Studiendesigns mit folgenden Faktoren: Größeres Patient*innenkollektiv, multizentrisches Studiendesign, Etablierung von Kontrollgruppen, randomisierte

Zuteilung der Patient*innen zu den verschiedenen Gruppen und ein prospektives Studiendesign. Ebenfalls hilfreich wäre die Festlegung eines Nachbeobachtungszeitraums in dem die Patient*innen in einem konkreten Zeitplan mit definierten Kriterien nachverfolgt werden. Dies würde eine bessere Vergleichbarkeit gewährleisten, die Beobachtung des Ergebnisverlaufs ermöglichen und dabei helfen, Einflussfaktoren wie das Alter effektiver zu berücksichtigen. Die Untersuchung der Mortalitätsrate könnte ein weiterer relevanter Endpunkt für die Qualität eines Therapiekonzeptes sein. In unserer Studie beschränkt sich die Beurteilung der Qualität der operativen Versorgung auf die Analyse der Komplikations- und Reoperationsraten.

Um die Wahl der Therapie so geeignet wie möglich zu machen und die Komplikations- und Reoperationsraten weiter zu verringern könnte eine verfeinerte Klassifikation der medialen Schenkelhalsfraktur entwickelt werden. Diese könnte wie in Studien postuliert zum Beispiel mit Hilfe einer dreidimensionalen Rekonstruktion eines CT-Scans des Femurhalses etabliert werden (101).

Außerdem sollte in weiteren Studien untersucht werden, ob noch andere signifikante Risikofaktoren für die Reoperations- oder Komplikationsrate außer dem posterior tilt existieren, die Patient*innen ≥ 65 Jahre für eine osteosynthetische Versorgung selektieren.

5 Literaturverzeichnis

- (1) Gierer P, Mittlmeier T. Schenkelhalsfraktur. Unfallchirurg 2015 Mar 01,;118(3):259-270.
- (2) Viganò M, Pennestrì F, Listorti E, Banfi G. Proximal hip fractures in 71,920 elderly patients: incidence, epidemiology, mortality and costs from a retrospective observational study. BMC public health 2023 Oct 10,;23(1):1-1963.
- (3) Baghdadi S, Kiyani M, Kalantar SH, Shiri S, Sohrabi O, Beheshti Fard S, et al. Mortality following proximal femoral fractures in elderly patients: a large retrospective cohort study of incidence and risk factors. BMC musculoskeletal disorders 2023 Aug 30,;24(1):1-693.
- (4) Butler M, Norton R, Lee-Joe T, Cheng A, Campbell A. The Risks of Hip Fracture in Older People from Private Homes and Institutions. Age and ageing 1996 Sep 1,;25(5):381-385.
- (5) Klaus M, Stürmer, Autoren F, Bonnaire F, Dresden A, Weber, et al. Schenkelhalsfraktur des Erwachsenen Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) in Zusammenarbeit mit der Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU).
- (6) Bonnaire F, Müller B, Kohlberger E. Kopferhaltende Operationsmethoden bei der Schenkelhalsfraktur des Erwachsenen. Hefte zur Zeitschrift „Der Unfallchirurg: Springer Berlin Heidelberg; 1993.
- (7) White TD, Black MT, Folkens PA. Human osteology. 3. ed. ed. Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Acad. Press; 2012.
- (8) Waldeyer A, Fanghänel J. Waldeyer Anatomie des Menschen. 17., völlig überarbeitete Auflage ed. Berlin ; New York: de Gruyter; 2003.
- (9) Rauber AA, 1841-1917. Rauber-Kopsch Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen / von Fr. Kopsch : V3. Germany: G. Thieme, 1922.
- (10) Palastanga N, Soames R. Anatomie und menschliche Bewegung. 1. Aufl., auf Grundlage der 6. engl. Aufl. ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2015.
- (11) Toldt C. Anatomischer Atlas für Studierende und Ärzte. Berlin [u.a.]: Urban & Schwarzenberg; 1900.
- (12) Lang J, Wachsmuth W. Bein und Statik. 2. ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg; 1972.
- (13) Standring S, Anand N, Tunstall R, Gray H, 1825-1861. Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice. Forty-second edition ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2021.

- (14) Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. 9., überarbeitete Auflage ed. Stuttgart: Thieme; 2022.
- (15) Putnam S, Collinge C, Gardner M, Ricci W, McAndrew C. Vascular Anatomy of the Medial Femoral Neck and Implications for Surface Plate Fixation. *Journal of orthopaedic trauma* 2019 Mar;33(3):111-115.
- (16) Tomlinson J, Ondruschka B, Prietzel T, Zwirner J, Hammer N. A systematic review and meta-analysis of the hip capsule innervation and its clinical implications. *Scientific reports* 2021 Mar 5;11(1):5299.
- (17) Pierre L, Yoann D, E TM, Robert S, Thibault D, Thomas C, et al. Sensory Innervation of the Hip Joint and Referred Pain: A Systematic Review of the Literature. *Pain medicine (Malden, Mass.)* 2021 May 21;22(5):1149-1157.
- (18) Barnett JJG, Shakeri S, Agur AMR. Overview of the Innervation of the Hip Joint. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America* 2021 Nov;32(4):745-755.
- (19) Frohse F, Fränkel M. Die Muskeln des menschlichen Beines. Jena: Fischer; 1913.
- (20) Kahle W, Fritsch H, Leonhardt H, Kühnel W, Platzer W. Taschenatlas der Anatomie. 12. aktualisierte Auflage ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2018.
- (21) Ficklscherer A. BASICS Orthopädie und Unfallchirurgie. 7. Auflage ed. München: Elsevier; 2023.
- (22) Müller M. Chirurgie für Studium und Praxis. 10. Aufl. ed. Breisach am Rhein: Med. Verl.- und Informationsdienste; 2010.
- (23) Müller ME, Koch P, Nazarian S, Schatzker J. Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg; 1990.
- (24) Lieberman JR, Friedlaender GE. Bone Regeneration and Repair. 1. Aufl. ed. Totowa, NJ: Humana Press; 2005.
- (25) Liu JX, Buza JA, Leucht P. Clinical Aspects of Fracture Healing: An Overview. *Clinic Rev Bone Miner Metab* 2015 Dec 1;13(4):208-221.
- (26) Einhorn TA, Gerstenfeld LC. Fracture healing: Mechanisms and interventions. *Nature reviews. Rheumatology* 2015 Jan 1;11(1):45-54.
- (27) Foster AL, Moriarty TF, Zalavras C, Morgenstern M, Jaiprakash A, Crawford R, et al. The influence of biomechanical stability on bone healing and fracture-related infection. *Injury* 2021 Jan;52(1):43-52.
- (28) Reahl GB, Gerstenfeld L, Kain M. Epidemiology, Clinical Assessments, and Current Treatments of Nonunions. *Curr Osteoporos Rep* 2020 Jun 1;18(3):157-168.
- (29) Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide Projections for Hip Fracture. *Osteoporosis international* 1997 Sep 1;7(5):407-413.

- (30) Rupp M, Walter N, Pfeifer C, Lang S, Kerschbaum M, Krutsch W, et al. The incidence of fractures among the adult population of Germany. *Deutsches Ärzteblatt international* 2021 Oct 8;;118(40):665-669.
- (31) Hansson LI, Ceder L, Svensson K, Thorngren K. Incidence of Fractures of the Distal Radius and Proximal Femur: Comparison of Patients in a Mental Hospital and the General Population. *Acta orthopaedica* 1982 Jan 1;;53(5):721-726.
- (32) Gill SK, Smith J, Chesser TJS. The role of CT and MRI in the diagnosis of occult hip fractures. *Injury Extra* 2011 Sep 1;;42(9):106.
- (33) Garden RS. LOW-ANGLE FIXATION IN FRACTURES OF THE FEMORAL NECK. *Journal of bone and joint surgery. British volume* 1961 November 1;;43-B(4):647-663.
- (34) Kazley JM, Banerjee S, Abousayed MM, Rosenbaum AJ. Classifications in Brief: Garden Classification of Femoral Neck Fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 2018 Feb 1;;476(2):441-445.
- (35) Pauwels F. Der Schenkelhalsbruch. In: Pauwels F, editor. *Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1965. p. 1-138.
- (36) Raaymakers ELFB. Fractures of the femoral neck: a review and personal statement. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Čechoslovaca* 2006;73(1):45-59.
- (37) Shuqiang M, Kunzheng W, Zhichao T, Mingyu Z, Wei W. Outcome of non-operative management in Garden I femoral neck fractures. *Injury* 2006 Oct 1;;37(10):974-978.
- (38) Hardy J, Collin C, Mathieu P, Vergnenègre G, Charissoux J, Marcheix P. Is non-operative treatment still relevant for Garden Type I fractures in elderly patients? The femoral neck impaction angle as a new CT parameter for determining the indications of non-operative treatment. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2019 May;105(3):479-483.
- (39) Amsellem D, Parratte S, Flecher X, Argenson J, Ollivier M. Non-operative treatment is a reliable option in over two thirds of patients with Garden I hip fractures. Rates and risk factors for failure in 298 patients. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2019 Sep 1;;105(5):985-990.
- (40) Helbig L, Werner M, Schneider S, Simank HG. Garden I femoral neck fractures: conservative vs operative therapy. *Der Orthopäde* 2005 Oct;34(10):1040-1045.
- (41) Ryder S-, Reynolds F, Bannister GC. Refining the indications for surgery after proximal femoral fracture. *Injury* 2001 May 1;;32(4):295-297.
- (42) Raaymakers E. The non-operative treatment of impacted femoral neck fractures. *Injury* 2002 Dec 1;;33:8-14.

- (43) Roche JJW, Wenn RT, Sahota O, Moran CG. Effect of comorbidities and postoperative complications on mortality after hip fracture in elderly people: prospective observational cohort study. *BMJ* 2005 Dec 10,;331(7529):1374-1376.
- (44) Taha ME, Audigé L, Siegel G, Renner N. Factors predicting secondary displacement after non-operative treatment of undisplaced femoral neck fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2015 Feb 1,;135(2):243-249.
- (45) Xu D, Bi F, Ma C, Wen Z, Cai X. A systematic review of undisplaced femoral neck fracture treatments for patients over 65 years of age, with a focus on union rates and avascular necrosis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2017 Feb 10,;12(1):28.
- (46) Cserhádi P, Kazár G, Manninger J, Fekete K, Frenyó S. Non-operative or operative treatment for undisplaced femoral neck fractures: a comparative study of 122 non-operative and 125 operatively treated cases. *Injury* 1996 Oct 1,;27(8):583-588.
- (47) Handoll HH, Parker MJ, Handoll HH. Conservative versus operative treatment for hip fractures in adults. *Cochrane database of systematic reviews* 2008 Jul 16,;2010(1):CD000337.
- (48) Duckworth AD, Bennet SJ, Aderinto J, Keating JF. Fixation of intracapsular fractures of the femoral neck in young patients: RISK FACTORS FOR FAILURE. *Journal of bone and joint surgery. British volume* 2011 Jun 1,;93(6):811-816.
- (49) Bonnaire FA, Weber AT. The influence of haemarthrosis on the development of femoral head necrosis following intracapsular femoral neck fractures. *Injury* 2002 Dec 1,;33:33-40.
- (50) Manninger J, Kazar G, Fekete G, Fekete K, Frenyo S, Gyarfás F, et al. Significance of urgent (within 6 h) internal fixation in the management of fractures of the neck of the femur. *Injury* 1989 Mar 1,;20(2):101-105.
- (51) Haas NP, Tscherne H, Trentz O, Nerlich M. *Tscherne Unfallchirurgie*. Berlin [u.a.]: Springer; 2012.
- (52) Swiontkowski MF, Harrington RM, Keller TS, Van Patten PK. Torsion and bending analysis of internal fixation techniques for femoral neck fractures: The role of implant design and bone density. *Journal of orthopaedic research* 1987;5(3):433-444.
- (53) Bouaicha W, Jlidi M, Elarbi M, Mallek K, Jaziri S, Abdennadher A, et al. Surgical management of neck of femur fractures in patients younger than sixty-five years: a comparative study of three fixation methods. *International orthopaedics* 2023 Oct 6,;47(12):3099-3106.
- (54) Neustadt JB, Tronzo R, Hozack WJ, Latta L. Femoral neck fractures: a biomechanical study of a new form of internal fixation using multiple telescoping variable length compression screws. *Clinical orthopaedics and related research* 1989 Nov 1,;248(248):181-188.
- (55) Zhang LL, Zhang Y, Ma X, Liu Y. Multiple cannulated screws vs. dynamic hip screws for femoral neck fractures. *Orthopäde* 2017 Nov 1,;46(11):954-962.

- (56) Li L, Zhao X, Yang X, Tang X, Liu M. Dynamic hip screws versus cannulated screws for femoral neck fractures: a systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research* 2020 Aug 26,;15(1):352.
- (57) Bhandari M, Tornetta P, Hanson B, Swiontkowski M. Optimal Internal Fixation for Femoral Neck Fractures: Multiple Screws or Sliding Hip Screws? *Journal of orthopaedic trauma* 2009 Jul;23(6):403-407.
- (58) Parker MJ. Evidence-based results depending on the implant used for stabilizing femoral neck fractures. *Injury* 2002 Dec 1,;33:15-18.
- (59) Johansson T. Internal Fixation Compared with Total Hip Replacement for Displaced Femoral Neck Fractures: A Minimum Fifteen-Year Follow-up Study of a Previously Reported Randomized Trial. *Journal of bone and joint surgery. American volume* 2014 Mar 19,;96(6):e46.
- (60) Chammout G, Mukka S, Carlsson T, Neander G, Helge Stark A, Sköldenberg O. Total Hip Replacement Versus Open Reduction and Internal Fixation of Displaced Femoral Neck Fractures: A Randomized Long-Term Follow-up Study. *Journal of bone and joint surgery. American volume* 2012 Nov 7,;94(21):1921-1928.
- (61) Lu-Yao GL, Keller RB, Littenberg B, Wennberg JE. Outcomes after displaced fractures of the femoral neck. A meta-analysis of one hundred and six published reports. *JBJS* 1994;76(1):15-25.
- (62) Dorr LD, Glousman R, Hoy ALS, Vanis R, Chandler R. Treatment of femoral neck fractures with total hip replacement versus cemented and noncemented hemiarthroplasty. *J Arthroplasty* 1986;1(1):21-28.
- (63) Calton TF, Fehring TK, Griffin WL, McCoy TH. Failure of the polyethylene after bipolar hemiarthroplasty of the hip. A report of five cases. *JBJS* 1998;80(3):420-423.
- (64) Haidukewych GJ, Rothwell WS, Jacofsky DJ, Torchia ME, Berry DJ. Operative treatment of femoral neck fractures in patients between the ages of fifteen and fifty years. *JBJS* 2004;86(8):1711-1716.
- (65) Raia FJ, Chapman CB, Herrera MF, Schweppe MW, Michelsen CB, Rosenwasser MP. Unipolar or Bipolar Hemiarthroplasty for Femoral Neck Fractures in the Elderly? *Clinical orthopaedics and related research* 2003 Sep 1,;414(414):259-265.
- (66) Inngul C, Hedbeck C, Blomfeldt R, Lapidus G, Ponzer S, Enocson A. Unipolar hemiarthroplasty versus bipolar hemiarthroplasty in patients with displaced femoral neck fractures. A four-year follow-up of a randomised controlled trial. *International Orthopaedics (SICOT)* 2013 Dec 1,;37(12):2457-2464.
- (67) Macaulay W, Nellans KW, Garvin KL, Iorio R, Healy WL, Rosenwasser MP. Prospective randomized clinical trial comparing hemiarthroplasty to total hip arthroplasty in the treatment of displaced femoral neck fractures: winner of the Dorr Award. *The Journal of arthroplasty* 2008 Sep 1,;23(6 Suppl 1):2-8.

- (68) Bublak R. TEP oder HEP nach Femurhalsfraktur? Orthopädie & Rheuma 2019 Dec;22(6):22.
- (69) Lee BP, Berry DJ, Harmsen WS, Sim FH. Total hip arthroplasty for the treatment of an acute fracture of the femoral neck. Long-term results. JBJS 1998;80(1):70-75.
- (70) F. Thomasius, E. Baum, P. Bernecker, Wolfgang Böcker, T. Brabant, P. Clarenz, et al. DVO Leitlinie 2017 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und Männern. Osteologie 2018 Sep 1,;27:154-160.
- (71) Stenvall M, Olofsson B, Lundström M, Englund U, Borssén B, Svensson O, et al. A multidisciplinary, multifactorial intervention program reduces postoperative falls and injuries after femoral neck fracture. Osteoporosis Int 2007;18(2):167-175.
- (72) Cameron ID, Dyer SM, Panagoda CE, Murray GR, Hill KD, Cumming RG, et al. Interventions for preventing falls in older people in care facilities and hospitals. Cochrane database of systematic reviews 2018 Sep 7,;2020(1):CD005465.
- (73) Beimers L, Kreder HJ, Berry GK, Stephen DJ, Schemitsch EH, McKee MD, et al. Subcapital hip fractures: the Garden classification should be replaced, not collapsed. Canadian journal of surgery 2002;45(6):411.
- (74) Zlowodzki M, Bhandari M, Keel M, Hanson BP, Schemitsch E. Perception of Garden's classification for femoral neck fractures: an international survey of 298 orthopaedic trauma surgeons. Arch Orthop Trauma Surg 2005;125:503-505.
- (75) Parker MJ. Prediction of fracture union after internal fixation of intracapsular femoral neck fractures. Injury 1994;25:SB3-SB6.
- (76) Høgh J, Jensen J, Lauritzen J. Dislocated femoral neck fractures: a follow-up study of 98 cases treated by multiple AO (ASIF) cancellous bone screws. Acta Orthopaedica 1982:245-249.
- (77) Parker MJ, Dynan Y. Is Pauwels classification still valid? Injury 1998 Sep 1,;29(7):521-523.
- (78) Palm H, Gosvig K, Krasheninnikoff M, Jacobsen S, Gebuhr P. A new measurement for posterior tilt predicts reoperation in undisplaced femoral neck fractures. Acta orthopaedica 2009 Jun 01,;80(3):303-307.
- (79) Dolatowski FC, Adampour M, Frihagen F, Stavem K, Erik Utvåg S, Hoelsbrekken SE. Preoperative posterior tilt of at least 20° increased the risk of fixation failure in Garden-I and -II femoral neck fractures. Acta orthopaedica 2016 May 3,;87(3):252-256.
- (80) Sjöholm P, Otten V, Wolf O, Gordon M, Karsten G, Sköldenberg O, et al. Posterior and anterior tilt increases the risk of failure after internal fixation of Garden I and II femoral neck fracture. Acta orthopaedica 2019 Nov 2,;90(6):537-541.

- (81) Song HK, Choi HJ, Yang KH. Risk factors of avascular necrosis of the femoral head and fixation failure in patients with valgus angulated femoral neck fractures over the age of 50 years. *Injury* 2016;47(12):2743-2748.
- (82) WMA Generalversammlung. WMA Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen. 1964.
- (83) European medicines agency. Guideline for good clinical practice E6 (R2). 2002 01.07.
- (84) Garden RS. Stability and union in subcapital fractures of the femur. *Journal of bone and joint surgery. British volume* 1964 Nov;46(4):630-647.
- (85) Bigoni M, Turati M, Leone G, Caminita AD, D'Angelo F, Munegato D, et al. Internal fixation of intracapsular femoral neck fractures in elderly patients: mortality and reoperation rate. *Aging Clin Exp Res* 2020 Jun 1;32(6):1173-1178.
- (86) Bjørgul K, Reikerås O. Outcome of undisplaced and moderately displaced femoral neck fractures. *Acta orthopaedica* 2007 Jan 1;78(4):498-504.
- (87) Berwarth H, Schlickewei W. Die mediale eingestauchte Schenkelhalsfraktur des älteren Menschen: Ist die konservativ-frühfunktionelle Behandlung heute noch vertretbar? Hefte zur Zeitschrift „Der Unfallchirurg: Springer Berlin Heidelberg; 1993.
- (88) Welford P, Jones CS, Davies G, Kunutsor SK, Costa ML, Sayers A, et al. The association between surgical fixation of hip fractures within 24 hours and mortality: a systematic review and meta-analysis. *The bone & joint journal* 2021;103(7):1176-1186.
- (89) Sattari SA, Guilbault R, MacMahon A, Salem HS, Khanuja HS. Internal Fixation Versus Hemiarthroplasty for Nondisplaced Femoral Neck Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of orthopaedic trauma* 2023 May 1;37(5):e219-e226.
- (90) van der List JP, El Saddy S, Vos SJ, Temmerman OPP. Role of preoperative posterior tilt on the outcomes of internal fixation of non-displaced femoral neck fractures: A systematic review and meta-analysis. *Injury* 2021 Mar 1;52(3):316-323.
- (91) Dolatowski F, Frihagen F, Bartels S, Opland V, Šaltytė Benth J, Talsnes O, et al. Screw Fixation Versus Hemiarthroplasty for Nondisplaced Femoral Neck Fractures in Elderly Patients: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Journal of bone and joint surgery. American volume* 2019 Jan 16;101(2):136-144.
- (92) Gjertsen J, Fevang JM, Matre K, Vinje T, Engesæter LB. Clinical outcome after undisplaced femoral neck fractures. *Acta orthopaedica* 2011 Jun;82(3):268-274.
- (93) Kain MS, Marcantonio AJ, Iorio R. Revision Surgery Occurs Frequently After Percutaneous Fixation of Stable Femoral Neck Fractures in Elderly Patients. *Clin Orthop Relat Res* 2014 Dec 1;472(12):4010-4014.
- (94) Chen W, Li Z, Su Y, Hou Z, Zhang Q, Zhang Y. Garden type I fractures myth or reality? A prospective study comparing CT scans with X-ray findings in Garden type I femoral neck fractures. *Bone* 2012;51(5):929-932.

- (95) Du C, Ma X, Zhang T, Zhang H, Wang C, Zhao F, et al. Reunderstanding of garden type I femoral neck fractures by 3-dimensional reconstruction. *Orthopedics* 2013;36(6):820-825.
- (96) Garden RS. Malreduction and avascular necrosis in subcapital fractures of the femur. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume* 1971;53(2):183-197.
- (97) Parker MJ. Garden grading of intracapsular fractures: meaningful or misleading? *Injury* 1993;24(4):241-242.
- (98) Lapidus L, Charalampidis A, Rundgren J, Enocson A. Internal Fixation of Garden I and II Femoral Neck Fractures: Posterior Tilt Did Not Influence the Reoperation Rate in 382 Consecutive Hips Followed for a Minimum of 5 Years. *Journal of orthopaedic trauma* 2013 Jul;27(7):386-390.
- (99) Parker MJ, Raghavan R, Gurusamy K. Incidence of fracture-healing complications after femoral neck fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2007;458:175-179.
- (100) Nielsen LL, Smidt NS, Erichsen JL, Palm H, Viberg B. Posterior tilt in nondisplaced femoral neck fractures increases the risk of reoperations after osteosynthesis. A systematic review and meta-analysis. *Injury* 2020 Dec;51(12):2771-2778.
- (101) Zhang R, Su X, Zhao J, Li J, Zhang L, Tang P. Three-dimensional morphological analysis of the femoral neck torsion angle—an anatomical study. *J Orthop Surg Res* 2020 - 05-27;15(1).
- (102) Hellerhoff. Dynamische Hüftschraube mit Antirationsschraube. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dynamische_Hueftschraube_mit_Antirationsschraube_83M_-_CR_2_Ebenen_-_001.jpg. Accessed 15.12., 2023.
- (103) LKH Oststeiermark. Institut für Radiologie. Kanülierte Hüftschraube Hüfte a.p. Übersicht. 2024 19.01.
- (104) Hellerhoff. Röntgenbild Duokopfprothese rechts- Totalendoprothese links. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Duokopfprothese_rechts_Totalendoprothese_der_Hueft-TEP_links_83W_-_CR_ap_-_001.jpg. Accessed 15.12., 2023.
- (105) LKH Oststeiermark. Institut für Radiologie. Röntgenbild Hüfte axial. 2024 19.01.

6 Anhang

- Lizenzvereinbarung: Springer Nature Verlag für Abbildung 9 und 11 aus Lang J, Wachsmuth W. Bein und Statik. 2. ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg; 1972.



Lizenzvereinbarung
Springer.docx

SPRINGER NATURE LICENSE
TERMS AND CONDITIONS

May 09, 2024

This Agreement between Mr. Niklas Pfeiler ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	5777670091159
License date	Apr 28, 2024
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Springer eBook
Licensed Content Title	Regio coxae, die Hüfte
Licensed Content Author	Dr. med. J. Lang, Dr. med. W. Wachsmuth
Licensed Content Date	Jan 1, 1972
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	non-commercial (non-profit)
Format	electronic