

**Diplomarbeit**

**Analyse der Osteosynthese nach Schenkelhalsfrakturen  
im Alter ab 65 Jahren in Hinblick auf die  
Reoperationsrate**

eingereicht von

**Thomas Pusch**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie**

unter der Anleitung von

**Univ.-Ass. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Paul Puchwein**

und

**Dr.med.univ. Viktor Labmayr**

Graz, am 31.03.2022

*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 31.03.2022*

*Thomas Pusch eh*

*für  
Mama*

## **Danksagungen**

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst sehr herzlich bei Priv.-Doz. Dr. Paul Puchwein für die fachliche Betreuung der Diplomarbeit bedanken. Darüber hinaus geht mein Dank an Ass. Dr. Viktor Labmayr, der mir mit Rat und Tat zur Seite stand und mich immer wieder motivieren konnte. Sowohl seine fachliche Kompetenz wie auch umsichtige Art führten mich sicher durch diesen letzten Studienabschnitt und sollen mir stets ein Vorbild bleiben.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht und mich dabei unterstützt haben, sowie meiner Schwester Carmen, die mich stets mit ihrer Lebensfreude ansteckt, bedanken.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Freundin Lena danken, die stets an meiner Seite steht, mich stärkt und mir Zuversicht schenkt. Danke, dass wir uns haben.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abkürzungen und deren Erklärungen.....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VI
Tabellenverzeichnis .....	VII
Zusammenfassung .....	VIII
Abstract.....	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Anatomie des Hüftgelenks.....	1
1.2.1 Die Gelenkskörper.....	2
1.2.2 Die Gelenkkapsel .....	4
1.2.3 Der Bandapparat .....	5
1.2.4 Die Muskulatur .....	6
1.2.5 Biomechanik.....	12
1.2.6 Blutgefäßversorgung des proximalen Femurs.....	13
1.3 Fraktur im Allgemeinen.....	15
1.3.1 Definition Fraktur .....	15
1.3.2 AO-Klassifikation.....	15
1.3.3 Frakturheilung .....	16
1.3.4 Frakturkomplikationen .....	17
1.4 Schenkelhalsfraktur .....	18
1.4.1 Einteilung.....	18
1.4.2 Klassifikationen.....	18
1.4.3 Epidemiologie.....	20
1.4.4 Ätiologie .....	20
1.4.5 Risikofaktoren .....	21
1.4.6 Diagnostik.....	24
1.4.7 Therapie .....	25
1.4.8 Komplikationen .....	32
1.4.9 Prognose nach operativer Therapie .....	36
1.4.10 Wahl des operativen Verfahrens.....	37
1.4.11 Prävention.....	38
2 Material und Methoden .....	39
2.1 Studienpopulation .....	39
2.2 Datenerhebung und Statistik.....	40
2.3 Präoperative Parameter .....	40
2.4 Postoperative Parameter .....	41
3 Resultate .....	42
3.1 Analyse der reoperierten Fälle.....	42
3.1.1 Deskriptive Auswertung.....	42
3.1.2 Statistische Auswertung .....	45
3.2 Deskriptive Auswertung der Studienpopulation.....	46
3.2.1 Mobilität und Mortalität .....	49
4 Diskussion .....	50
4.1 Limitationen.....	55
4.2 Conclusio .....	55
5 Literaturverzeichnis.....	56

## **Abkürzungen und deren Erklärungen**

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
a.p.	anterior-posterior
ACFL	Arteria circumflexa femoris lateralis
ACFM	Arteria circumflexa femoris medialis
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
ASA	American Society of Anesthesiologists
BMI	Body-Mass-Index
CCD	Collodiaphysenwinkel (= Centrum-Collum-Diaphysenwinkel)
DHS	Dynamische Hüftschraube
kg	Kilogramm
KI	Konfidenzintervall
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
mm	Millimeter
OR	Odds-Ratio (=Chancenverhältnis)
RANKL	Receptor Activator of NF- $\kappa$ B Ligand
Tab.	Tabelle

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtes Hüftgelenk im Frontalschnitt (Schünke et al., 2018).....	2
Abbildung 2: Rechte Hüftgelenkspfanne von lateral (Aumüller et al., 2014).....	3
Abbildung 3: Röntgenbild (a.p.) und Skizze eines rechten Femurs (Aumüller et al., 2014). .....	13
Abbildung 4: Arterielle Versorgung des proximalen Femurs (Aumüller et al., 2014). ....	14
Abbildung 5: Klassifikation nach Garden (adaptiert aus Haas & Krettek, 2012). ....	19
Abbildung 6: Schraubenosteosynthese. ....	28
Abbildung 7: DHS mit Antirotationsschraube. ....	29
Abbildung 8: Bipolare Hemiendoprothese. ....	31
Abbildung 9: Totalendoprothese. ....	31
Abbildung 10: Übersicht über die Fallauswahl. ....	40
Abbildung 11: Garden-Klassifikation im Kollektiv der Reoperierten. ....	43
Abbildung 12: Reoperationsrate nach Garden-Stadium. ....	52
Abbildung 13: Reoperationsrate nach Osteosyntheseverfahren. ....	44
Abbildung 14: Altersverteilung der Studienpopulation.....	47
Abbildung 15: Garden-Klassifikation der Studienpopulation. ....	47
Abbildung 16: Verwendete Operationsverfahren. ....	48

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Einzelne deskriptive Daten zu den Reoperationen.....	45
Tabelle 2: Statistische Auswertung des Risikos hinsichtlich Reoperation mit und ohne Dislokation.....	46
Tabelle 3: Übersicht über die deskriptive Auswertung der Studienpopulation.....	49

## **Zusammenfassung**

Die Schenkelhalsfraktur zählt zu den häufigsten Frakturen bei Erwachsenen. Insbesondere Personen fortgeschrittenen Alters leiden oftmals unter den Folgen, die bis zu Immobilität, Pflegebedürftigkeit oder letztlich Tod führen können. Die Wahl der passenden Therapieform ist dabei entscheidend, um Komplikationen zu minimieren. Die Frakturversorgung mittels Osteosynthese gewährt den Femurkopferhalt und weist eine geringe Invasivität auf, allerdings zeigt sich gerade bei älteren Personen eine hohe Versagensrate des Verfahrens mit der Notwendigkeit zur Reoperation.

In dieser Studie wurde anhand einer retrospektiven Analyse die Reoperationsrate nach Osteosynthese von Oberschenkelhalsfrakturen bei Patientinnen und Patienten über 65 Jahren ermittelt. Insgesamt wurden 128 Fälle identifiziert, die an der Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie der Medizinischen Universität Graz wegen einer Schenkelhalsfraktur osteosynthetisch versorgt worden waren.

In dieser Studienpopulation lag die Reoperationsrate bei 15,6%. Bei nicht dislozierten Brüchen war in 7,8% und bei dislozierten Brüchen in 52,2% der Fälle eine Reoperation notwendig (OR=12,8; 95%-KI: 4,31-38,17,  $p < 0,0001$ ).

In Übereinstimmung mit bereits publizierten Studien präsentierte sich die initiale Dislokation der Schenkelhalsfraktur als Hauptrisikofaktor für eine Reoperation. Zusammengefasst zeigen unsere Daten die osteosynthetische Versorgung als mögliche Therapie nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen bei über 65-Jährigen. Bei dislozierten Frakturen hingegen ist diese Therapieform aufgrund der hohen Versagensrate ungeeignet.

## **Abstract**

Femoral neck fractures are among the most common fractures in adults. In particular, elderly people often suffer from the complications, which can lead to immobility, need for care or ultimately death. The choice of the appropriate form of therapy is crucial in minimizing complications. Fracture treatment by osteosynthesis provides femoral head preservation and has a low invasiveness, but there is a high failure rate of the procedure with the need for reoperation, especially in the elderly.

This study used a retrospective analysis to determine the reoperation rate after osteosynthesis of femoral neck fractures in patients over 65 years of age. A total of 128 cases were identified who underwent osteosynthesis for femoral neck fracture at the Department of Orthopaedics and Trauma, Medical University of Graz.

In our cohort, the reoperation rate was 15.6%. For undislocated fractures, reoperation was necessary in 7.8% and for dislocated fractures in 52.2% of cases ( $p < 0.0001$ ).

In agreement with previously published studies, initial dislocation of the femoral neck fracture presented as the main risk factor for reoperation. In summary, our data show osteosynthetic treatment as a possible therapy for undisplaced femoral neck fractures in patients older than 65 years. In contrast, this form of therapy is not suitable for dislocated fractures due to the high failure rate.

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung

Mit einer Inzidenz von 120/100000 Einwohnerinnen und Einwohner in Deutschland im Jahr 2019 gilt der Bruch des Oberschenkelhalses als eine der häufigsten Frakturen Erwachsener, wobei vor allem über 65-Jährige betroffen sind (500-900/100000 Einwohnerinnen und Einwohner) (Minne et al., 2001; Rupp et al., 2021). Während der Anteil dieser Altersgruppe an der österreichischen Bevölkerung und somit auch die Anzahl an Schenkelhalsfrakturen in den kommenden 30 Jahren um ungefähr 50% steigen wird, leiden immer mehr ältere Patientinnen und Patienten unter den Folgen der Fraktur (Statistik Austria, 2021). Diese reichen von Komplikationen nach der operativen Versorgung, über weitere notwendige Eingriffe, Verlust an Lebensqualität und Mobilität bis hin zu Immobilität und Pflegebedürftigkeit. Eine weit verbreitete Methode der chirurgischen Therapie ist der Gelenkerhalt mittels Schraubenosteosynthese, jedoch geht diese insbesondere im Kollektiv älterer Personen häufig mit Komplikationen und Reoperationen einher (Dolatowski et al., 2019; Frihagen et al., 2007; Keating et al., 2005; Richards et al., 2020). Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollte daher in einer retrospektiven Analyse die Reoperationsrate osteosynthetisch versorgter Schenkelhalsfrakturen in einem Kollektiv von Patientinnen und Patienten über 65 Jahren ermittelt werden.

## 1.2 Anatomie des Hüftgelenks

Das Hüftgelenk (*Articulatio coxae*), das größte Gelenk des Menschen, verbindet den Oberschenkelknochen (*Femur*) mit dem Hüftbein (*Os coxae*) (Abb. 1). Da die Gelenkspfanne, gebildet vom *Acetabulum*, den Gelenkskopf bis über dessen Äquator hinaus umfasst, ist die *Articulatio coxae* ein Nussgelenk (*Enarthrosis*), eine Form des Kugelgelenks. Als ein solches sind Bewegungen in alle drei Raumachsen möglich. Durch die Tiefe der Gelenkspfanne ist das Gelenk besser gegen Luxationen geschützt. Die drei Gelenksachsen schneiden sich im Mittelpunkt des Gelenkskopfes, den der Femurkopf darstellt. Um die sagittale Achse sind eine Abduktion von  $45^\circ$  und eine Adduktion von  $30^\circ$  möglich. Die, durch die Mittelpunkte von Hüft- und Kniegelenk zum Zentrum des oberen Sprunggelenks verlaufende, vertikale Achse, auch Mikulicz-Linie, bildet die mechanische Tragachse des Beines. Bei gestrecktem Hüftgelenk sind eine Innenrotation von  $36^\circ$  und eine Außenrotation von  $13^\circ$  möglich. Beugt man in Hüft- und Kniegelenk, so vergrößern sich die möglichen

Winkel auf 50° Innenrotation und 45° Außenrotation. Um die transversale Achse können bis zu einem Winkel von 140° eine Anteversion (Flexion) und bis zu einem Winkel von 10° eine Retroversion (Extension) durchgeführt werden. Durch Kombination von Ab- und Adduktion sowie Flexion und Extension kann das Bein gekreist werden (Zirkumduktion). Bei Nutzung des maximalen Bewegungsausmaßes entsteht so eine elliptische Bahn (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014).

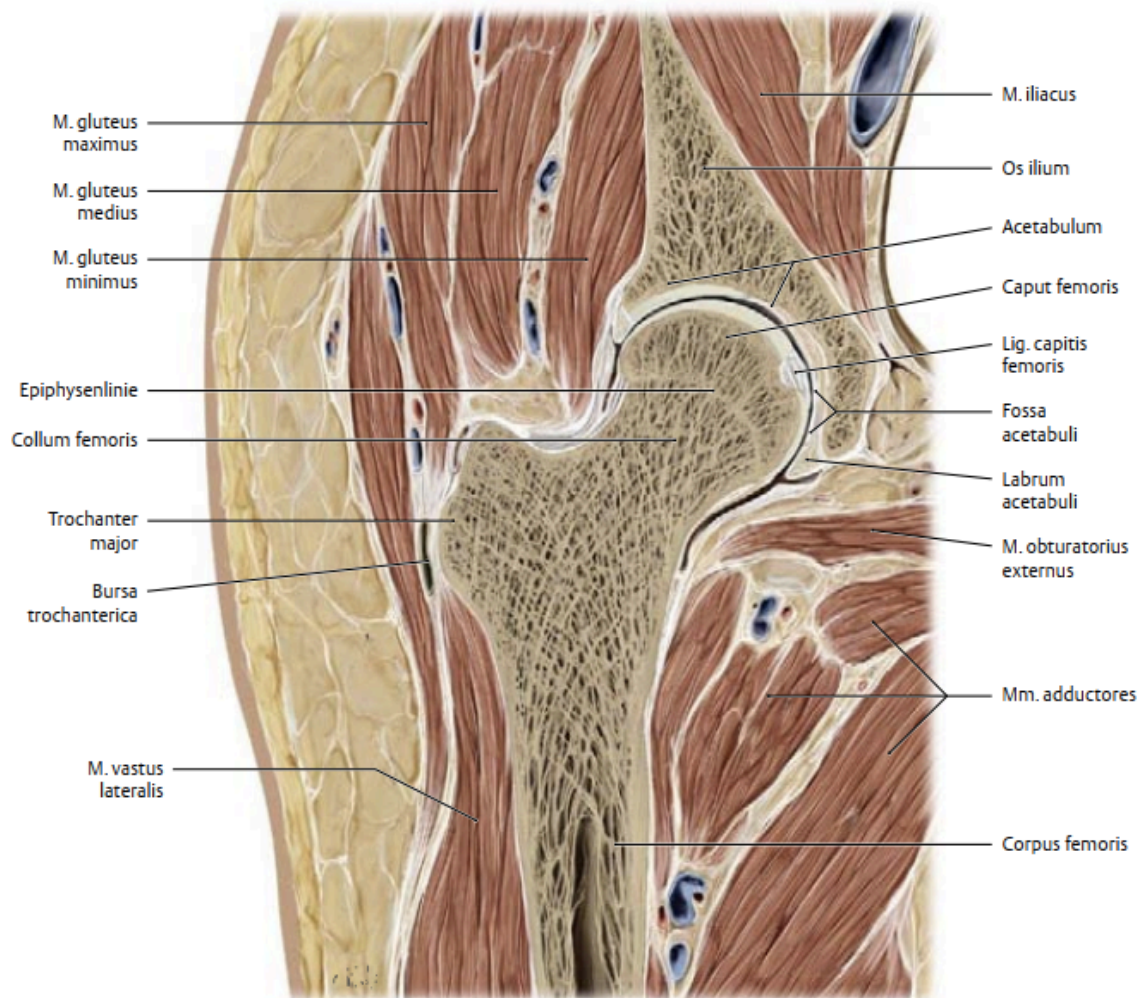


Abbildung 1: **Rechtes Hüftgelenk im Frontalschnitt** (Schünke et al., 2018).

## 1.2.1 Die Gelenkskörper

### 1.2.1.1 Die Gelenkspfanne

Die Gelenkspfanne der Hüfte (Acetabulum) besteht aus dem Os coxae, welches aus Scham- (Os pubis), Darm- (Os ilium) und Sitzbein (Os ischii) gebildet wird. Während der Embryonalentwicklung formen die Anlagen dieser drei Knochen noch ein „Y“. Beginnend im Volksschulalter, bilden die Knochen eine Synostose, die sich im 15. bis 16. Lebensjahr

endgültig schließt Die Pfanneneingangsebene neigt sich in der Frontalebene um ungefähr 50° nach kaudal. Insgesamt ist die Gelenkspfanne nach außen, unten und vorne ausgerichtet. Das knöcherne Acetabulum ist von der eigentlichen Gelenksfläche, der faserknorpeligen Facies lunata acetabuli, ausgekleidet (Abb. 2). Diese ist am kranialen Pfannendach am dicksten ausgeprägt, da hier die größte Druckbelastung einwirkt, während in der Mitte und kaudal im Stand keine Kräfte einwirken. Die Mitte der Gelenkspfanne, die Fossa acetabuli, enthält stattdessen ein Fettpolster, das Pulvinar acetabulare, welchem eine dämpfende Wirkung zukommt. Sowohl zentral als auch im Bereich der kaudal gelegenen Incisura acetabuli, die das Acetabulum gegen das weiter kaudal gelegene Foramen obturatum abgrenzt, wirkt in Standposition keine Druckbelastung ein. Das Lig. transversum acetabuli überspannt die kaudale Gelenksknorpellücke und komplettiert die unvollständige Gelenksfläche. Die Gelenksslippe (Labrum acetabuli) vergrößert die Gelenkspfanne, indem sie am knöchernen Rand des Acetabulums (Limbus acetabuli) entspringt und zirkulär um dieses verläuft. Dabei schließt sie direkt an die Facies lunata acetabuli beziehungsweise an das Lig. transversum acetabuli an und sorgt für eine bessere Führung des Gelenkkopfes (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

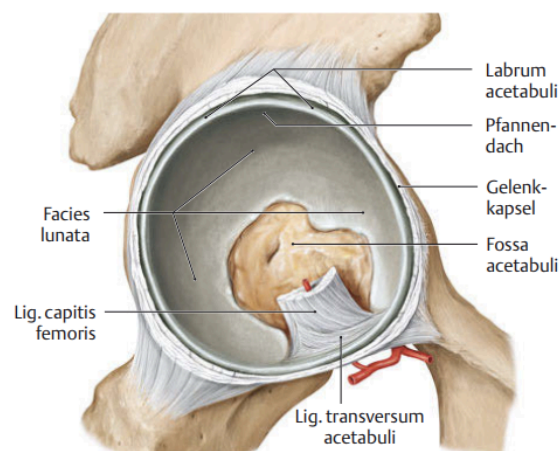


Abbildung 2: **Rechte Hüftgelenkspfanne von lateral** (Aumüller et al., 2014).

### 1.2.1.2 Der Gelenkkopf

Das proximale Ende des Oberschenkelknochens (Femur) bildet das Caput femoris. Dieses ist halb- bis  $\frac{2}{3}$ -kugelförmig und hat einen Durchmesser von 40 bis 50 Millimetern. Das Caput femoris ist von hyalinem Knorpel umhüllt, welcher die Gelenksfläche darstellt. Ausgespart von diesem Knorpel ist eine kleine Grube (Fovea capitis femoris), die etwas dorsokaudal des zentralen Pols liegt. Von dieser zieht ein Band (Lig. capitis femoris) durch die Gelenksfläche zur Fossa acetabuli, wo es an deren Rändern ansetzt (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

### 1.2.1.3 Restliches Femur

Das Femur kann in verschiedene Abschnitte eingeteilt werden. Das Caput femoris sitzt medial dem Hals des Oberschenkelknochens (Collum femoris, auch Schenkelhals) auf. An dessen Übergang in den Femurschaft (Corpus femoris) befinden sich zwei Rollhügel. Der große Rollhügel (Trochanter major) ist nach kranio-lateral und der kleine Rollhügel (Trochanter minor) nach dorsomedial ausgerichtet, wobei beide als muskuläre Ansatzregionen fungieren. Ventral sind die beiden Trochanter durch die feine Linea intertrochanterica verbunden. Dorsal befindet sich zwischen den Rollhügeln die deutlich markanter ausgeprägte Crista intertrochanterica. Medial des Trochanter majors, am Übergang zum Schenkelhals, findet sich eine Vertiefung (Fossa trochanterica). Während der Trochanter major deutlich tastbar ist, ist eine Palpation des kleinen Trochanters aufgrund der ihn umgebenden Muskulatur nicht möglich. Hinsichtlich der Stabilität des Femurs spielt der Collum-Corpus-Winkel oder Collodiaphysenwinkel (auch CCD-Winkel = Centrum-Collum-Diaphysenwinkel) eine wichtige Rolle. Damit beschreibt man den Winkel zwischen Schenkelhals und Femurschaft. Im Laufe des Lebens verändert sich der CCD-Winkel von 145° bei einem dreijährigen Kind, über 126° bei einem erwachsenen Menschen bis hin zu 120° bei einer älteren Person. Grund dafür ist, dass im Laufe des Lebens das Körpergewicht stets von kranial auf den Femurkopf wirkt, was diesen zunehmend nach kaudal drückt. Mit Abnahme der Winkelgrade steigt die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur des Schenkelhalses, da bei kleinem CCD-Winkel höhere Hebelkräfte auf das Collum femoris wirken. Beträgt der CCD-Winkel beim erwachsenen Menschen über 135°, so liegt eine Coxa valga vor. Bei einem Collodiaphysenwinkel unter 120° spricht man von einer Coxa vara. Distal schließen die beiden Femurkondylen das Femur nach kaudal ab und bilden die proximalen Gelenksflächen des Kniegelenks (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

### 1.2.2 Die Gelenkscapsel

Die Kapsel des Hüftgelenks entspringt im Bereich der Gelenkspfanne von dem knöchernen Acetabulum, dem Lig. transversum acetabuli sowie dem äußeren Rand des Labrum acetabulare. Somit ragt die Gelenkscapsel selbst frei in das Hüftgelenk hinein. Am ventralen Schenkelhals findet die Kapsel an der Linea intertrochanterica ihren Ansatz, wodurch ventral das gesamte Collum femoris von der Gelenkscapsel bedeckt ist. Dorsal ist die Gelenkscapsel medial der Crista intertrochanterica verankert, wodurch der dorsale Schenkelhals zu ungefähr  $\frac{2}{3}$  von der Kapsel umgeben ist. Die beiden Trochanteren liegen somit, wie auch

das laterale Drittel des dorsalen Schenkelhalses, extraartikulär. Die Schwachstellen der Hüftgelenkscapsel bilden die bandfreien Areale (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

### **1.2.3 Der Bandapparat**

Das Lig. iliofemorale findet an der Spina iliaca anterior inferior seinen Ursprung und inseriert an der Linea intertrochanterica. Das Band kann in zwei Teile untergliedert werden. Die kranialer und lateraler liegende Pars transversa verläuft schraubig verdreht mit ihren Faserzügen ungefähr parallel zum Schenkelhals, während die medial gelegene Pars descendens parallel zur Achse des Corpus femoris verläuft. So entspricht die Form des stärksten Bandes des menschlichen Körpers einem umgekehrten „V“. Indem sich seine beiden Teile bei aufrechtem Stand verspannen und verdrehen, ermöglicht das Lig. iliofemorale einen amuskulären Stand. Die Pars descendens verhindert ein Abkippen des Beckens nach dorsal und somit eine Hyperextension im Hüftgelenk. Die laterale Pars transversa hemmt neben Außenrotation und Adduktion in Zusammenarbeit mit der kleinen Glutealmuskulatur auch das Abkippen des Beckens zur Spielbeinseite.

Das Lig. pubofemorale hat an der Crista obturatoria im Bereich des oberen Schambeinastes (Ramus superior ossis pubis) sowie an den kranialsten Anteilen der Membrana obturatoria, die das Foramen obturatum überspannt, seinen Ursprung. Das Band zieht nach lateral, strahlt in die Kapsel ein und inseriert im distalen Anteil der Linea intertrochanterica am Femur. Das Lig. pubofemorale hemmt Abduktion, Außenrotation und Extension im Hüftgelenk.

Dorsal des Gelenks entspringt das Lig. ischiofemorale im Bereich des dorsalen Acetabulumrands und des Os ischium. Dieses Band zieht nach ventral und etwas kranial über den Schenkelhals, strahlt dabei in die Gelenkscapsel ein und findet anschließend an der Fossa trochanterica und mit dem Lig. iliofemorale an der Linea intertrochanterica am ventralen Femur seinen Ansatz. Es begrenzt vor allem die Innenrotation, aber auch Extension und Außenrotation.

Das Ringband (Zona orbicularis), in welches vor allem die Ligg. ischiofemorale und pubofemorale, zum Teil aber auch das Lig. iliofemorale, einstrahlen, verläuft zirkulär um das Collum femoris. Es umschlingt den Schenkelhals an dessen engster Stelle und hält somit das Caput femoris stabil in der Gelenkspfanne.

Während sich die bisher genannten Bänder außerhalb der Hüftgelenkscapsel befinden, liegt das Lig. capitis femoris intrakapsulär und ist von einer Synovialmembran

umhüllt. Das Band zieht von der Fovea capitis femoris zur Fossa acetabulare. Das Lig. capitis femoris führt die Arteria capitis femoris welche im Kindheitsalter den Femurkopf versorgt. Bei den meisten Erwachsenen ist die Arterie obliteriert, nachdem im Laufe des Wachstums die arterielle Versorgung des Caput femoris von anderen Blutgefäßen übernommen wird. Das Band verbindet zwar die beiden Gelenksflächen, besitzt jedoch keine relevante mechanische Funktion, da es erst im Fall einer Luxation des Gelenks gespannt wird (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

## **1.2.4 Die Muskulatur**

### **1.2.4.1 Die Hüftmuskulatur**

#### **1.2.4.1.1 Dorsale Hüftmuskulatur**

Die dorsale Hüftmuskulatur kann in zwei Gruppen eingeteilt werden: Die vorderen oder inneren sowie die hinteren oder äußeren Hüftmuskeln.

##### **1.2.4.1.1.1 Vordere Gruppe**

Der M. iliopsoas, der zur vorderen Gruppe zählt, besteht aus dem M. psoas major und dem M. iliacus. Der M. psoas major hat seine Ursprünge an den Bandscheiben und Wirbelkörpern des 12. Brustwirbels und der gesamten Lendenwirbel sowie an den Processus costales der Lendenwirbelkörper. Der M. iliacus entspringt in der Fossa iliaca. Gemeinsam ziehen die beiden Anteile durch die Lacuna musculorum unterhalb des Leistenbandes und setzen am Trochanter minor des Femurs an. An der Stelle, wo der Muskel nahe dem Hüftgelenk über den Hüftknochen zieht, befindet sich ein Schleimbeutel (Bursa iliopectinea). Dieser kommuniziert in 15% der Menschen mit dem Hüftgelenk. Ungefähr 30% der Menschen besitzen zusätzlich einen M. psoas minor. Dieser zieht von den Wirbelkörpern und Bandscheiben des 12. Brust- und des 1. Lendenwirbels zu der Stelle, an der der M. psoas major über dem Hüftknochen verläuft (Eminentia iliopubica). Ein weiterer, relativ unbekannter, Teil des M. iliopsoas ist der M. iliocapsularis (auch M. iliacus minor). Dieser hat seinen Ursprung rund um die Spina iliaca anterior inferior und seinen Ansatz an der Linea intertrochanterica sowie an der Gelenkskapsel, weshalb dieser Muskel auch als Kapselspanner angesehen wird. Der M. iliopsoas fungiert als kräftiger Beuger im Hüftgelenk. Zusätzlich kann er das Bein außenrotieren und adduzieren (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

#### 1.2.4.1.1.2 Hintere Gruppe

Während die vordere Muskelgruppe ihren Ansatz im Bereich des Trochanter minor hat, inserieren die hinteren Hüftmuskeln im Bereich des Trochanter major.

Der Musculus tensor fasciae latae entspringt an der Spina iliaca anterior superior und an der Crista iliaca. Etwas kaudal des Trochanter major geht er in den Tractus iliotibialis über, womit er weiter distal am Condylus lateralis tibiae (auch Tuberculum tractus iliotibialis Gerdy) inseriert. Er fungiert primär als Abduktor, dient jedoch auch der Flexion und der Innenrotation. Zusätzlich übt er von lateral Druck auf den Femurkopf nach medial aus, um diesen zusätzlich in der Gelenkspfanne zu stabilisieren.

Der größte Vertreter der Glutealmuskulatur ist der M. gluteus maximus. Er kann in einen oberflächlichen und einen tiefen Muskelanteil untergliedert werden. Die Crista iliaca, die Spina iliaca posterior superior, die Fascia thoracolumbalis, sowie das Os sacrum und das Os coccygis dienen dem oberflächlichen Anteil als Ursprung. Der tiefe Anteil entspringt von der Aponeurose des M. gluteus medius, dem Lig. sacrotuberale sowie der Darmbeinschaukel. Die kräftige Muskelplatte des M. gluteus maximus zieht von ihren Ursprüngen schräg nach kaudolateral, um in den Tractus iliotibialis einzustrahlen beziehungsweise an der Tuberositas glutea anzusetzen. Letztere bezeichnet eine längliche Rauheit an der Rückseite des Femurs, kaudal des Trochanter major. Um Reibung zu minimieren, befindet sich zwischen dem M. gluteus maximus und dem Trochanter major die Bursa trochanterica muscoli glutei maximi. Im Stand überspannt der Muskel den Sitzknorren (Tuber ischiadicum), während bei der Flexion im Hüftgelenk der kaudale Muskelanteil nach kranial, über das Tuber ischiadicum, gleitet, um so im Sitzen nicht eingeklemmt zu werden. Die primären Funktionen des M. gluteus maximus sind die Außenrotation und die Extension im Hüftgelenk. Er kann daher ein Abkippen des Beckens nach vorne verhindern und ist essentiell für die aufrechte Haltung des Menschen. Da die sagittale Achse des Hüftgelenks durch den Muskel verläuft, bewirken die kranialen Anteile eine Abduktion und die kaudalen eine Adduktion.

Die beiden weiteren Muskeln der Glutealgruppe, der M. gluteus medius und der M. gluteus minimus, entspringen von der Facies glutea der äußeren Darmbeinschaukel und ziehen fächerförmig zum Trochanter major, wo sie ihren Ansatz haben. Der M. gluteus minimus ist dabei zur Gänze vom größeren und weiter außen gelegenen M. gluteus medius überdeckt. Dieser wiederum ist selbst zum Teil vom M. gluteus maximus bedeckt. Zwischen den Ansatzsehnen der beiden kleineren Glutealmuskeln und ihrem Ansatzpunkt, dem

Trochanter major, befindet sich jeweils, wie auch beim großen M. gluteus maximus, ein Schleimbeutel (Bursae trochantericae m. glutei medii et minimi). Mit den ventralen Anteilen bewirken die beiden Muskeln eine Flexion und Innenrotation und mit den dorsalen Anteilen eine Extension und Außenrotation. In ihrer Gesamtheit fungieren sie als Abduktoren. Dadurch verhindern sie, wie auch das Lig. iliofemorale, ein Absinken des Beckens zur Gegenseite.

Der birnenförmige M. piriformis gelangt von seinen Ansätzen, der Facies pelvina des Kreuzbeines, den Foramina sacralia anteriora sowie den Rändern der Incisura ischiadica major, durch das Foramen ischiadicum majus zu seinem Ansatzpunkt, der Spitze des Trochanter major. Neben der Mitbeteiligung an Abduktion und Extension bewirkt der M. piriformis vor allem eine Außenrotation (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

#### **1.2.4.1.2 Ventrale Hüftmuskulatur**

Der von der Innenfläche der Membrana obturatoria sowie den knöchernen Begrenzungen dieser entspringende M. obturatorius internus verläuft durch das Foramen ischiadicum minus und setzt anschließend an der Fossa trochanterica des Femurs an. Dabei dient das Foramen ischiadicum minus als Hypomochlion, wobei der Muskel an dieser Stelle bereits in seine Sehne übergegangen ist. Zwischen dieser und dem Knochen liegt die Bursa ischiadica musculi obturatorii interni, welche die Reibung zwischen den beiden Strukturen verringert. Der M. obturatorius internus fungiert primär als Außenrotator, kann jedoch bei gebeugtem Hüftgelenk den Oberschenkel auch abduzieren.

Die Mm. gemelli (M. gemellus superior und M. gemellus inferior) liegen dem M. obturatorius internus nach dessen Durchtritt durch das Foramen ischiadicum minus kranial beziehungsweise kaudal an. Der obere der beiden hat seinen Ursprung an der Spina ischiadica und der untere am Tuber ischiadicum. Sie erreichen mit ihrem „Leitmuskel“ die Fossa trochanterica und unterstützen ihn in dessen Funktion als Außenrotator und Abduktor bei Flexion im Hüftgelenk. Diese drei Muskeln werden gemeinsam oft als Triceps coxae bezeichnet.

Die Außenfläche der Membrana obturatoria sowie deren knöcherne Umrandung dienen dem M. quadratus externus als Ursprung. Dieser, in der Tiefe liegende, Muskel zieht nach lateral, um ebenfalls an der Fossa intertrochanterica anzusetzen. Er kann das Bein außenrotieren und adduzieren.

Der *M. quadratus femoris* entspringt breitflächig vom *Tuber ischiadicum* und zieht, seinem Namen entsprechend, in rechteckiger Form zur Rückseite des proximalen Femurs, um dort breitflächig entlang der *Crista intertrochanterica* anzusetzen. Durch seine dorsale Lage wirkt er vor allem als Außenrotator, kann jedoch das Bein auch adduzieren (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

#### **1.2.4.2 Die Adduktoren**

Der *M. gracilis* zieht von der symphysennahen Vorderseite des unteren Schambeinasts mit seinem dünnen Muskelbauch streng nach kaudal bis unterhalb des Kniegelenks zur proximalen Tibia. Dort inseriert er medial der *Tuberositas tibiae*, mit dem *M. sartorius* und dem *M. semitendinosus*, in einem gemeinsamen, fächerförmigen Sehnenansatz, dem *Pes anserinus superficialis*. Der zweigelenkige Muskel führt bei gestrecktem Knie zu einer Beugung und Adduktion im Hüftgelenk.

Der *M. pectineus* entspringt am *Pecten ossis pubis* des oberen Schambeinasts und zieht zur Rückseite des proximalen Femurs. Dort setzt er an einer Knochenleiste (*Linea pectinea*) an, die direkt vom *Trochanter minor* nach kaudal zieht und medial der *Tuberositas glutea* liegt. Die proximalen Muskelanteile inserieren dabei unmittelbar unterhalb des *Trochanter minor*. Der *M. pectineus* beugt im Hüftgelenk, adduziert das Bein und rotiert es leicht nach innen.

Am unteren Schambeinast, etwas kaudolateral des Ursprungs des *M. gracilis*, befindet sich der Ursprung des *M. adductor brevis*. Er verläuft proximal des *M. pectineus* nach schräg unten und inseriert etwas kaudal von diesem. An der dorsalen Seite des Femurs befindet sich entlang der Längsachse eine knöcherne Rauheit (*Linea aspera*). Diese besteht aus zwei Lippen (*Labium mediale* und *Labium laterale*), die nach proximal und distal divergieren. Im Bereich des proximalen Femur endet das *Labium mediale* der *Linea aspera* unmittelbar kaudolateral der *Linea pectinea*. Das obere Drittel des *Labium mediale* dient dem *M. adductor brevis* als Ansatzfläche. Dieser Muskel fungiert als Adduktor, schwacher Beuger und Außenrotator.

Der *M. adductor longus* entspringt dem oberen Schambeinast in Symphysennähe. Er zieht fächerförmig nach kaudolateral und inseriert im mittleren Drittel der *Linea aspera* an der Rückseite des Oberschenkelknochens. Neben der Adduktion kann auch er beugen und außenrotieren.

Der *M. adductor magnus* hat einen breitflächigeren Ursprung, der von der symphysennahen Vorderfläche des unteren Schambeinasts bis nach dorsal zum *Tuber*

ischadicum reicht. Der Muskel zieht sich verbreitend Richtung Oberschenkelknochen und teilt sich in zwei Anteile auf. Der größere Anteil inseriert muskulös und sehr breitflächig an der Linea aspera an der Rückseite des Femur. Dabei wird dieser breite Muskelbauch zu einem großen Teil vom ventral aufliegenden M. adductor longus bedeckt. Der zweite Anteil gelangt als Sehne nach kaudal zum Tuberculum adductorium, einer Erhabenheit kranial am medialen Epikondyl des distalen Femurs. Die Adduktion und Beugung im Hüftgelenk sind die Aufgaben dieses Muskels. Zusätzlich dient der muskulös inserierende Anteil als Außenrotator und der sehnig inserierende Anteil bei gebeugtem und außwärtsrotiertem Bein als Innenrotator.

Der M. adductor minimus kann als kranialster und dritter Teil des M. adductor magnus oder als unvollständige Abspaltung dessen gesehen werden. Er entspringt an der vordersten Stelle des unteren Schambeinasts und zieht nach lateral zum kranial Anteil der medialen Lippe der Linea aspera. Dabei überkreuzt er ventral den kranialen Anteil des M. adductor magnus. Der M. adductor minimus fungiert als Adduktor und Außenrotator (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

### **1.2.4.3 Die ventrale Oberschenkelmuskulatur**

Die ventrale Femurmuskulatur dient in erster Linie der Beugung im Hüftgelenk und besteht aus zwei Muskeln.

Der M. sartorius, auch Schneidermuskel, hat an der Spina iliaca anterior superior seinen Ursprung. Der Muskel verläuft von proximal und lateral diagonal über den Oberschenkel nach kaudal und medial. Dort inseriert seine Sehne in den Pes anserinus superficialis, welcher wiederum medial der Tuberositas tibiae seinen Ansatz hat. Die Sehne des M. sartorius ist die oberflächlichste des Pes anserinus superficialis. Dieser zweigelenkige Muskel sorgt im Hüftgelenk für Beugung, Abduktion und Außenrotation.

Zum M. quadriceps femoris werden vier Muskeln zusammengefasst, die unterschiedlichen Ursprungs sind, sich jedoch einen gemeinsamen Ansatzpunkt teilen:

Der M. rectus femoris besitzt zwei Muskelköpfe mit eigenständigen Ursprüngen. Das Caput rectum entspringt an der Spina iliaca anterior inferior und das Caput reflexum in einer Rinne knapp oberhalb des Acetabulums, dem Sulcus supraacetabularis.

Der M. vastus intermedius hat im Bereich des ventralen und lateralen proximalen Femurschaftes seinen Ursprung. Dieser Muskel wird vom M. rectus femoris bedeckt.

Der M. vastus medialis nimmt seinen Ursprung von der Linea intertrochanterica, dem Labium mediale der Linea aspera und der Linea supracondylaris medialis, welche die Fortsetzung der medialen Lippe der Linea aspera nach distal darstellt.

Der M. vastus lateralis entspringt ebenfalls an der Linea intertrochanterica, jedoch auch an der Tuberositas glutea, der lateralen Fläche des Trochanter major sowie der lateralen Lippe der Linea aspera.

Diese vier Muskeln vereinen sich zu einer gemeinsamen Sehne, welche an der Patella inseriert. Die einzelnen Sehnenanteile strahlen je nach Lokalisation etwas medialer, lateraler oder zentral in die Patella ein oder bedecken sie oberflächlich. Distal der Kniescheibe verläuft die gemeinsame Sehne als Ligamentum patellae zur distal der Patella gelegenen Tuberositas tibiae, dem endgültigen Ansatzpunkt des M. quadratus femoris. Aufgrund des kranialen Ursprungs des M. rectus femoris sorgt dieser für eine Flexion im Hüftgelenk (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

#### **1.2.4.4 Die dorsale Oberschenkelmuskulatur**

Die drei hinteren, jeweils zweigelenkigen Oberschenkelmuskeln teilen sich den Tuber ischiadicum als Ursprung und werden auch als ischiokrurale Muskulatur zusammengefasst.

Der M. biceps femoris besteht aus zwei Muskelköpfen. Das Caput longum teilt sich am Tuber ischiadicum mit dem M. semitendinosus in Form des Caput commune die Ursprungssehne. Das eingelenkige Caput breve entspringt vom Labium laterale der Linea aspera. Die beiden Muskelköpfe vereinen sich, gehen gemeinsam in eine breite Muskelsehne über, welche sich nach distal verjüngt, und inserieren weiter kaudal am Fibulaköpfchen. Zwischen der Ansatzsehne und dem lateralen Seitenband des Kniegelenks befindet sich die Bursa subtendinea m. bicipitis femoris. Der Muskel fungiert im Hüftgelenk mittels seines Caput longum als Extensor.

Der M. semitendinosus entspringt gemeinsam mit dem Caput longum des M. biceps femoris vom Tuber ischiadicum. Er zieht nach kaudal zur medialen proximalen Tibia, um im Pes anserinus superficialis als innerster der drei Muskeln anzusetzen. Der M. semitendinosus bewirkt eine Extension im Hüftgelenk.

Der M. semimembranosus gelangt von seinem Ursprung, dem Tuber ischiadicum, zur medialen Seite der proximalen Tibia. In diesem Bereich setzt er mit bis zu fünf Ansatzsehnen an (Pes anserinus profundus). Der Hauptansatzpunkt liegt ventral am medialen Tibiakondyl. Ein weiterer Ansatzpunkt liegt an der medialen Seite des Condylus medialis tibiae. Etwas distal von diesem, am proximalen Margo medialis tibiae, setzt der

Muskel mittels Sehnenfächer an. Am Lig. popliteum obliquum in der Kniekehle, sowie lateral an der Faszie des M. popliteus befinden sich die beiden weiteren Ansatzstellen. Auch dieser Muskel beugt im Hüftgelenk (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Platzer, 2013).

### **1.2.5 Biomechanik**

Wie die Spongiosa anderer Knochen, so besteht auch die Spongiosa des Femurs aus Trabekeln. Diese Knochenbälkchen passen sich entsprechend der mechanischen Belastung des Knochens an. Sichtbar wird diese Anpassung in Form der Bahnkurven (Trajektoren), in deren Form sich die Trabekel anordnen. Die Trajektoren spiegeln die Einwirkung der Druck- und Zugkräfte wider, da sich die Trabekel entlang der einwirkenden Kräfte verstärkt ausbilden. Aufgrund der exzentrischen Lage des Corpus femoris bezüglich der Traglinie, die der vertikalen Achse entspricht, wirken vor allem im Bereich des Caput femoris starke Druck- und Zugkräfte. Die daraus resultierenden Drucktrajektoren verlaufen vom kranialen Bereich des Femurkopfes nach kaudolateral zur medialen und kaudalen Seite des Schenkelhalses. Von dort ziehen sie weiter entlang der medialen Kompakta zur medialen Kortikalis der Diaphyse. Die Zugtrajektoren wiederum gelangen bogenförmig vom kaudalen Anteil des Caput femoris zum kranialen Bereich des Schenkelhalses und steigen dann wieder ab, um zur lateralen Kortikalis unterhalb des Trochanter major zu ziehen. Die Druck- und Zugtrajektoren kreuzen sich dabei im Bereich des lateralen Femurkopfes rechtwinkelig. Neben und zwischen diesen kräftigen Spongiosatrabekeln befinden sich kürzere und weniger stark ausgeprägte Nebentrabekel. Im Laufe des Lebens und vor allem durch Osteoporose kann es durch die Abnahme der Trabekeldichte zum Verschwinden der Nebentrabekel im Bereich des lateralen Schenkelhalses kommen (Ward-Dreieck) (Abb. 3). Sowohl die trajektorielle Gliederung der Trabekel als auch das Ward-Dreieck können in Röntgenaufnahmen im anterior-posterioren (a.p.-) Strahlengang gut gesehen werden.

Aufgrund seiner Form und einwirkender Kräfte tendiert das Femur dazu, sich nach lateral konvex zu verformen. Diesen Druckkräften auf der medialen und Zugkräften auf der lateralen Seite wirkt der Tractus iliotibialis mittels Zuggurtungsprinzip entgegen, indem er eine Gegenspannung erzeugt (Aumüller et al., 2014).



Abbildung 3: **Röntgenbild (a.p.) und Skizze eines rechten Femurs.** Trabekelnetzwerk des proximalen Femurs mit Ward-Dreieck (\*) im a.p.-Röntgenbild und CCD-Winkel von 126° in der Skizze (Aumüller et al., 2014).

### 1.2.6 Blutgefäßversorgung des proximalen Femurs

Die vaskuläre Versorgung des Schenkelhalses und des Femurkopfes erfolgt durch die A. profunda femoris (Abb. 4). Diese entspringt bis zu 5 cm distal des Leistenbandes aus der A. femoris, welche die Fortsetzung der A. iliaca externa darstellt. Die A. profunda femoris gelangt zwischen die Adduktoren und gibt dabei unter anderem die A. circumflexa femoris medialis (ACFM) und die A. circumflexa femoris lateralis (ACFL) ab. Diese beiden Blutgefäße können in selteneren Fällen auch direkt von der A. femoralis entspringen.

Die ACFM gelangt zwischen dem M. pectineus und dem M. iliopsoas nach dorsal und gibt im Bereich des Trochanter minor einen Ramus superficialis ab, der eine Anastomose mit der A. obturatoria bildet. Diese Anastomose sorgt somit für eine Verbindung der beiden Iliacalarterien. Der nächste Ast, der Ramus acetabularis gelangt kaudal des Lig. transversum acetabuli in die Fossa acetabuli und verläuft dort mit dem Ramus acetabularis des Ramus posterior der A. obturatoria im Lig. capitis femoris als A. capitis femoris zur Fovea capitis femoris. Die A. capitis femoris kann entweder aus beiden Gefäßen oder nur aus einem der beiden entstehen. An der kranialen Grenze des M. adductor magnus, zwischen M. obturatorius externus und M. quadratus femoris, teilt sich die ACFM in einen Ramus ascendens und einen Ramus transversus. Der Ramus transversus bildet mit dem Ramus transversus der ACFL, der A. glutea inferior und dem Ramus ascendens der ersten A. perforans, welche ebenfalls ein Ast der A. profunda femoris ist, eine kreuzförmige Anastomose unterhalb des Trochanter major. Der Ramus ascendens der ACFM verläuft um die Sehne des M. obturatorius externus und gelangt von dort unterhalb des Schenkelhalses zur Fossa trochanterica. In dieser anastomosiert er mit der ACFL und der A. glutea inferior

oder der A. glutea superior oder beiden. Durch diese Anastomose wird der Schenkelhals von den Blutgefäßen förmlich umschlungen.

Die ACFL zieht nach lateral und gibt dorsal des M. rectus femoris drei Äste ab. Während der Ramus descendens der Versorgung des M. quadriceps dient, versorgt der Ramus ascendens neben der Glutealmuskulatur auch einen Teil der Hüftgelenkscapsel. Vom aufsteigenden Ast geht auch eine, den Schenkelhals versorgende, Arterie ab (A. nutricia). Zudem bildet der Ramus ascendens die, den Schenkelhals umschlingende, Anastomose mit. Der kleinste der drei Äste, der Ramus transversus, gelangt unterhalb des Trochanter major nach dorsal um das Femur herum und wird dort Teil der kreuzförmigen Anastomose.

Die Versorgung des Schenkelhalses und des Femurkopfes mit Blut erfolgt hauptsächlich aus der ringförmigen Anastomose aus ACFM, ACFL und einem oder beiden Glutealgefäßen, wobei die ACFM den größten Anteil beiträgt. Von dieser Anastomose entspringen mehrere kleine Arterien, die im Bereich des lateralen Schenkelhalses die Gelenkscapsel perforieren. Unterhalb der Synovialmembran gelangen die Blutgefäße entlang des Schenkelhalses nach medial und proximal zum Femurkopf und versorgen auf ihrem Weg zu diesem den Schenkelhals mit Blut. Im Bereich des Femurkopfes, knapp unterhalb des Übergangs von Knorpel zu Knochen, durchbrechen sie die Kortikalis und durchziehen das Caput femoris. Während die ringförmige Anastomose bis zu 80% der Versorgung des Femurkopfes übernimmt, wird der restliche, vor allem mediale, Anteil von der A. capitis femoris beigesteuert (Anderhuber et al., 2012; Aumüller et al., 2014; Kalhor et al., 2009; Kalhor et al., 2012; Seeley et al., 2016).

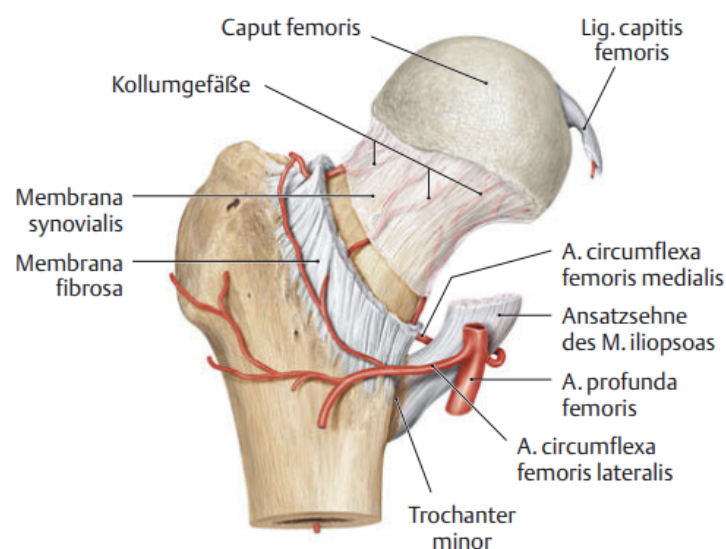


Abbildung 4: **Arterielle Versorgung des proximalen Femurs** (Aumüller et al., 2014).

## **1.3 Fraktur im Allgemeinen**

### **1.3.1 Definition Fraktur**

Unter einer Fraktur wird ein meist vollständiger Kontinuitätsverlust eines Knochens verstanden. Dadurch entsteht neben mindestens zwei Knochenfragmenten auch immer ein Bruchspalt. Es kann zwischen verschiedenen Arten der Fraktur unterschieden werden, wobei der „klassische“ Knochenbruch eine traumatische Fraktur ist. Diese entsteht durch ein adäquates Trauma gegen gesunden Knochen. Die Elastizität beziehungsweise die Festigkeit des Knochens wird durch die auf ihn einwirkende Kraft überstiegen, wodurch der Knochen bricht. Liegt kein adäquates Trauma, sondern eine Vorschädigung des Knochens vor, die in weiterer Folge zu einem Bruch führt, spricht man von einer pathologischen Fraktur. Eine Ermüdungsfraktur, entsteht über einen längeren Zeitraum und basiert auf vielen, ungenügend reparierten Mikrotraumen.

Je nach Art und Ausmaß der einwirkenden Gewalt sowie Festigkeit und Form des betroffenen Knochens kann zwischen verschiedenen Frakturformen differenziert werden. Zu den häufigsten zählen dabei unter anderem die Biegungs-, die Torsions- und die Trümmerfraktur. Weiters kann nach Dislokation der Frakturfragmente unterschieden werden. Entweder durch die einwirkende Gewalt selbst oder durch Muskelzug an den Fragmenten kann es zu Längs-, Seit- oder Rotationsverschiebung sowie einer Achsknickung kommen (Grifka & Krämer, 2013).

### **1.3.2 AO-Klassifikation**

Um Frakturen besser kategorisieren, den klinischen Alltag erleichtern und eine Vergleichbarkeit zwischen den Brüchen herstellen zu können wurden im Laufe der Zeit verschiedene Klassifikationen etabliert. Diese beziehen sich entweder auf eine spezielle Körperregion oder den gesamten Körper. Eine weit verbreitete Klassifikation, die für alle Knochen des Körpers angewandt werden kann, ist die AO-Klassifikation. Diese basiert auf 150000 dokumentierten Frakturen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO). Neben der genauen Körperlokalisierung beschreibt die Einteilung der Frakturen auch die Schwere der Verletzungen, was in weiterer Folge als Basis für mögliche Behandlungsoptionen dient. Die Beschreibung jeder Fraktur erfolgt dabei mit einer vierstelligen, alphanumerischen Kombination aus zwei Ziffern, einem Buchstaben und einer weiteren Ziffer. Die erste Ziffer gibt Auskunft über die Körperregion, die zweite Ziffer beschreibt die genauere Lage der Fraktur im Bereich dieser Körperregion, wie beispielsweise proximal oder diaphysär. Die

Buchstaben „A“ bis „C“ stehen für die Komplexität des Bruchs. Während beispielsweise bei den Schaftfrakturen „A“ für einen einfachen Bruch steht, beschreibt „B“ eine Keilfraktur und „C“ eine komplexe Trümmerfraktur. Zur Beschreibung des Schweregrades des Frakturtyps wird dieser mit der letzten Ziffer von „1“ bis „3“ eingeteilt. Während „1“ für einen geringen Schweregrad steht, spiegelt „2“ einen mittleren und „3“ einen hohen Schweregrad wider. Der AO-Code „12-A1“ bezeichnet eine Fraktur des Humerus („1“) im Bereich der Diaphyse („2“). Es handelt sich um einen einfachen Bruch mit zwei Frakturfragmenten („A“) und spiralförmigen Bruchspalt („1“) (Grifka & Krämer, 2013; Müller et al., 1990).

### **1.3.3 Frakturheilung**

Kommt es zu einer Fraktur, setzt die Heilung ein, um die Stabilität wiederherzustellen. Grundlagen dafür sind neben einer suffizienten Blutversorgung der Frakturfragmente eine ausreichend nahe und anatomische Position der Fragmente sowie eine Ruhigstellung der Fraktur. Sind diese Umstände gegeben, kommt es ohne Einwirken von außen zur sekundären Knochenbruchheilung. Diese findet auch im Rahmen einer konservativen Frakturtherapie oder bei unzureichend stabiler Osteosynthese statt. Zentrales Element der sekundären Frakturheilung ist die Ausbildung des Frakturkallus. Im Rahmen des Knochenbruchs kommt es zur Ausbildung eines Hämatoms im Bruchspalt. Nachdem in dieses verschiedene Entzündungszellen infiltrieren und Osteoblasten, Chondroblasten und Fibroblasten sich in diesem differenzieren, werden im Hämatom Fibrin und Kollagen angereichert. Diese werden anschließend durch den weichen Reizkallus, der vor allem aus Fibroblasten und Kollagen besteht, abgelöst. Im Anschluss an die Aushärtung des Kallus (Fixationskallus) folgt der Aufbau von Faserknochen (auch Geflechtknochen) durch Osteoblasten und Osteoklasten (Mountziaris & Mikos, 2008). Durch beginnende Belastung des Knochens werden im Rahmen des abschließenden Remodellings der Faserknochen zu lamellärem Knochen umgebaut und der überschüssige Kallus abgebaut. Bis zum Wiedererlangen der ursprünglichen Knochenstruktur inklusive eines durchgehenden Markraums vergehen je nach Gegebenheiten mehrere Monate bis mehrere Jahre (Majidinia et al., 2018).

Die primäre Frakturheilung tritt ein, wenn eine Fraktur in anatomischer Position ohne verbleibenden Bruchspalt mittels Osteosynthese sicher fixiert wird. Bei dieser direkten Kontaktheilung sorgen Osteoblasten und Osteoklasten ohne fibröse oder kollagene Zwischenstufe direkt für ein Zusammenwachsen der Frakturfragmente. Besteht ein minimaler Bruchspalt oder kommt es durch Osteosynthesematerial, wie einer Platte, zu einer

kleinen Spaltlücke an der gegenüberliegenden Kompakta, so wird direkt neuer Geflechtknochen gebildet. Die primäre Frakturheilung erfolgt somit ohne Ausbildung eines Kallus und ist nach fünf bis sechs Wochen abgeschlossen, wobei nach ungefähr drei Wochen die Funktionalität des Knochens wiederhergestellt sein sollte (Cottrell et al., 2016; Grifka & Krämer, 2013).

#### **1.3.4 Frakturkomplikationen**

Neben der Schädigung des Knochens gehen mit einer Fraktur meist weitere Verletzungen und potentielle Komplikationen einher. Kommt es im Rahmen einer Fraktur zur Perforation der Haut, spricht man von einer offenen Fraktur. Je nach Ausmaß der einwirkenden Gewalt entsteht neben dem entsprechenden Hautdefekt auch ein Weichteilschaden. Der große Unterschied zu einer geschlossenen Fraktur, bei der der Hautmantel intakt bleibt, besteht jedoch im Risiko einer Infektion. Die Infektionsgefahr ist vor allem bei einer Gewalteinwirkung von außen nach innen stark erhöht. Auch wenn bei einer geschlossenen Fraktur die Haut intakt bleibt, kann dennoch ein ausgeprägter Weichteilschaden vorliegen, was sich negativ auf die Frakturheilung auswirkt.

Ebenso können Strukturen, die sich in den Weichteilen befinden, mitverletzt werden. Klinisch relevant sind vor allem Nerven und Blutgefäße. Abgesehen von den möglichen langwierigen und schwerwiegenden Folgen einer solchen Verletzung, können auch ohne Verletzung größerer Blutgefäße bereits die Schädigung des Periosts und die Eröffnung des Markraums zu ausgeprägten Frakturhämatomen führen. Im Fall eines ausgeprägten Hämatoms kann der damit einhergehende Blutverlust sogar hämodynamische Relevanz zeigen. Weitere mögliche Folgen der Einblutung sind das Kompartmentsyndrom sowie ein deutlich erhöhtes Thromboserisiko.

Sind die Voraussetzungen für die Heilung einer Fraktur – enger Kontakt der Fragmente, Durchblutung und Ruhigstellung – nicht gegeben, kommt es zu einer Verzögerung der Heilung. Können nach drei bis vier Monaten anhand der Röntgenbilder weder eine Kallusbildung noch eine knöcherne Überbrückung des Frakturspaltes festgestellt werden, spricht man von einer verzögerten Frakturheilung. Besteht dieser Zustand nach insgesamt sechs bis acht Monaten weiterhin ohne Stabilität der Fraktur, wird ein Sistieren der Knochenheilung angenommen und der Zustand als „Falschgelenk“ oder Pseudarthrose bezeichnet (Tscherne, 1996). Neben den genannten Faktoren der unzureichenden Durchblutung, der mechanischen Unruhe und der fehlenden Nähe der Frakturfragmente

können auch die Komplexität des Bruchs sowie eine Infektion der Fraktur Ursachen für die Ausbildung einer Pseudarthrose sein (Grifka & Krämer, 2013).

## **1.4 Schenkelhalsfraktur**

### **1.4.1 Einteilung**

Frakturen, die sich im Bereich des Collum femoris ereignen, können ihrer Lokalisation entsprechend in drei Gruppen eingeteilt werden. Als anatomische Grenzen dienen dabei medial der Übergang von Knochen zum Knorpel des Femurkopfes und lateral die Linea intertrochanterica beziehungsweise der Beginn der beiden Trochanteren. Unterschieden wird zwischen medialen oder subcapitalen, transzervikalen und lateralen Schenkelhalsfrakturen. Letztere befinden sich an der Grenze zum Übergang in das Corpus femoris und somit bereits außerhalb der Hüftgelenkskapsel. Während mediale Frakturen mit ungefähr 80-90% am häufigsten auftreten, treten transzervikale und laterale Brüche deutlich seltener auf (Schweigkofler et al., 2008).

### **1.4.2 Klassifikationen**

Neben der Einteilung bezüglich ihrer Lokalisation werden zur Kategorisierung der Schenkelhalsfrakturen vor allem die drei folgenden Klassifikationen verwendet.

#### **1.4.2.1 AO-Klassifikation**

Diese bereits erläuterte Klassifikation unterscheidet im Bereich des proximalen Femurs („31“) zwischen artikulären Frakturen des Femurkopfes, extraartikulären Frakturen im Bereich der Trochanteren sowie extraartikulären Frakturen im Bereich des Schenkelhalses („31-B“). Letztere können dem Schweregrad entsprechend in drei Untergruppen gegliedert werden. „31-B1“ beschreibt eine subcapitale Fraktur mit einer geringgradigen Verschiebung, die vor allem durch einen leichten Knick der Trabekelbahn sichtbar wird. Diese Brüche können zudem eingestaucht (impaktiert) sein. Transzervikale Frakturen werden unter dem AO-Code „31-B2“ angeführt. Unter „31-B3“ werden subcapitale, verschobene, nicht impaktierte Frakturen zusammengefasst (Müller et al., 1990).

#### **1.4.2.2 Garden-Klassifikation**

Bei der Klassifikation nach Garden wird vor allem die Komplikation der Perfusionsstörung berücksichtigt (Garden, 1961). Eine geringere Kontaktfläche sowie eine größere Dislokation der Frakturfragmente machen eine insuffiziente Durchblutung und damit in weiterer Folge

eine Nekrose des Femurkopfes wahrscheinlicher. Das erste der vier Stadien beschreibt einen unvollständigen, nicht verschobenen Bruch, bei dem meist eine valgische Impaktierung vorliegt. Neben der medialen Kortikalis des Schenkelhalses bleiben zudem zumindest einige Trabekelbahnen unversehrt. Das zweite Stadium umfasst vollständige, nicht verschobene Frakturen. In diesem Stadium ist zusätzlich zur lateralen auch die mediale Kortikalis durchtrennt. Die Trabekelbahnen sind durch den Bruchspalt zwar durchtrennt, jedoch nicht abgeknickt. Im dritten Stadium nach Garden handelt es sich um komplette, partiell dislozierte Frakturen. Der Femurkopf knickt dabei in Bezug auf den restlichen Oberschenkelknochen leicht nach kaudal und rotiert nach dorsal. Die beiden Frakturfragmente stehen dabei über die mediale Kortikalis in Verbindung. Das vierte Stadium beschreibt eine vollständig dislozierte Fraktur, bei der das Caput femoris jeglichen Kontakt zum Schenkelhals verliert. Meist kommt es bei Schenkelhalsbrüchen dieses Stadiums zu einer Zertrümmerung der dorsalen Kortikalis, was die Stabilität deutlich verschlechtert (Haas & Krettek, 2012). Während bei Frakturen der ersten beiden Stadien eine suffiziente Perfusion des Femurkopfes weiterhin anzunehmen ist, kommt es ab dem dritten Stadium zu einer Perfusionsstörung. Die Stadien Garden I und Garden II entsprechen morphologisch Frakturen ohne Dislokation. Die Stadien Garden III und Garden IV gelten als Brüche mit Dislokation (Konishiike et al., 1998; Thomsen et al., 1996) (Abb. 5).

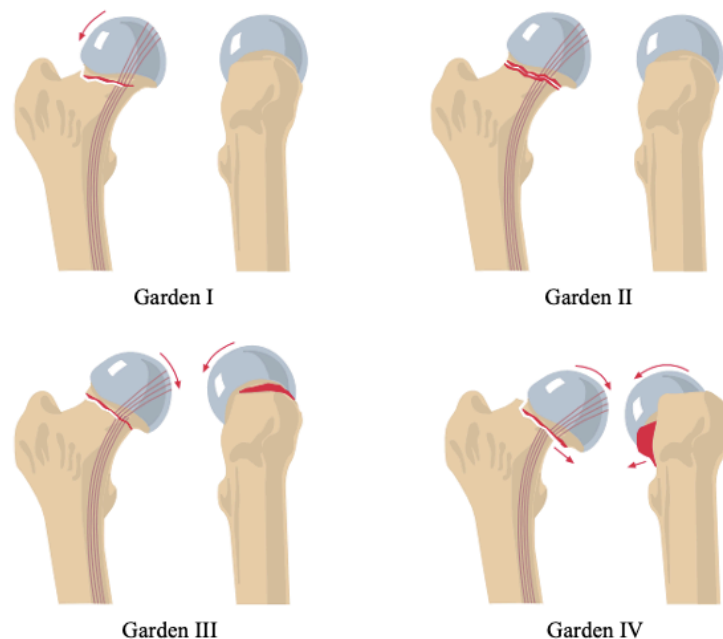


Abbildung 5: **Klassifikation nach Garden.** Die vier Garden-Stadien an einem rechten Femur mit den typischen Auswirkungen auf die Frakturfragmente und die Trabekelbahnen (adaptiert aus Haas & Krettek, 2012).

### **1.4.2.3 Pauwels-Klassifikation**

Pauwels teilte Schenkelhalsfrakturen dem Winkel zwischen der Horizontalen und der Frakturlinie entsprechend in drei Kategorien ein. Eine größere Neigung dieses Winkels bedeutet eine Zunahme der Scherkräfte und somit ein erhöhtes Dislokationsrisiko. Mit diesem geht eine Abnahme der Heilungstendenz einher. Auf das Ausmaß der Dislokation wird in dieser Klassifikation jedoch nicht eingegangen. Das Stadium Pauwels I umfasst Frakturen mit einem Winkel unter 30°. Während Frakturen mit einem Winkel zwischen 30° und 50° zur Horizontalen in das zweite Stadium fallen, werden Brüche mit einem Winkel über 50° in das dritte Stadium nach Pauwels gegliedert (Pauwels, 1973).

### **1.4.3 Epidemiologie**

Die Fraktur des Oberschenkelhalses zählt, wie auch die Übergruppe der Hüftfrakturen, zu den häufigsten Knochenbrüchen weltweit. Im Jahr 2019 stand die Schenkelhalsfraktur an erster Stelle der häufigsten Frakturen Erwachsener in Deutschland (Rupp et al., 2021). Die Inzidenz in diesem Jahr betrug 120,2/100000 Einwohnerinnen und Einwohner. Da ein höheres Alter mit einem deutlich gesteigerten Frakturrisiko einhergeht, werden in der Altersgruppe der über 65-Jährigen Inzidenzraten von 500-900/100000 Einwohnerinnen und Einwohner angegeben (Minne et al., 2001; Rupp et al., 2021). In eben dieser Altersgruppe haben Frauen ein 1,5- bis 2-fach höheres Risiko, eine Schenkelhalsfraktur zu erleiden. Demnach konnte bei Frauen, die 90 Jahre alt oder älter waren, eine jährliche Inzidenzrate von über 1800/100000 Einwohnerinnen festgestellt werden (Rupp et al., 2021). Mit der Alterung der Bevölkerung in den kommenden Jahren wird auch die Anzahl der Schenkelhalsfrakturen ansteigen. Während der Anteil der über 65-Jährigen in Österreich im Jahr 2020 19,2% betrug, wird für das Jahr 2050 für diese Bevölkerungsgruppe ein Anteil an der Gesamtbevölkerung von 27,7% prognostiziert (Statistik Austria, 2021). Analog zu dieser Entwicklung wird in den USA bis zum Jahr 2050 eine Zunahme der Anzahl der Schenkelhalsfrakturen um 50% erwartet (Kannus et al., 1996).

### **1.4.4 Ätiologie**

Kommt es bei jungen Menschen primär durch ein Hochrasanztrauma im Sinne eines Sturzes aus großer Höhe oder eines Verkehrsunfalles zu einer Fraktur des Collum femoris, so gilt bei älteren Personen das Niedrigrasanztrauma als häufigste Ursache dieser Verletzung. Dieses niederenergetische Trauma findet meist als Sturz aus dem Stand, beim Stolpern über einen Gegenstand, wie einen Teppich, oder als Sturz aus niedriger Höhe, zum Beispiel vom

Bett, statt. Die größte Gefahr eine Schenkelhalsfraktur zu erleiden, geht von einem Sturz auf die Seite aus. Dabei kommt es zu einem direkten Einwirken der Energie des Aufpralls auf den Trochanter major, da dieser ohne schützende anatomische Struktur unmittelbar unterhalb der Haut liegt (Minne et al., 2001). Neben den bereits genannten Ursachen einer Schenkelhalsfraktur kann ein Bruch auch ohne adäquates Trauma erfolgen. Während die Ermüdungsfraktur einer ungewohnt großen (Dauer-)Belastung auf den Knochen geschuldet ist, liegt der Insuffizienzfraktur ein vorgeschwächter Knochen zugrunde, dessen Widerstandsfähigkeit bereits durch normale Belastungen überschritten wird. Dafür ursächlich kann eine Minderung der Knochendichte wie bei Osteoporose oder auch eine Osteolyse wie bei Knochentumoren sein. (Haas & Krettek, 2012).

### **1.4.5 Risikofaktoren**

#### **1.4.5.1 Osteoporose**

Bei der Osteoporose führen eine herabgesetzte Knochendichte und eine veränderte Mikroarchitektur des Knochens zu einer verminderten ossären Festigkeit. Der reduzierte Knochenmineralgehalt ist auch der zentrale Pfeiler der Osteoporose-Definition durch die Weltgesundheitsorganisation. Ist dieser in einer DXA-Messung (Dual Energy X-ray Absorptiometry) um mindestens zweieinhalb Standardabweichungen gegenüber dem Knochendichte-Mittelwert 20-29-Jähriger gleichen Geschlechts vermindert, spricht man von Osteoporose (Kanis et al., 2008). Die auf den Referenzwert bezogene Standardabweichung wird auch als T-Score bezeichnet. Ein T-Score kleiner als -1, jedoch größer als -2,5, führt zur Diagnose der Osteopenie, die die Vorstufe der Osteoporose darstellt. Eine Verminderung des T-Scores um eine Standardabweichung entspricht ungefähr einer Verdoppelung der Bruchanfälligkeit (De Laet et al., 1998). Im Kollektiv der über 65-Jährigen ist die Form der primären Osteoporose die relevanteste. Die primäre Osteoporose kann weiter in die Subgruppen der postmenopausalen Osteoporose sowie der Altersosteoporose unterteilt werden. Da die Altersosteoporose Frauen ungefähr doppelt so häufig betrifft wie Männer, leiden vor allem ältere Frauen unter vermehrter Knochenbrüchigkeit (Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie e.V., 2004). Im Jahr 1997 litten 15% der 50-60-jährigen Frauen unter Osteoporose. Gleichalte Männer waren nur zu 2,4% betroffen. Bei den über 70-jährigen Frauen betrug die Osteoporose-Prävalenz jedoch 45% und bei den Männern dieser Altersklasse 17% (Scheidt-Nave et al., 1997). Aufgrund der weiten Verbreitung dieser Erkrankung zählt die Osteoporose zu den bedeutendsten Risikofaktoren der

Schenkelhalsfraktur. Neben der messbaren Knochendichte gilt vor allem eine bereits stattgefundene Fraktur als wichtiger prädiktiver Faktor hinsichtlich einer weiteren Osteoporose-assoziierten Fraktur. Dementsprechend konnte gezeigt werden, dass vorausgegangene Frakturen das Risiko einer zukünftigen Hüftfraktur mehr als verdoppeln (Klotzbuecher et al., 2000).

#### **1.4.5.2 Alter**

Wie bereits anhand der Inzidenzraten erläutert, steigt das Risiko einer Schenkelhalsfraktur im Alter erheblich an. Bezüglich der Übergruppe der Hüftfrakturen kann ab dem 50. Lebensjahr von einem Anstieg der Inzidenz von 200-400% pro Dekade ausgegangen werden (Icks et al., 2013). So konnte bei Frauen in der zehnten Dekade eine Erhöhung der Inzidenz von Hüftfrakturen bis auf das 90-Fache im Vergleich zum sechsten Lebensjahrzehnt festgestellt werden. Bei Männern steigerte sich die Inzidenz auf das 75-Fache (Dimai et al., 2011; Icks et al., 2013). Das höhere Lebensalter gilt dabei als ein, von der Knochendichte und auch von anderen Risikofaktoren unabhängiger, eigenständiger Risikofaktor (Dargent-Molina et al., 1996). Als Ursache werden die altersbedingt veränderte Architektur sowie die verminderte Qualität des Knochens vermutet (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.5.3 Geschlecht**

Wie bereits erwähnt, leiden Frauen unter einem bis zu doppelt so großem Risiko, eine Schenkelhalsfraktur zu erleiden, als Männer (Minne et al., 2001; Rupp et al., 2021). Wichtige Gründe dafür sind sowohl die postmenopausale Osteoporose als auch die Altersosteoporose, welche Frauen ausschließlich beziehungsweise doppelt so häufig betreffen. Ein direktes, kausales Verhältnis zwischen Östrogenmangel und erhöhtem Frakturrisiko gilt als wahrscheinlich. Jedoch geht nicht jeder Östrogenmangel mit einer Abnahme der Knochenmasse und einer daraus folgenden vermehrten Bruchneigung einher (Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie e.V., 2004).

#### **1.4.5.4 Sturzneigung**

Stürze sind ein wichtiger Risikofaktor hinsichtlich des Frakturrisikos, wobei vor allem ältere Menschen unter einem großen Sturzrisiko leiden (King & Tinetti, 1995). Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die betroffenen Personen unter eingeschränkten Sehvermögen leiden oder auf Pflege angewiesen sind. So kommt es bei ungefähr einem Drittel der über 65-jährigen Menschen mindestens einmal pro Jahr zu einem Sturzereignis (Rubenstein &

Josephson, 2002). Zudem stürzen Personen dieser Alterskategorie vermehrt auf die Seite, was mit einem besonders großen Risiko einer Schenkelhalsfraktur einhergeht (Minne et al., 2001). Als sturzbegünstigende Risikofaktoren gelten unter anderem bereits stattgefundene Stürze, neurologische Erkrankungen, Demenz, Schwindel, akustische und visuelle Defizite, muskuläre Schwäche, Kachexie und die Einnahme psychotroper Substanzen, wie Neuroleptika oder Benzodiazepine. Zudem spielen extrinsische Faktoren, zu denen Stolperfallen wie schlechte Nachtbeleuchtung, lose Teppiche, Türschwellen, nach innen öffnende Türen sowie unpassendes Schuhwerk und ungeeignete Hilfsmittel zählen, eine wichtige Rolle (Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie e.V., 2004).

#### **1.4.5.5 Mikrofrakturen**

Auch in den Knochen gesunder Personen kommt es im Laufe des Lebens zu Frakturen einzelner Knochenbälkchen, sogenannten Mikrofrakturen. Diese treten bereits bei stärkerer physiologischer Belastung auf und werden mittels eines Mikrokallus saniert. Mit sinkender Knochendichte und steigendem Alter steigt bei identer Belastung die Anzahl der Mikrofrakturen (Cheng et al., 1997). In einem Kollektiv von über 60-Jährigen konnte bei den Personen mit einer deutlich verminderten Knochendichte eine über 30-fach erhöhte Anzahl an Mikrofrakturen histologisch festgestellt werden. Die meisten frakturierten Knochenbälkchen fanden sich dabei am Übergang des Femurkopfes zum Schenkelhals (Freeman et al., 1974). Übersteigt die Anzahl an Mikrofrakturen die Kapazität der adäquaten Heilung, resultiert aus den gebrochenen Knochenbälkchen eine verminderte Stabilität, die potenziell zu einer Fraktur des Schenkelhalses führen kann. So kann, basierend auf Mikrofrakturen, der Schenkelhals auch ohne Trauma frakturieren, wobei der Sturz dabei die Folge und nicht die Ursache darstellt (Tscherne, 1996). Dennoch gelten Stürze in über neun von zehn Fällen als Frakturursache (Nyberg et al., 1996).

#### **1.4.5.6 Weitere Risikofaktoren**

Als weitere Risikofaktoren gelten unter anderem Sehstörungen, Gangstörungen sowie eine mit dem höheren Alter einhergehende Verminderung der Agilität, der Wahrnehmung und der Orientierung (Campbell et al., 1997; Nguyen et al., 1993). Neben der sturzbegünstigenden häuslichen Umgebung und der muskulären Schwäche vergrößert vor allem die Einnahme von Medikamenten wie Sedativa oder Hypnotika das Verletzungsrisiko deutlich (Dargent-Molina et al., 1996). Ebenso tragen der Konsum von Alkohol sowie

Rauchen zu einem erhöhten Risiko einer Fraktur bei (Dargent-Molina et al., 1996; Grisso et al., 1997).

#### **1.4.6 Diagnostik**

Anschließend an die Anamnese, die vor allem über Unfallmechanismus, Art und Lokalisation der Schmerzen, Mobilität vor dem Ereignis, sowie vorbestehende Hüftbeschwerden Klarheit verschaffen soll, erfolgen die diagnostischen Schritte. Bei der Inspektion können Kontusionsmerkmale im Sinne eines Hämatoms oder einer Prellmarke im Bereich des Trochanter major bereits erste Hinweise auf eine Fraktur sein. Im Falle einer dislozierten Fraktur können, im Vergleich mit dem gesunden Bein, eine Verkürzung des betroffenen Beines sowie eine typische Außenrotationsfehlstellung beobachtet werden. Im Anschluss an die Inspektion erfolgt die Palpation, wobei vor dieser eine Analgetikagabe erfolgen sollte. Typisch für eine Schenkelhalsfraktur ist ein, über dem Trochanter major, beziehungsweise dem proximalen Oberschenkel, auslösbarer Druckschmerz. Außerdem löst die Stauchung des gestreckten Beines durch Druck auf die Ferse einen Schmerz aus. Bei der Palpation im Bereich der Fraktur kann eventuell die Krepitation durch die Frakturfragmente ertastet werden. Ebenso durchzuführen ist die Überprüfung von Durchblutung, Motorik und Sensibilität des Beines. Je nach Form und Ausprägung der Fraktur sind Bewegungen des betroffenen Beines stark schmerzhaft oder nicht möglich, weshalb die Überprüfung der Motorik meist stark eingeschränkt ist. Auch wenn vor allem bei nicht verschobenen Schenkelhalsfrakturen das Bein unter Schmerzen belastet werden kann, sind bei den meisten Frakturen Stehen und Gehen nicht mehr möglich. Typisch sind zudem die Unmöglichkeit, das Bein anzuheben oder zu strecken und ein Rotationsschmerz (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015; Haas & Krettek, 2012).

##### **1.4.6.1 Bildgebung**

Da eine Schenkelhalsfraktur in den meisten Fällen mittels konventionellen Röntgens diagnostiziert oder ausgeschlossen werden kann, gilt dieses als radiologisches Diagnosemittel der Wahl. Dabei sollten stets zwei Aufnahmen angefertigt werden: Eine Beckenübersichtsaufnahme, um den Schenkelhals in seiner gesamten Länge überlagerungsfrei darstellen zu können, sollte im a.p.-Strahlengang durchgeführt werden. Als zweite Aufnahme wird eine axiale Aufnahme angefertigt, bei der das gesunde Bein durch Flexion in Hüftgelenk und Kniegelenk aus dem Strahlengang gehalten wird. Besteht Unsicherheit hinsichtlich der Diagnose einer Fraktur, kann in solchen Fällen zusätzlich eine

computertomographische Untersuchung im Anschluss an das Röntgen erfolgen. Die Schichtbildgebung der Computertomographie kann vor allem bei nicht verschobenen Frakturen, die in den Röntgenbildern nicht sichtbar sind, aufschlussreich sein. Während die Magnetresonanztomographie in der akuten Phase nicht eingesetzt wird, kommt sie jedoch bei persistierenden Schmerzen und Verdacht auf eine Insuffizienz- oder Spontanfraktur zum Einsatz (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015; Haas & Krettek, 2012). In Studien konnten allerdings in ungefähr der Hälfte der Verdachtsfälle Frakturen des Schenkelhalses mittels Magnetresonanztomographie nach initial unauffälligem Röntgen nachgewiesen werden (Haramati et al., 1994; Stiris & Lilleås, 1997).

#### **1.4.6.2 Differentialdiagnosen**

Zu den wichtigsten, differentialdiagnostisch relevanten Frakturen zählen Frakturen des Acetabulums und des Femurkopfes, pertrochantäre Frakturen, sowie hintere und vordere Beckenringfrakturen. Weitere mögliche Differentialdiagnosen sind unter anderem eine Prellung der Hüfte, eine aktivierte Coxarthrose, eine Coxitis, eine Bursitis oder eine Insertionstendinopathie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015).

#### **1.4.7 Therapie**

Oberstes Ziel der Behandlung von Schenkelhalsfrakturen sind Sicherung des Überlebens, die möglichst vollständige Wiedererlangung der Mobilität und der Lebensqualität sowie eine möglichst geringe Rate an Komplikationen.

##### **1.4.7.1 Konservative Therapie**

Da das Abrutschen des Femurkopfes nach einer Fraktur im Sinne einer sekundären Dislokation ohne operative Versorgung lediglich durch eine suffiziente Heilung verhindert werden kann, sollte eine konservative Versorgung einer Schenkelhalsfraktur ausschließlich bei milden Frakturformen (Garden I oder Pauwels I) erwogen werden. Während jüngere Patientinnen und Patienten deutlich seltener von dieser Komplikation betroffen sind, tritt sie bei 50-80% der konservativ behandelten, älteren Personen mit Garden I- oder Pauwels I-Frakturen auf (Raaymakers, 2002; Shuqiang et al., 2006). Eine nicht operative Therapie ist daher nur bei Personen zu erwägen, die durch eine operative Versorgung aufgrund ihrer Komorbiditäten ein hohes Sterberisiko hätten. Insbesondere handelt es sich dabei um Patientinnen und Patienten mit Pneumonien, Herzversagen, ausgeprägter Unterernährung sowie immobile, bettlägerige Personen. In einer retrospektiven Studie betrug die

postoperative Sterblichkeit noch im Spital 90% bei Vorliegen einer Pneumonie, 80% bei ASA-Klasse 4, 75% bei Unterernährung und 73% bei Herzversagen (Ryder et al., 2001). Bei stabilen, lediglich eingestauchten Frakturen, bei denen die axiale Röntgenaufnahme nur eine geringe Abwinkelung des Femurkopfes zeigt, kann ebenso ein konservatives Vorgehen erwogen werden (Raaymakers, 2006; Raaymakers & Marti, 1991). Neben einer adäquaten Analgesie besteht der konservative Therapieansatz vor allem aus einer frühzeitigen Mobilisation. Bereits am Folgetag der Fraktur sollte mit einer Teilbelastung begonnen werden. Ist das Einhalten einer teilweisen Belastung nicht möglich, so kann auch initial mit einer Vollbelastung begonnen werden. Im Rahmen der Mobilisierung, welche unter physiotherapeutischer Anleitung erfolgen sollte, sind vor allem Rotationsbewegungen zu vermeiden, um den impaktierten Femurkopf nicht zu lösen. Zudem sind insbesondere in den ersten zwei Wochen der nicht operativen Therapie engmaschige radiologische Kontrollen angezeigt, um eine potentielle Sekundärdislokation frühestmöglich detektieren zu können (Gierer & Mittlmeier, 2015). Weiters wird die Etablierung einer temporären thromboseprophylaktischen Therapie empfohlen (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015). Zusammenfassend sei erwähnt, dass die operative Versorgung der konservativen Therapie unter anderem hinsichtlich der allgemeinen Komplikationen, der Heilungsquote, der stationären Aufenthaltsdauer und der posttherapeutischen Gehfähigkeit deutlich überlegen ist, weshalb ein konservatives Vorgehen nur unter den genannten Umständen empfohlen wird (Chiu et al., 1996; Cserhádi et al., 1996; Gierer & Mittlmeier, 2015; Taha et al., 2015).

#### **1.4.7.2 Operative Therapie**

Bis auf die bereits genannten Indikationen und Ausnahmekonstellationen wird in den meisten Fällen eine operative Versorgung einer Schenkelhalsfraktur empfohlen. Als chirurgische Versorgung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, welche in zwei Übergruppen unterteilt werden können: Die femurkopferhaltende und die femurkopfersetzende Therapie.

##### **1.4.7.2.1 Femurkopferhaltende Therapie**

Diese Form der Therapie sollte dann zu Einsatz kommen, wenn der Erhalt des Caput femoris möglich und auch sinnvoll ist. Das verwendete Material sollte unter anderem in der Lage sein, die Durchblutung des Femurkopfes zu schonen und eine Rotation oder Varisierung desselben zu verhindern. Das Implantat sollte zudem leicht eingebracht werden können und

im Rahmen der Konsolidierung eine Sinterung der Fraktur erlauben (Haas & Krettek, 2012). Die Indikation zu einer operativen Versorgung sollte rasch gestellt werden, da sich ein Operationszeitpunkt nach zwölf Stunden negativ auf das Überleben auswirkt (Bredahl et al., 1992). Außerdem sorgt eine chirurgische Therapie innerhalb von sechs Stunden für eine geringere Rate an Femurkopfnekrosen, eine bessere Knochenheilungsrate und eine geringere Rate an Sekundärdisklokationen (Manninger et al., 1989). Vor dem Einbringen des jeweiligen Implantats ist zunächst eine Reposition der Fraktur notwendig, die in den meisten Fällen geschlossen gelingt. Unter geringer Abduktion und einem Längszug wird eine Innenrotation im Hüftgelenk durchgeführt. Ziel dabei ist die Wiederherstellung anatomischer Verhältnisse. Ist dies in geschlossener Form nicht möglich, sollte die Fraktur offen reponiert werden. Die Anordnung der Drucktrajektoren beider Frakturfragmente gibt Aufschluss darüber, ob die Fraktur anatomisch korrekt reponiert werden konnte. Eine geringe Valgisierung des Femurkopfes ist akzeptierbar, wohingegen eine Varisierung zu vermeiden ist. Die kaudale Kortikalis des Femurkopffrakturfragments sollte in einer Linie in die Kortikalis des zweiten Bruchstücks übergehen oder lateral dieser Kortikalis verhakt sein. Befände sie sich stattdessen medial, so würde der Femurkopf zum Abrutschen neigen (Haas & Krettek, 2012). Eine optimale Reposition ist wesentlich für die adäquate Lage des Implantats und in weiterer Folge die Durchblutung des Femurkopfes (Barnes et al., 1976; Sochart, 1998).

Verschiedene Arten und Formen osteosynthetischen Materials wurden im Laufe der Zeit entwickelt und etabliert, wobei die beiden folgenden am häufigsten Verwendung finden.

#### **1.4.7.2.1.1 Schraubenosteosynthese**

Der Einsatz von Schrauben (Abb. 6) hat sich gegenüber der Anwendung von Stiften ohne Gewinde aufgrund des deutlichen Vorteils hinsichtlich Funktion und Komplikationen durchgesetzt (Parker & Blundell, 1998). Dabei können kanülierte oder nicht kanülierte Schrauben verwendet werden. Während sich beide Schraubenarten hinsichtlich der Ausreißkraft nicht signifikant unterscheiden, zeigten sich nicht kanülierte Schrauben kompressionsstabiler (Gardner et al., 2015; Leggon et al., 1993). Der klare Vorteil kanülierter Schrauben besteht jedoch in der einfacheren und flexibleren Positionierung mittels Führungsdrähte. Auch bezüglich der Länge des Gewindes der Schrauben gibt es Unterschiede, wobei 32 mm lange Gewinde solchen mit einer Länge von 16 mm hinsichtlich der Ausreißkraft deutlich überlegen sind. Die Gewindelänge sollte jedoch so gewählt werden, dass das Gewinde zur Gänze im Frakturfragment des Femurkopfes zu liegen kommt, da ansonsten keine Kompression der Bruchstücke erfolgt (Haas & Krettek, 2012).

Ungeachtet des Schraubentyps wird die Verwendung von drei Schrauben empfohlen, da diese Anzahl, vor allem die Torsionsstabilität betreffend, zwei Schrauben überlegen ist (Selvan et al., 2004; Walker et al., 2008). Zusätzliche Schrauben bringen in dieser Hinsicht keinen weiteren Vorteil (Booth et al., 1998). Entscheidend ist dabei die Position der Schrauben, um ein Absinken oder eine Rotation des Femurkopfes zu verhindern. Die drei Schrauben sollten in Form eines auf dem Kopf stehenden Dreiecks positioniert werden, wobei die erste Schraube an die kaudale Kortikalis des Schenkelhalses und die beiden anderen an die ventrale und dorsale Kortikalis gelegt werden (Haas & Krettek, 2012). Der Eintrittspunkt sollte auf Höhe des Trochanter minor oder kranial dessen gewählt werden, da eine kaudalere Lage subtrochantere Frakturen begünstigt (Florschütz et al., 2015). Die Schrauben sollten möglichst steil und parallel zueinander zu liegen kommen, was eine Sinterung und somit die Heilung der Fraktur im Vergleich zu gekreuzt verlaufenden Schrauben begünstigt. Zudem ist zu beachten, dass die Schraubenden maximal 3 mm, besser jedoch 5 mm, vor dem Gelenk in der Kortikalis des Femurkopfes zu liegen kommen. Das Einbringen der Schrauben kann entweder mittel Stichinzisionen perkutan oder nach Freipräparieren des Knochens erfolgen (Haas & Krettek, 2012).



Abbildung 6: **Schraubenosteosynthese.** Postoperative Röntgenbilder (a.p.) mit zwei (links) und drei (rechts) Schrauben.

#### 1.4.7.2.1.2 Dynamische Hüftschraube

Eine osteosynthetische Alternative stellt die Dynamische Hüftschraube (DHS) dar (Abb. 7). Dieses System besteht aus einer Platte, die mithilfe von Kortikalisschrauben am Femurschaft kaudal der Trochanteren fixiert wird, und einem Hohlzylinder, der in einem Winkel von 130-150° an der Platte fixiert ist. In den meisten Fällen ist ein Winkel von 135° passend, da bei

einem größeren Winkel die Schraube oft zu kranial im Femurkopf zu liegen kommt. Der Hohlzylinder dient als Lager für die Hüftschraube, welche, den bereits beschriebenen Spongiosaschrauben gleich, durch den Schenkelhals in den Femurkopf verläuft. Das Volumen der Hüftschraube entspricht in etwa dem dreier Spongiosaschrauben. Die Besonderheit der DHS liegt darin, dass ein Gleiten der Schraube möglich ist, was eine Sinterung der Fraktur erlaubt, ohne eine Dislokation des Implantats zu verursachen. Zudem wird dabei das Risiko, des Durchbruchs der Schrauben durch den Femurkopf in das Hüftgelenk, minimiert. Der geringeren Torsionsstabilität der DHS, verglichen mit der Schraubenosteosynthese, kann mit einer Antirotationsschraube, die kranial der DHS und mit einem möglichst großen Abstand zu dieser eingebracht wird, entgegengewirkt werden. Der operative Zugang erfolgt analog zu dem der Schraubenosteosynthese, wobei die Schnittführung etwas weiter nach kaudal reicht. Vor Einbringen des Implantats kann die Fraktur zusätzlich zum Führungsdraht mit dünnen Gewindebohrdrähten gegen eine Verdrehung des Femurkopfes gesichert werden. Das Implantieren der Antirotationsschraube vor der DHS soll ebenso dazu beitragen. Wie auch bei der Schraubenosteosynthese sollten das Gewinde der Schraube ausschließlich im Femurkopffragment und die Spitze der Schraube knapp subkortikal zu liegen kommen (Haas & Krettek, 2012).

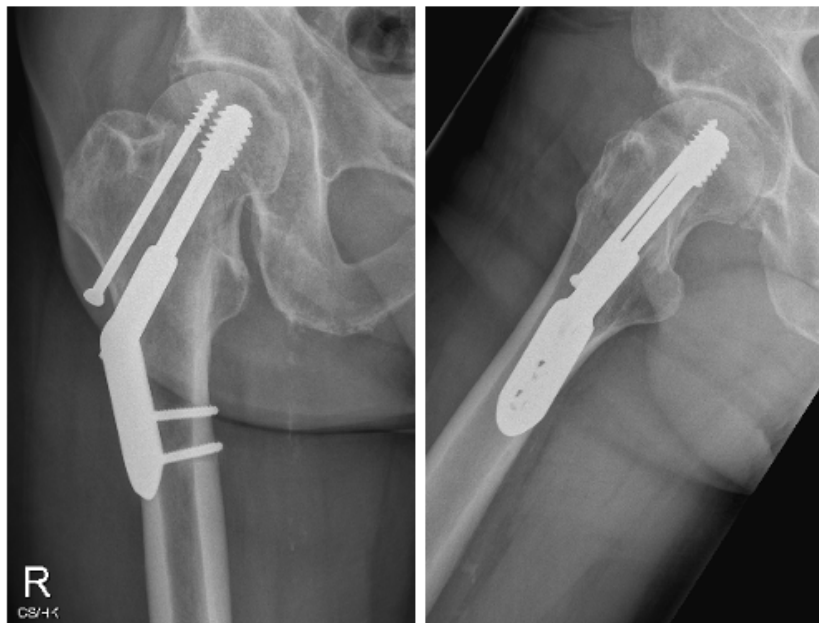


Abbildung 7: **DHS mit Antirotationsschraube.** Implantate in einem a.p.- (links) und einem axialen Röntgenbild (rechts).

#### 1.4.7.2.2 Femurkopfersetzende Therapie

Bei einem zu großen, vorhersehbaren Risiko einer insuffizienten Frakturheilung, zum Beispiel im Sinne einer sekundären Dislokation oder avaskulären Femurkopfnekrose, sollte

der Erhalt des Femurkopfes nicht versucht werden. Stattdessen kommt in diesem Fall eines der femurkopfersetzenden Verfahren zum Einsatz. Ebenso ist in Fällen, in denen die Durchführbarkeit der postoperativen Mobilisierung sehr ungewiss ist, dieses Verfahren vorzuziehen. Das mit längerer Bettlägerigkeit und Immobilisierung einhergehende Komplikationsrisiko überwiegt vor allem bei älteren Personen, deren Allgemeinzustand und Komorbiditäten eine rasche Mobilisierung unmöglich machen. Die beiden verwendeten Formen der Hüftgelenksprothese unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich des Ersatzes der Gelenkspfanne. Verankert werden beide Formen der Endoprothetik mittels Prothesenschaft im Markraum des Femurs, der dafür ausgehöhlt wird. Um schneller für ausreichend Festigkeit und eine möglichst frühe, vollständige Mobilisierung zu sorgen, wird der Prothesenschaft in den meisten Fällen mit Knochenzement fixiert (Gierer & Mittlmeier, 2015; Haas & Krettek, 2012). Die Verwendung von Zement führt zudem zu einer signifikant geringeren Rate an chirurgischen Komplikationen (Veldman et al., 2017). Zugleich geht der Einsatz von Knochenzement mit dem Risiko einer Reaktion auf diesen einher, was zu intraoperativen anästhesiologischen Komplikationen, wie systemischen Blutdruckabfall, pulmonalarterieller Druckerhöhung und Rechtsherzbelastung, bis hin zu einem plötzlichen Herzstillstand, führen kann (Donaldson et al., 2009).

#### **1.4.7.2.2.1 Hemiendoprothese**

Die Hemiendoprothese ersetzt lediglich Kopf und Hals des Femurs, weshalb eine intakte Hüftgelenkspfanne Grundvoraussetzung für dieses Verfahren ist (Abb. 8). Während eine kürzere Operationszeit mit geringerem Blutverlust sowie ein geringeres Dislokationsrisiko zu den Vorteilen der hemiendoprothetischen Versorgung zählen, ist der Abrieb des Acetabulums durch den Prothesenkopf der größte Nachteil. Eine Weiterentwicklung der klassischen, unipolaren Hemiendoprothese mit starrem Prothesenkopf zu einem bipolaren System, bei dem der artifizielle Gelenkkopf, getrennt durch eine Polyethylenschicht, auf einem kleinen Kopf sitzt, sollte den Abrieb der Gelenkspfanne reduzieren. Dies sollte dadurch zustande kommen, dass die Bewegung hauptsächlich im protheseninternen Gelenk zwischen den beiden Köpfen stattfinden sollte (Haas & Krettek, 2012). Die Studienlage zum Abrieb des Acetabulums scheint kontrovers, eine große Metaanalyse belegte jedoch die diesbezügliche Überlegenheit der bipolaren Prothese. Zudem kann mit den bipolaren Systemen eine bessere Beweglichkeit erzielt werden (Imam et al., 2019).



Abbildung 8: **Bipolare Hemiendoprothese.** Zementierte bipolare Hemiendoprothese im postoperativen a.p.-Röntgenbild (mit Cerclagen nach intraoperativer Femurschaftsprengung).

#### 1.4.7.2.2 Totalendoprothese

Bei dieser operativen Therapievariante werden sowohl die Hüftgelenkspfanne als auch der Femurkopf ersetzt (Abb. 9). Dies resultiert in einer längeren Operationsdauer mit einem erhöhten Blutverlust verglichen mit der Hemiendoprothese. Da die totalendoprothetische Versorgung jedoch zu besseren funktionellen Ergebnissen führt, kommt diese in erster Linie bei Personen mit einem altersentsprechend hohen Aktivitätsniveau zum Einsatz (Gierer & Mittlmeier, 2015).



Abbildung 9: **Totalendoprothese.** Totalendoprothese im postoperativen a.p.-Röntgenbild.

### **1.4.7.2.3 Nachbehandlung**

Eine möglichst rasche Mobilisierung ist bei jeder Form der operativen Versorgung einer Schenkelhalsfraktur anzustreben, um den Folgen und Komplikationen einer längeren Immobilisierung vorzubeugen. Sowohl nach femurkopferhaltender als auch femurkopfersetzender Therapie kann mit der Mobilisierung bereits am zweiten postoperativen Tag begonnen werden. Nach Versorgung mittels Osteosynthese wäre eine schonende Vollbelastung bei gutem Halt des Implantats und ausreichender Knochenfestigkeit möglich, es wird jedoch eine Teilbelastung von 10-20 kg unter physiotherapeutischer Anleitung und mithilfe zweier Gehstöcke für eine Dauer von 6-8 Wochen empfohlen. Durch die Implantation einer Gelenkprothese wird die Fraktur als Schwachstelle entfernt, weshalb von Beginn an eine Vollbelastung möglich ist. Vor allem die Verwendung von Knochenzement sorgt für sofortigen Halt des Implantats (Gierer & Mittlmeier, 2015). Die physiotherapeutische Betreuung sollte bis zur vollständigen Normalisierung des Gangbildes beibehalten werden. Während bei jüngeren und aktiven Patientinnen und Patienten eine ambulante Rehabilitation empfohlen wird, ist bei älteren Personen eine stationäre Rehabilitation sinnvoller. Vor allem multimorbiden und dementen Patientinnen und Patienten sollte jedoch eine rasche Rückkehr in ihr gewohntes Umfeld ermöglicht werden (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015). Da aufgrund des vermehrten Bedarfs eine Rehabilitation in vielen Fällen erst nach einigen Wochen möglich ist, sollten die Patientinnen und Patienten bis zur Rehabilitation durch eine geriatrische Remobilisationseinheit betreut werden. Ziel dabei ist, mittels eines interdisziplinären Teams möglichst früh die Selbstständigkeit der Betroffenen wiederherzustellen (Pochobradsky et al., 2017). Die korrekte Lage des implantierten Materials sollte bei den osteosynthetischen Verfahren bis zur abgeschlossenen Heilung der Fraktur in einem Intervall von sechs Wochen mittels Röntgenkontrolle überprüft werden. Wurde eine Prothese eingebaut, kann das Kontrollintervall von initial sechs Monaten nach einem Jahr auf 12 Monate oder mehr erweitert werden (Haas & Krettek, 2012). Generell sollten die Abstände zwischen den Röntgenkontrollen jedoch an Alter, Beanspruchung, Knochenqualität sowie Beschwerden individuell angepasst werden (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015).

### **1.4.8 Komplikationen**

Neben den Komplikationen, die direkt mit einer Schenkelhalsfraktur einhergehen, sorgen insbesondere bei älteren Personen auch Folgen der Bettlägerigkeit und Immobilisierung für gesundheitliche Probleme.

#### **1.4.8.1 Infektionen**

Eine große Gefahr stellen respiratorische und urogenitale Infektionen im Rahmen des stationären Aufenthalts dar. Die zur Vermeidung von Wundinfektionen präoperativ verabreichte antibiotische Einzeldosis beugt gleichzeitig auch diesen Infektionen vor (Gillespie & Walenkamp, 2001; Ryder et al., 2001).

#### **1.4.8.2 Thrombosen**

Die starke Einschränkung der körperlichen Aktivität durch Immobilisierung erklärt die hohe Rate an Thrombosen von bis zu 45%, die ohne adäquate Prophylaxe festgestellt werden konnte. Um die Bildung eines Thrombus, der zu einer symptomatischen Thrombose oder sogar zu einer Lungenembolie führen könnte, zu verhindern, wird bei der Therapie hüftgelenksnaher Frakturen eine medikamentöse Thromboseprophylaxe empfohlen. Diese wird bis zur Wiedererlangung der vollständigen Mobilität beziehungsweise für eine Dauer von 28-35 Tagen nach prothetischem Ersatz empfohlen und sollte bei konservativer oder femurkopferhaltender Therapie mittels niedermolekularem Heparin durchgeführt werden (Encke et al., 2016; Sendtner et al., 2010). Wird der Femurkopf im Rahmen der Therapie prothetisch ersetzt, kann die Auswahl infrage kommender antithrombotischer Substanzen um die Gruppe der neuen oralen Antikoagulantien erweitert werden. Möglichst frühe Mobilisation und Bewegung sind ebenso der Vorbeugung thrombotischer Ereignisse förderlich (Encke et al., 2016). Eine weitere mögliche Folge des langen Liegens stellt der Dekubitus dar, weswegen ältere Personen auf speziellen Matratzen gelagert werden sollten (McInnes et al., 2011).

#### **1.4.8.3 Iatrogene Schäden**

Wie bei jeder operativen Therapie kann es auch bei der chirurgischen Sanierung einer Schenkelhalsfraktur zu Verletzungen von Nerven und Blutgefäßen kommen. Erstere betreffen vor allem den Nervus femoralis sowie den Nervus ischiadicus, kommen jedoch sehr selten (0,2%) vor (Haas & Krettek, 2012). Hinsichtlich der Läsion von Blutgefäßen sollten vor allem die femurkopferversorgenden Arterien beachtet und unversehrt bleiben, um die Durchblutung des Femurkopfes nicht zu gefährden. Iatrogene Frakturen treten vor allem bei der Implantation von Prothesen oder deren Revision auf. Dabei kann es beispielsweise zu einer Sprengung des Femurschaftes kommen, wobei mit einem langen Prothesenschaft und einer Cerclage für Stabilität gesorgt werden kann. Werden die Spongiaschrauben im

Rahmen der Schraubenosteosynthese kaudal des Trochanter minor eingebracht, birgt dies eine weitere Quelle einer iatrogenen Fraktur (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.8.4 Lokale Infektion**

Die bereits erwähnte prophylaktische Gabe eines Antibiotikums soll primär lokalen Infekten vorbeugen. Das Arbeiten unter strengen sterilen Kautelen sowie ausreichende Spülungen des Operationssitus wirken ebenfalls präventiv. Kommt es dennoch zu einer lokalen Infektion, ist eine sofortige Revision der Wunde angezeigt. Neben der Entnahme verschiedener Gewebeproben, einem Débridement und einer ausgiebigen Wundspülung zählt auch die antibiogrammgerechte, antibiotische Behandlung zu den notwendigen therapeutischen Schritten. Die Behandlung eines Frühinfekts mittels Débridement und Antibiotikum, während das Implantat in situ belassen wird, wird auch DAIR-Verfahren (debridement, antibiotics, implant retention) genannt (Gerritsen et al., 2021). Tritt ein Infekt nach sechs Wochen oder später auf oder kommt es zu einem Rezidiv einer bereits zuvor aufgetretenen Infektion, ist nach prothetischer Versorgung ein Ausbau und Wechsel der Prothese indiziert (Haas & Krettek, 2012). Führt auch die Revisionsoperation mit Wechsel des Implantats zu keiner Besserung oder ist der Eingriff aufgrund des körperlichen Zustandes nicht möglich, so kann als Ultima Ratio eine Resektionsarthroplastik nach Girdlestone durchgeführt werden. Bei dieser wird nach Entfernen des implantierten Materials und ausgiebigem Débridement das proximale Femur ohne Schenkelhals und -kopf belassen. Der Oberschenkelknochen gelangt anschließend nach kranial, so dass sich der Trochanter minor in der Hüftgelenkspfanne abstützt. Während dieser Eingriff in den meisten Fällen eine endgültige Infektsanierung möglich macht, sind Einschränkungen der Mobilität die Folge (Cordero-Ampuero, 2012). Wurde die Schenkelhalsfraktur osteosynthetisch versorgt, so ist im Fall einer tiefen Infektion zu entscheiden, ob der Erhalt des Femurkopfes möglich ist oder der primäre oder sekundäre endoprothetische Ersatz angestrebt werden sollte (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.8.5 Implantatversagen**

Während eine Sinterung der Fraktur nach femurkopferhaltender Therapie im Rahmen der Heilung toleriert wird, kann ein weiteres Einsinken des Femurkopfes Zeichen eines Implantatversagens sein. Ebenfalls auf ein Versagen der osteosynthetischen Versorgung und eine Sekundärdisklokation hinweisend sind anhaltende oder stärker werdende Schmerzen und eine Varisierung oder Abkippen des Femurkopfes nach dorsal. Weitere Anzeichen sind eine

Abnahme der Distanz der Schraubenspitzen zur medialen Kortikalis des Femurkopfes oder eine Protrusion der Schrauben in das Hüftgelenk. Die therapeutische Konsequenz der Sekundärdislokation ist der prothetische Ersatz des Femurkopfes (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.8.6 Pseudarthrose**

Die bereits beschriebene Komplikation der Pseudarthrose beschreibt eine ausbleibende Heilung der Fraktur nach einen Zeitraum von sechs bis acht Monaten und stellt einen der Hauptgründe für eine Reoperation dar, sofern Konstitution und Komorbiditäten der betroffenen Person diese erlauben (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.8.7 Avaskuläre Femurkopfnekrose**

Wird der Femurkopf im Rahmen der operativen Therapie erhalten, so ist ein vitaler Femurkopf Voraussetzung für die Heilung der Fraktur und die adäquate Funktion des Hüftgelenks. Essentiell ist dabei die Unversehrtheit der kleinen Arterien, die, vom Schenkelhals kommend, für den Großteil der Blutversorgung des Femurkopfes verantwortlich sind. Während eine geringe Kontaktfläche sowie eine starke Dislokation der Frakturfragmente, sprich Garden-Stadien III und IV, die Persistenz einer ausreichenden vaskulären Versorgung unwahrscheinlich machen, sollte mit einer frühzeitigen Operation das Risiko der Ausbildung von Nekrosen verringert werden (Manninger et al., 1989). Auch wenn erste ossäre Schäden am Femurkopf bereits während der ersten Stunden auftreten können, so können sich diese innerhalb eines Zeitraums von sechs Monaten wieder regenerieren. In den meisten Fällen sind Blutgefäße des Schenkelhalses oder auch des Gebietes um die Fovea capitis femoris Grundlage für die Revaskularisierung, wobei es in manchen Fällen auch durch Neovaskularisierung zur vaskulären Überbrückung des Frakturspaltes kommt. Störungen der Durchblutung, die über diese Zeitspanne von sechs Monaten hinaus bestehen, führen in weiterer Folge zu einer Nekrose des betroffenen Areals (Einert et al., 1996). Diese äußert sich durch Schmerzen und ist radiologisch durch eine erhöhte Röntgendichte erkennbar (Schweigkofler et al., 2008). Ist nur ein kleiner Teil des Femurkopfes vom nekrotischen Umbau betroffen, so kann die Gesamtheit des Caput femoris funktionsfähig bleiben. Weitet sich die Nekrose jedoch auf weite Teile oder den gesamten Femurkopf aus, so stellt diese avaskuläre Femurkopfnekrose eine weitere Indikation zur Reoperation dar (Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.8.8 Prothesenluxation**

Eine Komplikation nach prothetischem Femurkopfersatz ist die Luxation der Prothese. Diese tritt bei Totalendoprothesen deutlich häufiger als bei Hemiendoprothesen auf und erfordert bei entsprechender Instabilität eine Revisionsoperation (Burgers et al., 2012; Haas & Krettek, 2012).

#### **1.4.9 Prognose nach operativer Therapie**

Je nach Studie wurde ein Auftreten von Komplikationen nach der osteosynthetischen Versorgung mit Schrauben nicht dislozierter Frakturen bei Patientinnen und Patienten in einem Alter von mindestens 60 Jahren in bis zu 24% der Fälle beobachtet (Dolatowski et al., 2019; Parker et al., 2008; Yih-Shiunn et al., 2007). Die Reoperationsrate in dieser Konstellation betrug zwischen 7,2% nach einem Jahr und 20% nach zwei Jahren (Dolatowski et al., 2019; Gjertsen et al., 2011; Sikand et al., 2004; Viberg et al., 2021; Yih-Shiunn et al., 2007). Nach einem Jahr verstarb ungefähr ein Fünftel dieser Patientinnen und Patienten (Parker et al., 2008; Widhalm et al., 2019). In zwei Studien mit über 70-Jährigen betrug die Ein-Jahres-Mortalität 23% beziehungsweise 29%. Nach zwei Jahren waren 36% und nach fünf Jahren 61% der Personen verstorben (Dolatowski et al., 2019; Viberg et al., 2021).

Die Versorgung nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen mit einer DHS in einem Kollektiv über 60-Jähriger führte in einer Studie nach einem Jahr zu einer Komplikationsrate von 10% und einer Reoperationsrate von 2,5% (Yih-Shiunn et al., 2007). In einem Kollektiv über 50-Jähriger konnte eine Zwei-Jahres-Mortalität von 21,4% und eine Reoperationsrate von 3,6% nach der Implantation einer DHS festgestellt werden (Watson et al., 2013).

Erfolgte die Sanierung der nicht dislozierten Schenkelhalsfraktur mittels Hemiendoprothese, betrug die Komplikationsrate zwischen 8% und 10,1% bei Patientinnen und Patienten über 70 Jahre (Chen et al., 2020; Dolatowski et al., 2019). Nach einem Jahr betrug die Reoperationsrate 3%, nach zwei Jahren 5% und nach drei oder mehr Jahren 9% (Chen et al., 2020; Dolatowski et al., 2019; Gjertsen et al., 2011; Sikand et al., 2004). Die Ein-Jahres-Mortalität betrug zwischen 18% und 38% (Dolatowski et al., 2019; Sikand et al., 2004). Eine Studie verzeichnete nach zwei Jahren eine Mortalität von 26%, eine andere nach mindestens drei Jahren Nachbeobachtungszeit 39,3% (Chen et al., 2020; Dolatowski et al., 2019).

Die Sanierung einer dislozierten Fraktur mittels Schraubenosteosynthese führte innerhalb von zwei Jahren in zwei Studien zu Komplikationsraten von 37% und 50%, die

Reoperationsraten betragen 39% und 40% (Frihagen et al., 2007; Keating et al., 2005). Eine andere Studie berichtete über 42% Komplikationen und 47% Reoperationen nach vier Jahren (Blomfeldt et al., 2005). In einem Kollektiv über 60-Jähriger verstarben nach zwei Jahren 35% der Patientinnen und Patienten (Frihagen et al., 2007). Die Sterberaten bei mobilen und selbstständigen Personen beziehungsweise Personen ohne kognitives Defizit und ohne schwere Nebenerkrankungen lagen bei 15% (über 60-Jährige) nach zwei und 25% (über 70-Jährige) nach vier Jahren (Blomfeldt et al., 2005; Keating et al., 2005).

Nach femurkopfersetzender Versorgung dislozierter Schenkelhalsfrakturen mittels Hemiendoprothese traten Komplikationen in 6,6% bis 15% der Fälle auf. Die Reoperationsrate betrug nach zwei Jahren zwischen 5% und 10%, die Mortalitätsrate zwischen 25% und 35% (Frihagen et al., 2007; Parker et al., 2008).

Die Implantation einer Totalendoprothese nach dislozierter Schenkelhalsfraktur ging in einem Kollektiv mobiler und selbstständiger über 70-Jähriger mit einer Rate an Komplikationen und Reoperationen von jeweils 4% einher. Die Mortalität betrug nach vier Jahren 25% (Blomfeldt et al., 2005). In einem Kollektiv agiler Patientinnen und Patienten in einem Alter von mindestens 60 Jahren betragen Reoperationsrate und Mortalität nach zwei Jahren je 9% (Keating et al., 2005).

#### **1.4.10 Wahl des operativen Verfahrens**

Neben Alter, Komorbiditäten und Mobilität ist vor allem der Schweregrad der Fraktur ein ausschlaggebendes Kriterium, welcher in die Entscheidung bezüglich des operativen Verfahrens miteinfließen sollte. Liegt eine nicht wesentlich dislozierte Schenkelhalsfraktur, im Sinne der Kategorie Garden I oder Garden II, vor, ist die Therapie der Wahl die osteosynthetische Versorgung. Personen, die den größeren Blutverlust, die längere Operationsdauer und den längeren stationären Aufenthalt tolerieren, können jedoch auch mit einer Hemiendoprothese versorgt werden (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2021; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015; Norwegian orthopaedic association et al., 2018). Vorteile der prothetischen Versorgung nicht dislozierter Frakturen sind eine geringere Rate implantatassoziierter Komplikationen und Reoperationen (Dolatowski et al., 2019; Gjertsen et al., 2011; Richards et al., 2020).

Bei älteren Personen mit deutlich reduziertem Allgemeinzustand empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie eine osteosynthetische Therapie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015).

Während die Implantation einer DHS in einer Studie bei osteoporotischen Knochenverhältnissen bessere Ergebnisse als die Schraubenosteosynthese erzielte, bleiben die größere Invasivität des Eingriffs sowie der größere Blutverlust klare Nachteile (Yih-Shiunn et al., 2007).

Dislozierte Schenkelhalsfrakturen sollten, vor allem bei älteren Personen, ausschließlich prothetisch behandelt werden, da die osteosynthetische Versorgung bei diesen Frakturen mit sehr hohen Komplikationsraten und Reoperationsraten einhergeht (Blomfeldt et al., 2005; Frihagen et al., 2007; Keating et al., 2005). Während Totalendoprothesen deutlich häufiger als Hemiendoprothesen dislozieren, liefern sie bessere Ergebnisse hinsichtlich Funktion und Mobilität (Keating et al., 2005). Die Implantation einer Totalendoprothese nach einer dislozierten Schenkelhalsfraktur wird daher bei Personen höheren Alters vor allem bei hohem funktionellen Anspruch aufgrund ausgeprägter körperlicher Aktivität empfohlen (Gierer & Mittlmeier, 2015).

#### **1.4.11 Prävention**

Zur Vorbeugung einer Schenkelhalsfraktur können sowohl nicht-medikamentöse als auch medikamentöse Maßnahmen angewandt werden. Oberstes Ziel der nicht-medikamentösen Prophylaxe sind Förderung und Beibehaltung von Agilität und Mobilität. Besonders für ältere Menschen ist regelmäßige körperliche Aktivität essentiell, um Muskelkraft und Koordination zu fördern (Norton et al., 2001). Die Bewegung kann beispielsweise im Rahmen einer Physiotherapie oder kontrollierten Bewegungstherapie erfolgen und sollte an die individuellen Möglichkeiten und das jeweilige Verletzungsrisiko angepasst werden. Auch wenn sich die Sturzanfälligkeit durch diese Maßnahme kaum reduzieren lässt, kann das Verletzungsrisiko deutlich gesenkt werden (Bolam et al., 2013; Uusi-Rasi et al., 2015). Um den Risikofaktor des Untergewichts zu vermeiden, sollte auf eine ausreichende und ausgewogene Ernährung geachtet werden. Zudem wird empfohlen, vor allem älteren Personen genügend Kalzium und Vitamin D zuzuführen, um der Osteoporose und damit dem Frakturrisiko vorzubeugen. Der Dachverband Osteologie e.V. empfiehlt in der Leitlinie aus dem Jahr 2017 eine tägliche Dosis von 1000 mg Kalzium und 800-1000 IE Vitamin D (Dachverband Osteologie, 2017). Können diese Mengen nicht über die tägliche Nahrung nicht aufgenommen werden, sollten die Patientinnen und Patienten mit Supplementierung unterstützt werden. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass allein die Supplementierung von Kalzium und Vitamin D das Frakturrisiko deutlich mindert (Chapuy et al., 1994; Chapuy et al., 1992; Dawson-Hughes et al., 1997). Um die körpereigene

Produktion von Vitamin D zu aktivieren, wird außerdem auf eine ausreichende tägliche Sonnenexposition hingewiesen. Des Weiteren wird vom Rauchen abgeraten und der Konsum von Alkohol sollte minimiert werden. Zu zusätzlichen protektiven Maßnahmen zählen unter anderem das Tragen adäquater Schuhwerke, das Verwenden von Gehhilfen sowie eine ausreichende Beleuchtung und altersgerechte Adaptierung der häuslichen Umgebung, indem Stolperfallen vermieden und Handläufe an kritischen Stellen angebracht werden. Essentiell ist auch die Überprüfung und Korrektur der Sehfähigkeit. Personen, die unter einem erhöhten, beispielsweise osteoporosebedingten, Frakturrisiko, leiden, wird überdies eine medikamentöse Therapie empfohlen. Grundlage dieser ist entweder die Hemmung des Knochenabbaus durch Osteoklasten, Förderung des vermehrten Knochenaufbaus durch Osteoblasten oder eine Kombination beider Mechanismen. Zu den am häufigsten verwendeten Medikamente, um einer Knochenbrüchigkeit vorzubeugen, zählt die Gruppe der Bisphosphonate. Zudem kommen selektive Östrogenrezeptor-Modulatoren, Parathormon-Analoga und der monoklonale Antikörper Denosumab, der an das Protein RANKL bindet, zum Einsatz (Dachverband Osteologie, 2017).

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studienpopulation**

Im gewählten Zeitraum von 01.01.2010 bis 31.12.2017 wurden 132 Fälle von PatientInnen und Patienten im Alter von mindestens 65 Jahren nach einer Schenkelhalsfraktur an der Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie der Medizinischen Universität Graz osteosynthetisch versorgt. Pathologische Frakturen wurden ausgeschlossen. Vier Fälle wurden von der Analyse ausgeschlossen, da der Grund der Reoperation nicht als direkte Komplikation der Operationsmethode gewertet werden kann. Während in einem Fall der Grund für die erneute Operation nicht detektiert werden konnte, führten in den anderen Fällen jeweils eine Infektion, eine, als störend empfundene, mechanische Irritation sowie eine pertrochantäre Fraktur nach einem Sturz zur neuerlichen chirurgischen Versorgung. Die endgültige Studienpopulation beinhaltet somit 128 Fälle mit 127 Individuen. Eine Patientin erlitt nach der ersten Schenkelhalsfraktur einige Monate postoperativ auf der kontralateralen Seite eine Schenkelhalsfraktur, welche ebenfalls osteosynthetisch versorgt wurde. In 111 Fällen lag eine vollständige postoperative Dokumentation über einen Zeitraum von mindestens 18 Monaten vor. Auch wenn bei den übrigen 17 Fällen der Reoperationsstatus nicht eruiert werden konnte, wurden diese Personen als erfolgreich versorgt eingestuft (Abb.

10). Grund dieser Annahme ist die Tatsache, dass alle Reoperationen bis auf eine einzige Ausnahme erneut an der Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie der Medizinischen Universität Graz durchgeführt wurden.

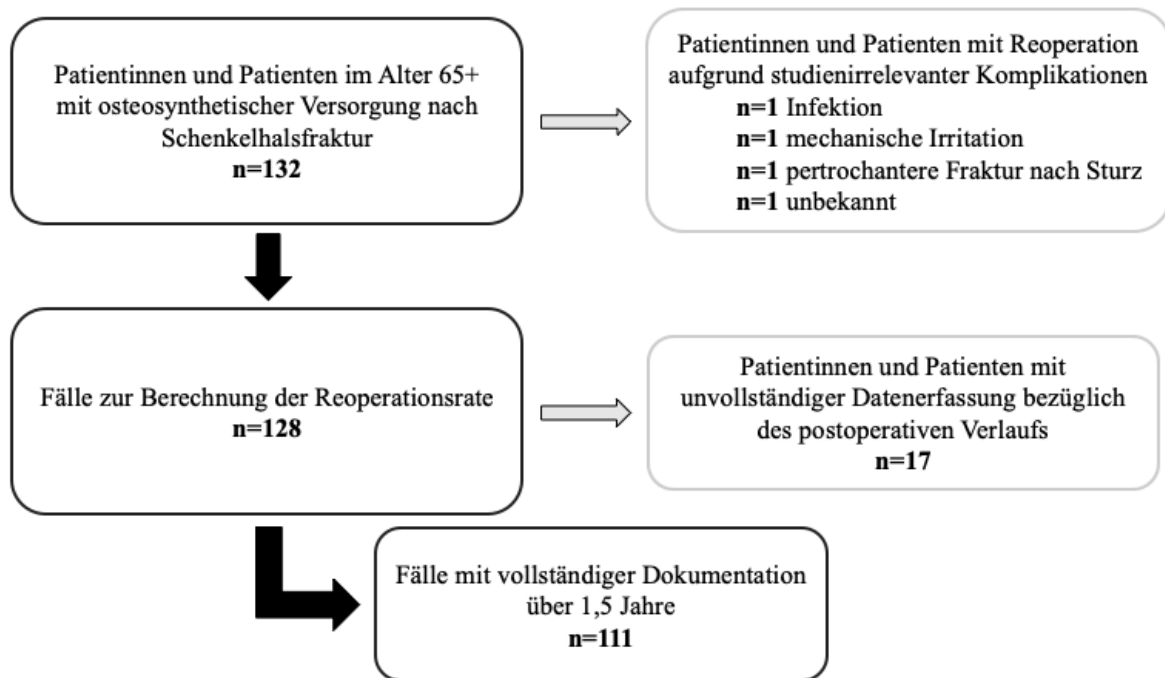


Abbildung 10: Übersicht über die Fallauswahl.

## 2.2 Datenerhebung und Statistik

Die Suche nach Fällen sowie den einzelnen Parametern erfolgte über das Krankenhausdokumentationssystem „openMEDOCS“. Um bereits aus dem Krankenhausdokumentationssystem gewonnene Daten und Parameter zu ergänzen, wurde zusätzlich im Mai 2019 eine Telefonerhebung durchgeführt. Eine telefonische Kontaktierung war im Fall einer Reoperation oder des Ablebens und somit bei 33 Fällen nicht notwendig. Konnte unter den hinterlegten Telefonnummern an drei separaten Tagen niemand erreicht werden, so galt die Telefonerhebung als erfolglos, was bei 21 Fällen der Fall war. Zur Analyse der einzelnen erhobenen Parameter hinsichtlich der Reoperationsrate wurde nach Ermittlung der Odds-Ratio der Chi-Quadrat-Test angewandt. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  festgesetzt. Die Durchführung des Tests erfolgte mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics (Version 22.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

## 2.3 Präoperative Parameter

Neben Alter, Geschlecht, Gewicht, Größe, Body-Mass-Index (BMI) und präoperativer Mobilität floss auch die ASA-Klasse in unsere Analyse mit ein. Ein BMI  $< 18,5 \text{ kg/m}^2$  wird

als Untergewicht,  $\geq 18,5$  und  $\leq 24,9$  kg/m<sup>2</sup> als Normalgewicht,  $\geq 25$  und  $\leq 29,9$  kg/m<sup>2</sup> als Übergewicht und  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> als Adipositas definiert. Die Risikoklassifikation der American Society of Anesthesiologists (ASA) repräsentiert auf einer Skala von 1 bis 6 den körperlichen Zustand einer Person und findet zur Einschätzung des perioperativen Risikos bezüglich Mortalität und Morbidität Anwendung. Während die ASA-Klasse 1 einen gesunden Menschen ohne Komorbiditäten, der weder raucht noch übermäßig Alkohol konsumiert, beschreibt, wird die ASA-Klasse 2 bei milden systemischen Erkrankungen vergeben. Bestehen schwere systemische Erkrankungen, die eine funktionelle Einschränkung mit sich bringen, fällt dies unter die ASA-Klasse 3. Die ASA-Klasse 4 beschreibt eine Person, bei der aufgrund einer schweren systemischen Erkrankung, wie eines kürzlich erlittenen Herzinfarktes, eine permanente Lebensgefahr besteht. Eine Patientin oder ein Patient mit einer ASA-Klasse 5 gilt als moribund und würde ohne Operation nicht überleben. Die ASA-Klasse 6 beschreibt hirntote Personen (American Society of Anesthesiologists (ASA), 2020). Bezüglich der Mobilität wurden die Patientinnen und Patienten in vier Kategorien eingeteilt. Während die erste Kategorie Personen, die ohne Unterstützung frei gehen konnten, beinhaltete, wurden Patientinnen und Patienten, die einen Rollator, einen Gehstock oder andere Gehhilfen zur Fortbewegung benötigten, der zweiten Kategorie zugeteilt. Die beiden weiteren Gruppen beinhalteten Personen, die einerseits nur mittels Rollstuhl mobil waren und andererseits bettlägerig und somit nicht mehr mobil waren. Weiters wurde überprüft, ob die Patientinnen und Patienten zum Zeitpunkt der Fraktur in einem Pflegeheim oder ähnlichen Einrichtungen wohnten. Zudem wurden mittels präoperativer Röntgenbilder und Befunde die Schenkelhalsfrakturen gemäß der AO-Klassifikation und der Garden-Klassifikation kategorisiert. Eine Ausnahme bildeten laterale Schenkelhalsfrakturen, welche nicht näher klassifiziert wurden.

## **2.4 Postoperative Parameter**

Neben Art und Anzahl der Implantate wurde anhand der postoperativ angefertigten Röntgenbilder auch die Implantatlage beurteilt. Dazu wurden die Parallelität der Implantate sowie die subkortikale Lage der Spitzen als Kriterien verwendet. Traf eines der Kriterien nicht zu, galt die Implantatlage als mittelmäßig statt gut. Um das Hauptziel der Studie, die Evaluierung der Reoperationsrate im Kollektiv der älteren Personen, zu erreichen, wurde ermittelt, ob eine weitere Operation nach der primären osteosynthetischen Versorgung durchgeführt werden musste. Damit einhergehend wurden deren zeitlicher Abstand zur primären Operation, der Grund für den erneuten Eingriff sowie das gewählte

Operationsverfahren eruiert. Außerdem wurden Komplikationen erfasst, die keine weitere Operation nach sich zogen. In den meisten Fällen stellte ein Überstand der implantierten Schrauben diese dar, es blieben aber auch drei Sekundärdислоkationen und ein dysplastischer Femurkopf ohne weitere Konsequenz.

## **3 Resultate**

### **3.1 Analyse der reoperierten Fälle**

#### **3.1.1 Deskriptive Auswertung**

Es wurde in 20 von 128 Fällen eine Reoperation identifiziert, wodurch sich eine Reoperationsrate von 15,6% berechnet.

Dabei handelte es sich um 14 Frauen und sechs Männer. Das durchschnittliche Alter lag bei 76,6 Jahren. Neun Personen (45,0%) waren  $\leq 74$ , zehn Personen (50,0%)  $\geq 75$  und  $\leq 84$  und eine Person  $\geq 85$  Jahre alt. Der durchschnittliche BMI lag bei 24,0 kg/m<sup>2</sup>, eine Person war untergewichtig, 13 Personen (65,0%) waren normalgewichtig und sechs Personen (30,0%) waren übergewichtig. Es wurde sechsmal ASA 2, neunmal ASA 3 und viermal ASA 4 vergeben. Die ASA-Klasse einer Person war nicht zu erheben.

Drei Patientinnen und Patienten waren zum Zeitpunkt des Ersteingriffs auf ein Pflegeheim oder ähnliche Einrichtungen angewiesen. 15 Personen waren präoperativ ohne Einschränkung selbstständig gehfähig und fünf Personen waren mit geringen Einschränkungen oder unter Zuhilfenahme eines Rollators mobil. In neun Fällen waren die Patientinnen und Patienten nach der Operation weniger mobil als präoperativ. Jedoch konnte bei vier Fällen die postoperative Mobilität nicht erhoben werden, weshalb in diesen Fällen auch keine Angabe bezüglich eines Mobilitätsverlustes gemacht werden kann.

Zwölf Frakturen (60,0%) wurden primär als „31-B1“ und acht (40,0%) als „31-B2“ gemäß der AO-Klassifikation eingestuft. Unter die Kategorien Garden I fielen sechs Fälle (30,0%), unter Garden II zwei Fälle (10,0%) und unter Garden III zwölf Fälle (60,0%) (Abb. 11).

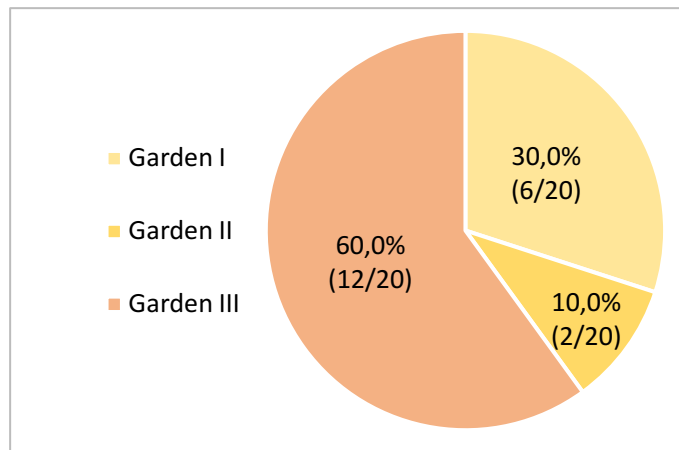


Abbildung 11: **Garden-Klassifikation im Kollektiv der Reoperierten.**

Die Reoperationsrate lag bei Frakturen des Stadiums Garden I bei 7,0% (6/86), bei Garden II-Frakturen bei 12,5% (2/16) und bei Garden III-Frakturen bei 52,2% (12/23). In der Gruppe der nicht dislozierten Schenkelhalsfrakturen (Garden I und Garden II) betrug demnach die Reoperationsrate 7,8% (8/102) (Abb. 12). Nach einem Jahr wurden 3,9% (4/102) der nicht dislozierten und 36,4% (8/22) der dislozierten Frakturen reoperiert.

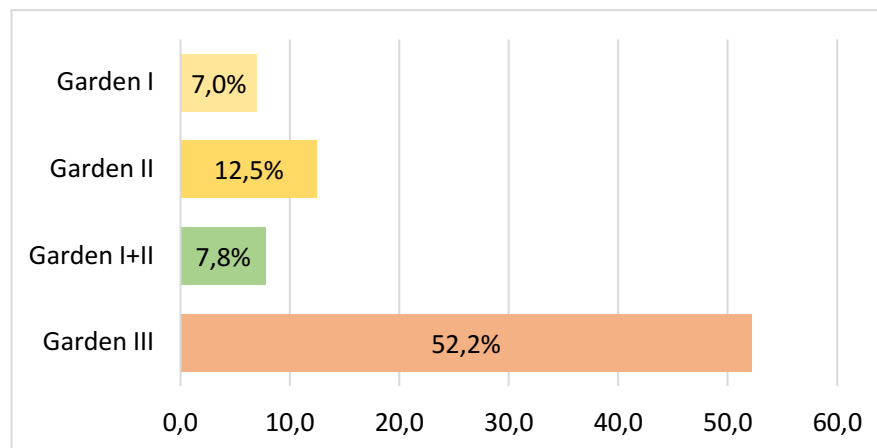


Abbildung 12: **Reoperationsrate nach Garden-Stadium.**

Bei zwei Personen (10,0%) wurde die Schenkelhalsfraktur primär mit einer DHS, bei 15 Personen (75,0%) mit zwei Schrauben und bei drei Personen (15,0%) mit drei Schrauben versorgt.

Bezogen auf das verwendete osteosynthetische Material ergab sich eine Reoperationsrate von 15,4% (2/13) für die DHS, 15,8% (18/114) für die Übergruppe aller Schrauben, 16,7% (15/90) für zwei und 12,5% (3/24) für drei Schrauben (Abb. 13).

Die Implantatlage wurde bei 18 von 20 reoperierten Fällen (90,0%) als initial gut und bei zwei Fällen (10,0%) als mittelwertig beurteilt.

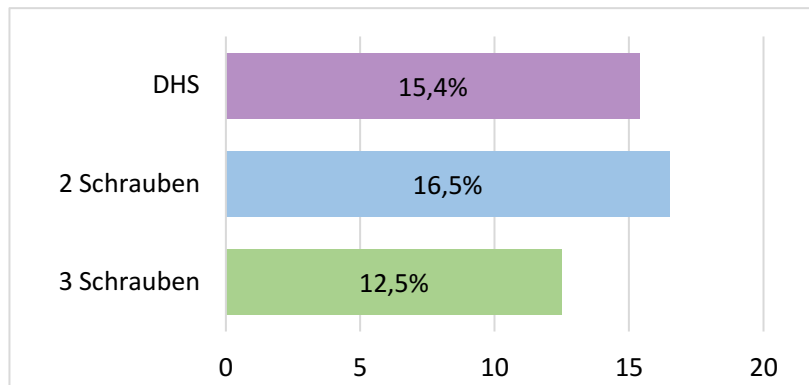


Abbildung 13: **Reoperationsrate nach Osteosyntheseverfahren.**

In 15 Fällen (75,0%) war die Ursache der Reoperation eine Sekundärdislokation der Fraktur, wobei bei einem Fall zusätzlich eine Infektion bestand. Die Sekundärdislokation war bei nicht dislozierten Frakturen in 50,0% (4/8) und bei dislozierten Frakturen in 91,7% (11/12) der Fälle Grund für die Reoperation. Die Sekundärdislokation wurde im Median nach einem Monat entdeckt und nach vier weiteren Monaten erfolgte die Reoperation (Tab. 1).

In vier Fällen (20,0%) führte eine Femurkopfnekrose zu einer Reoperation. Die avaskuläre Nekrose wurden im Median nach 17 Monaten postoperativ detektiert und die Reoperation erfolgte im Median 25 Monate nach der initialen Operation (Tab. 1).

In einem Fall trat eine sekundäre Koxarthrose auf, weshalb eine Reoperation durchgeführt wurde. Zehn Monate postoperativ wurde die Arthrose festgestellt und 14 Monate postoperativ erfolgte die Reoperation (Tab. 1).

Am häufigsten wurde bei der Reoperation ein endoprothetischer Ersatz implantiert. Dabei wurde bei elf Fällen (55,0%) eine Totalendoprothese und bei sieben Fällen (35,0%) eine Hemiendoprothese verwendet. Zwei Fälle wurde mittels Resektionsarthroplastie nach Girdlestone austherapiert (Tab. 1).

	<b>Reoperationsfälle n=20</b>
<b>Grund für Reoperation</b>	
<i>Sekundärdislokation</i>	15
Garden I	3
Garden II	1
Garden III	11
<i>Avaskuläre Femurkopfnekrose</i>	4
Garden I	2
Garden II	1
Garden III	1
<i>Sekundäre Koxarthrose</i>	1
Garden I	1
Garden II	
Garden III	
<b>Reoperationsverfahren</b>	
Totalendoprothese	11
Hemiendoprothese	7
Girdlestone-OP	2
<b>Dauer Operation-Reoperation (Median) [m]</b>	
Sekundärdislokation	5
Avaskuläre Femurkopfnekrose	25
Sekundäre Koxarthrose	14

Tabelle 1: **Einzelne deskriptive Daten zu den Reoperationen.**

### 3.1.2 Statistische Auswertung

Folgende Parameter zeigten kein Risiko hinsichtlich Reoperation:

- (I) Frauen und Männer (OR=0,9; 95%-KI: 0,31-2,55),
- (II) Alter < 75 Jahre und ≥ 75 Jahre (OR=2,1; 95%-KI: 0,80-5,64),
- (III) BMI < 25 kg/m<sup>2</sup> und BMI ≥ 25 kg/m<sup>2</sup> (OR=0,9; 95%-KI: 0,30-2,47),
- (IV) ASA-Klassen 1+2 und 3+4+5 (OR=1,4; 95%-KI: 0,47-3,90),
- (V) Pflegeheim und Zuhause (OR=0,6; 95%-KI: 0,16-2,16),
- (VI) Gehfähigkeit und sämtliche Einschränkungen der Mobilität (OR=1,4; 95%-KI: 0,45-4,04),
- (VII) AO-Klassen „31-B1“ und „31-B2“ (OR=0,5; 95%-KI: 0,19-1,41),
- (VIII) DHS und Schraubenosteosynthese (OR=1,0; 95%-KI: 0,20-4,75),
- (IX) Zwei Schrauben und drei Schrauben (OR=1,4; 95%-KI: 0,37-5,30) und
- (X) Gute und mittelmäßige Implantatlage (OR=1,0; 95%-KI: 0,21-5,05).

Ein Parameter zeigte ein signifikantes Risiko hinsichtlich Reoperation:

- (XI) Dislozierte und nicht dislozierte Frakturen (OR=12,8; 95%-KI: 4,31-38,17)  
 ( $X^2=27,4$ ;  $p=0,0001$ ) (Exakter Test nach Fisher)) (Tab. 2).

**Kreuztabelle Garden\*Reoperation**

			Reoperation		Gesamtsumme
			ja	nein	
Garden	Garden I + II	Anzahl	8	94	102
		Erwartete Anzahl	16.3	85.7	102.0
	Garden III	Anzahl	12	11	23
		Erwartete Anzahl	3.7	19.3	23.0
Gesamtsumme		Anzahl	20	105	125
		Erwartete Anzahl	20.0	105.0	125.0

**Risikoschätzung**

	Wert	95%-Konfidenzintervall	
		Unterer	Oberer
Odds-Verhältnis für Garden (Garden III / Garden I + II)	12.818	4.305	38.165

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymp. Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	27.443 <sup>a</sup>	1	.000		
Exakter Test nach Fisher				.000	.000

Tabelle 2: **Statistische Auswertung des Risikos hinsichtlich Reoperation mit und ohne Dislokation.** Kreuztabelle, OR und Chi-Quadrat-Test.

### 3.2 Deskriptive Auswertung der Studienpopulation

Mehr als zwei Drittel (71,9%) des Kollektivs waren Frauen und das durchschnittliche Alter betrug 79,8 Jahre, wobei die älteste Person 103 Jahre alt war. 30,5% der Patientinnen und Patienten waren  $\leq 74$ , 36,7%  $\geq 75$  und  $\leq 84$  und 32,8%  $\geq 85$  Jahre alt (Abb. 14). Gemessen am BMI waren die meisten Personen (62,5%) normalgewichtig. 23,4% der Personen waren übergewichtig, 9,4% untergewichtig, 3,9% adipös und bei einer Person konnte der BMI nicht eruiert werden. Die ASA-Klasse 3 war mit 41,4% am häufigsten vertreten, gefolgt von 4 (29,7%) 2 (25,0%). Die ASA-Klassen 1 und 5 hatten jeweils einen Anteil von unter 1%. Etwas mehr als ein Fünftel (21,9%) der Patientinnen und Patienten waren zum Zeitpunkt der Operation im Pflegeheim (Tab. 3).

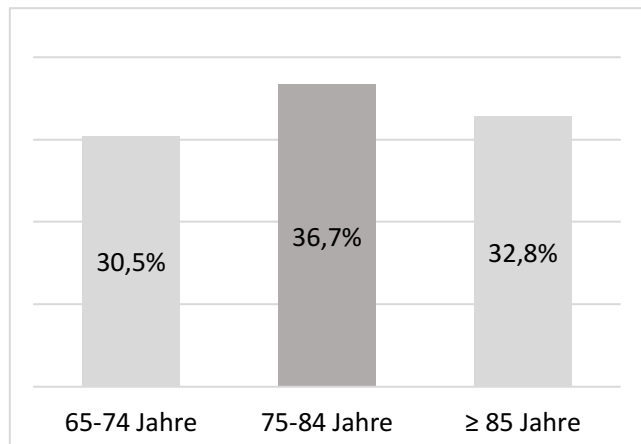


Abbildung 14: **Altersverteilung der Studienpopulation.**

90 Frakturen (70,3%) wurden gemäß der AO-Klassifikation als „31-B1“ eingestuft, 35 (27,3%) als „31-B2“. Entsprechend der Klassifikation nach Garden wurden über zwei Drittel (67,2%) der Schenkelhalsfrakturen als Garden I kategorisiert. 18,0% entsprachen dem Stadium Garden II und 12,5% Garden III (Tab.3). Die drei Sonderfälle im Sinne streng lateraler Schenkelhalsfrakturen hatten einen Anteil von 2,3% (Abb. 15).

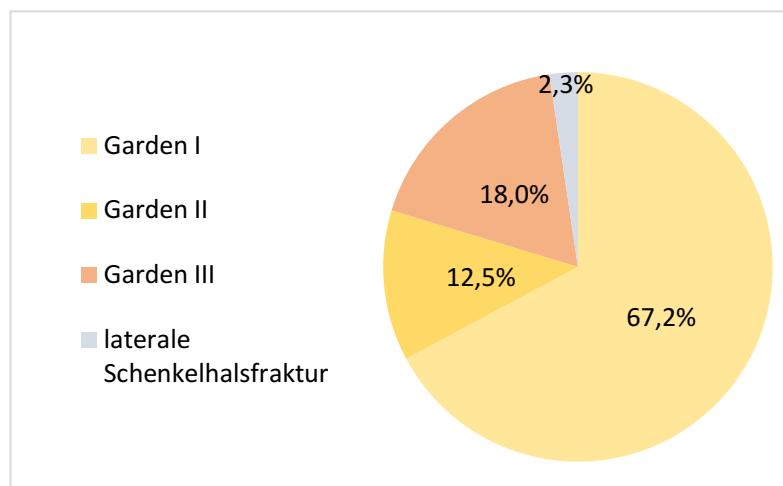


Abbildung 15: **Garden-Klassifikation der Studienpopulation.**

Insgesamt wurden in 70,3% der Fälle zwei Schrauben, in 18,8% drei Schrauben und in 10,1% eine DHS zur Fixierung der Fraktur verwendet (Abb. 16). Bei einem Fall (0,8%) konnte das osteosynthetische Verfahren nicht eruiert werden (Tab. 3).

In 89,0% der Fälle konnte die Implantatlage als initial gut beurteilt werden, bei 10,2% der Fälle wurde sie als mittelmäßig eingestuft und bei einem Fall (0,8%) war sie unbekannt. Bei 38,6% (44/114) der mit zwei oder drei Schrauben versorgten Fälle konnte postoperativ bei radiologischen Kontrollen ein Schraubenüberstand festgestellt werden, der jedoch in keinem Fall eine weitere Konsequenz hatte (Tab. 3).

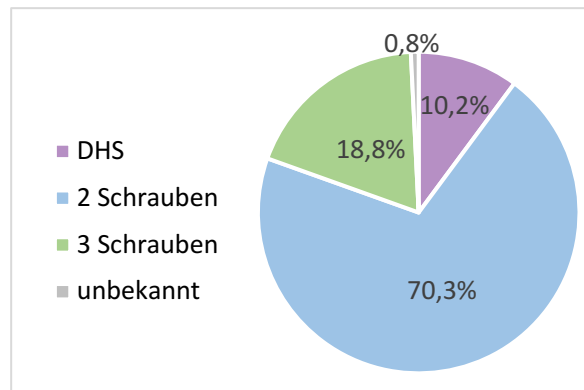


Abbildung 16: Verwendete Operationsverfahren.

	Reoperation n=20	keine Reoperation n=108	Summe n=128
<b>Geschlecht</b>			
Weiblich	14 (70,0%)	78 (72,2%)	92 (71,9%)
Männlich	6 (30,0%)	30 (27,8%)	36 (28,1%)
<b>Alter</b>			
65-74 Jahre	9 (45,0%)	30 (27,7%)	39 (30,5%)
75-84 Jahre	10 (50,0%)	37 (34,3%)	47 (36,7%)
≥ 85 Jahre	1 (5,0%)	41 (38,0)	42 (32,8%)
<b>Body-Mass-Index (BMI)</b>			
< 18,5 kg/m <sup>2</sup>	1 (5,0%)	11 (10,3%)	12 (9,4%)
18,5 – 24,9 kg/m <sup>2</sup>	13 (65,0%)	67 (62,0%)	80 (62,5%)
25 – 29,9 kg/m <sup>2</sup>	6 (30,0%)	24 (22,2%)	30 (23,4%)
≥ 30 kg/m <sup>2</sup>		5 (4,6%)	5 (3,9%)
Unbekannt		1 (0,9%)	1 (0,8%)
<b>Pflegeheim</b>			
Ja	3 (15,0%)	25 (23,1%)	28 (21,9%)
Nein	17 (85,0%)	83 (76,9%)	100 (78,1%)
<b>ASA-Klassifikation</b>			
Klasse 1		1 (0,9%)	1 (0,8%)
Klasse 2	6 (30,0%)	26 (24,1%)	32 (25,0%)
Klasse 3	9 (45,0%)	44 (40,7%)	53 (41,4%)
Klasse 4	4 (20,0%)	34 (31,5%)	38 (29,7%)
Klasse 5		1 (0,9%)	1 (0,8%)
Unbekannt	1 (5,0%)	2 (1,9%)	3 (2,3%)
<b>AO-Klassifikation</b>			
„31-B1“	12 (60,0%)	78 (72,2%)	90 (70,3%)
„31-B2“	8 (40,0%)	27 (25,0%)	35 (27,4%)
„31-B3“		3 (2,8%)	3 (2,3%)

<b>Garden-Klassifikation</b>			
Garden I	6 (30,0%)	80 (74,1%)	86 (67,2%)
Garden II	2 (10,0%)	14 (13,0%)	16 (12,5%)
Garden III	12 (60,0%)	11 (10,2%)	23 (18,0%)
Laterale Schenkelhalsfraktur		3 (2,7%)	3 (2,3%)
<b>Implantat</b>			
Dynamische Hüftschraube (DHS)	2 (10,0%)	11 (10,3%)	13 (10,1%)
2 Schrauben	15 (75,0%)	75 (69,4%)	90 (70,3%)
3 Schrauben	3 (15,0%)	21 (19,4%)	24 (18,8%)
Unbekannt		1 (0,9%)	1 (0,8%)
<b>Beurteilung der Implantatlage</b>			
Gut	18 (90,0%)	96 (88,9%)	114 (89,0%)
Mittelmäßig	2 (10,0%)	11 (10,2%)	13 (10,2%)
Unbekannt		1 (0,9%)	1 (0,8%)
<b>Mobilität (präoperativ)</b>			
Gehend	15 (75,0%)	71 (65,8%)	86 (67,2%)
Eingeschränkt mobil/Rollator	5 (25,0%)	26 (24,1%)	31 (24,2%)
Rollstuhl		5 (4,6%)	5 (3,9%)
Bettlägerig		1 (0,9%)	1 (0,8%)
Unbekannt		5 (4,6%)	5 (3,9%)
<b>Mobilität (postoperativ)</b>			
Gehend	4 (20,0%)	42 (38,9%)	46 (35,9%)
Eingeschränkt mobil/Rollator	10 (50,0%)	24 (22,2%)	34 (26,6%)
Rollstuhl	2 (10,0%)	13 (12,0%)	15 (11,7%)
Bettlägerig	4 (20,0%)	9 (8,3%)	9 (7,0%)
		20 (18,6%)	24 (18,8%)

Tabelle 3: Übersicht über die deskriptive Auswertung der Studienpopulation.

### 3.2.1 Mobilität und Mortalität

In ungefähr einem Drittel der Fälle (33,6%; 43/128) kam es in unserer Studie, verglichen mit der präoperativen Situation, zu einer Reduktion der Mobilität. Die größten Einbußen wurden in der Gruppe der eingeschränkt mobilen Personen (41,9%; 29/86) verzeichnet, gefolgt von den zuvor gehenden (33,7%; 13/31) und auf einen Rollstuhl angewiesenen Patientinnen und Patienten (20,0%; 1/5) (Tab. 3).

Im Kollektiv der 111 Fälle mit vollständiger postoperativer Dokumentation (18 Monate) waren nach einem Jahr postoperativ zwölf Personen (10,8%) verstorben. Nach 18 Monaten waren 15 Personen (13,5%) verstorben. Zu beiden Zeitpunkten war ungefähr die

Hälfte der Verstorbenen  $\geq 85$  Jahre (50,0% beziehungsweise 46,7%). 41,7% der nach einem Jahr Verstorbenen waren  $\geq 75$  und  $\leq 84$  und 8,3% waren  $\leq 74$  Jahre alt.

## 4 Diskussion

Ziel dieser retrospektiven Studie war die Eruiierung der Reoperationsrate nach osteosynthetischer Versorgung von Schenkelhalsfrakturen bei über 65-Jährigen. Vor allem nach der Therapie dislozierter Frakturen berichteten verschiedene Studien über hohe Komplikations- und Reoperationsraten (Blomfeldt et al., 2005; Frihagen et al., 2007; Keating et al., 2005).

Unsere ermittelte Reoperationsrate nach osteosynthetisch versorgter Schenkelhalsfraktur beträgt 15,6%.

In der Analyse verschiedener Risikofaktoren (Geschlecht, Alter, BMI, Pflegestatus, körperliche Verfassung (ASA), Frakturklassifikation (AO und Garden), osteosynthetisches Material, Implantatlage und Mobilität) stellte sich die Dislokation der Schenkelhalsfraktur als signifikanter Risikofaktor für eine Reoperation dar. Die übrigen genannten Faktoren ergaben in unserer Analyse kein signifikantes Risiko.

Die Reoperationsrate nach operativer Versorgung nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen (Garden I und Garden II) beträgt 7,8% (8/102), wobei die Hälfte dieser Fälle (3,9%) bereits nach einem Jahr reoperiert wurde.

Sikand et al. ermittelten eine Ein-Jahres-Reoperationsrate von 3,6% nach osteosynthetischer Fixierung nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen (Sikand et al., 2004). In anderen retrospektiven Studien wurden Reoperationsraten nach einem Jahr von 9,3%, 11% und 15,9% festgestellt (Gjertsen et al., 2011; Viberg et al., 2021; Yih-Shiunn et al., 2007). Parker et al. berichteten ohne genaue zeitliche Angabe über eine Rate von 14,5% (Parker et al., 2008). In einer prospektiven randomisierten Studien betrug die Reoperationsrate 20% nach zwei Jahren und in einer weiteren 17,1% nach fünf Jahren (Dolatowski et al., 2019; Lu et al., 2017). In einer Meta-Analyse, die neben diesen beiden Studien von Dolatowski et al. und Lu at al. und der retrospektiven Studie von Sikand et al. noch eine weitere retrospektive Studie miteinschließt, wurde eine durchschnittliche Reoperationsrate von 13,3% errechnet (Richards et al., 2020). Der in den meisten Fällen verwendete retrospektive Studienaufbau, die inhomogene Auswahl bezüglich Alter, Komorbiditäten und Mobilität und unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume

erschweren einen Vergleich zwischen den einzelnen Studien und sind mögliche Erklärungen für die Spannbreite der Ergebnisse.

Die Dislokation der Schenkelhalsfraktur konnte als einziger signifikanter Faktor hinsichtlich der Reoperationsrate ermittelt werden (OR=12,8;  $p<0,0001$ ). 52,2% (12/23) der Fälle mit dislozierten Frakturen wurde reoperiert, wobei nach einem Jahr bereits 36,4% (8/23) der Fälle reoperiert wurden.

Diese Ergebnisse lassen sich mit anderen Studien vergleichen, die nach dislozierten Frakturen Reoperationsraten zwischen 39% und 47% verzeichneten (Blomfeldt et al., 2005; Frihagen et al., 2007; Keating et al., 2005). Während in den genannten Studien der Beobachtungszeitraum bei zwei beziehungsweise vier Jahren lag, hatten Gjertsen et al. nach einem Jahr eine Reoperationsrate von 21% ermittelt. Doch auch in diesem Zeitraum konnte das signifikant höhere Risiko hinsichtlich einer Reoperation bei initialer Dislokation der Fraktur nachgewiesen werden ( $p<0,001$ ) (Gjertsen et al., 2011).

Während in vielen Studien die operative Versorgung ausschließlich mittels Schrauben erfolgte, bezogen wir Schrauben und die DHS ein. Nach Implantation von Schrauben wurden in unserer Studie 15,8% (18/114) und nach Implantation einer DHS 15,4% (2/13) der Fälle reoperiert. Die Verwendung einer DHS führte in anderen Studien zu Reoperationsraten von 2,5% bis 3,6% (Watson et al., 2013; Yih-Shiunn et al., 2007).

Eine Sekundärdislokation war der häufigste Reoperationsgrund. Bei dislozierten Frakturen war diese deutlich häufiger (91,7%; 11/12) Grund für eine Reoperation als bei nicht dislozierten Frakturen (50,0%; 4/8). Frihagen et al. verzeichneten eine Rate von 36% an Sekundärdislokationen bei dislozierten Frakturen (Frihagen et al., 2007). Die Traumatisierung der blutversorgenden Gefäße des Schenkelhalses könnte eine mögliche Erklärung für den deutlichen Unterschied zwischen nicht dislozierten und dislozierten Frakturen sein. Wie bereits 1961 von Garden beschrieben und von diesem als Grundlage für seine Frakturklassifikation verwendet, steigt mit zunehmender Dislokation der Frakturfragmente die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung der Blutgefäße (Garden, 1961). Letztere macht eine suffiziente Heilung unmöglich, was in weiterer Folge zu einer Sekundärdislokation führt. Eine Sekundärdislokation ist dabei der klinische Ausdruck einer ausbleibenden Heilung einer Fraktur, auf die dislozierende Kräfte einwirken.

Zu einer Femurkopfnekrose, als Langzeitkomplikation der Schenkelhalsfraktur, kam es in der Gruppe nicht dislozierter Frakturen in 2,9% (3/102) und in der Gruppe dislozierter Frakturen in 4,3% (1/23) der Fälle. Alle Fälle mit nekrotischem Femurkopf wurden reoperiert. In einer Meta-Analyse trat eine Femurkopfnekrose in 7% der nicht dislozierten Frakturen auf und eine retrospektive Studie verzeichnete eine Rate von 5% bei dislozierten Frakturen (Frihagen et al., 2007; Xu & Xue, 2021). Ein längerer einheitlicher Beobachtungszeitraum von mindestens zwei Jahren würde die Aussagekraft unserer Studie bezüglich Femurkopfnekrose stärken, da letztere erst nach Ausheilung der Fraktur mit einer deutlichen zeitlichen Verzögerung auftreten (Xu et al., 2017).

In der Gruppe mit zwei oder drei Schrauben versorgter kam es in unserer Röntgenbildanalyse bei 44 Fällen (38,6%) im postoperativen Verlauf zu einem Überstand der Schrauben im Bereich der Einbringungsstelle am lateralen proximalen Femur. Dieses Phänomen ist als „telescoping“ bekannt und ist Folge der Sinterung der Fraktur im Rahmen der Heilung. Ein Überstand von bis zu 15 mm gilt dabei als unbedenklich (Haas & Krettek, 2012). In keinem unserer Fälle hatte ein Schraubenüberstand eine therapeutische Konsequenz.

Neben einem Fall mit sekundäre Koxarthrose, die in weiterer Folge zu einer Reoperation führte, konnten in der Röntgenverlaufskontrolle außerdem eine Patientin mit dysplastischem Femurkopf sowie drei Personen mit einer Sekundärdislokation, welche nicht reoperiert wurden, detektiert werden.

In unserer Studie hatten weder die Implantatlage noch die Anzahl der Schrauben Auswirkungen auf die Reoperationsrate. Hinsichtlich der Überlegenheit von zwei oder drei Schrauben liegen kontroverse Studienergebnisse vor. In biomechanischen Versuchen erwies sich die Implantation von drei Schrauben in Form eines auf dem Kopf stehenden Dreiecks als stabilste Möglichkeit der Schraubenpositionierung (Selvan et al., 2004; Walker et al., 2008). Der Vergleich von zwei und drei Schrauben ergab in einer retrospektiven Studie mit einem kleinen Kollektiv von 39 Personen keinen Unterschied bezüglich Versagen der Fixierung (Basile et al., 2012). In einer multizentrischen, randomisierten kontrollierten Studie wurden in einem der drei Zentren nach der Verwendung von drei Schrauben, verglichen mit zwei Schrauben, signifikant weniger Reoperationen durchgeführt. In den beiden anderen Zentren wurde kein Unterschied festgestellt (Alho et al., 1998).

Die Gruppe der unter 75-Jährigen unterschied sich in unserer Studie hinsichtlich der Reoperationsrate nicht von den über 75-Jährigen. Rogmark et al. konnten in einer

retrospektiven Studie zur osteosynthetischen Versorgung nicht dislozierter Schenkelhalsfrakturen zeigen, dass unter 80-Jährige signifikant häufiger als die Älteren der Studienpopulation reoperiert wurden (Rogmark et al., 2009). Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte das erhöhte Mortalitätsrisiko älterer Patientinnen und Patienten darstellen. Diese könnten während des Beobachtungszeitraums (durchschnittlich 32 Monate) häufiger verstorben sein als jüngere Personen, was in einer geringeren Anzahl an Reoperationen resultieren würde. Rogmark et al. zeigten aber auch auf, dass unter 80-Jährige postoperativ signifikant öfter über Schmerz im Bereich der Hüfte klagten (Rogmark et al., 2009).

Ein Drittel (33,6%) unserer Studienpopulation verzeichnete Einbußen der Mobilität. 33,7% (29/86) der präoperativ gehenden, 41,9% (13/31) der eingeschränkt mobilen und 20,0% (1/5) der auf einen Rollstuhl angewiesenen Personen waren von diesen Einbußen betroffen. Da in unserer Studie die Erhebung der Mobilität nicht zu definierten Zeitpunkten erfolgte, kann die Mobilität durch andere Faktoren, wie das fortschreitende Alter, beeinflusst worden sein. Zielführender wären Kontrollen und Erhebungen der Mobilität nach festgelegten Zeitabständen.

Die Mortalitätsrate lag in unserer Studie nach einem Jahr bei 10,8% (12/111) und nach 18 Monaten bei 13,5% (15/111). Andere Studien ergaben nach Versorgung nicht dislozierter Frakturen Sterblichkeitsraten von 19% bis 29% nach einem Jahr (Dolatowski et al., 2019; Parker et al., 2008; Viberg et al., 2021). Ungefähr die Hälfte der Verstorbenen in unserer Studie war  $\geq 85$  Jahre alt (50,0% nach einem Jahr und 46,7% nach 18 Monaten). Ein möglicher Grund für den großen Anteil über 85-Jähriger an den Verstorbenen könnte das Übertreffen der durchschnittlichen Lebenserwartung sein. Eine hohe Mortalitätsrate der ältesten Personen finden sich auch in anderen Studien. In der Studie von Lu et al. waren nach vier Jahren über 50% der über 80-jährigen Patientinnen und Patienten gestorben und Viberg et al. ermittelten eine Mortalitätsrate von 61% nach fünf Jahren in einem Kollektiv über 70-Jähriger (Lu et al., 2017; Viberg et al., 2021).

Bei dislozierten Frakturen ist die prothetische Versorgung der osteosynthetischen deutlich überlegen und wird in verschiedenen Leitlinien als Therapie der Wahl empfohlen (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2021; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015; Norwegian orthopaedic association et al., 2018). Die

Möglichkeit der prothetischen Versorgung nicht dislozierter Frakturen wurde jedoch erst in den vergangenen Jahren näher untersucht. In zwei randomisierten kontrollierten Studien aus Norwegen und China wurde die hemiendoprothetische Therapie mit der osteosynthetischen verglichen. Nach der Versorgung nicht dislozierter Frakturen mit einer Hemiendoprothese wurde in diesen Studien über eine Reoperationsrate von 5% beziehungsweise 5,4% berichtet. Nach osteosynthetischer Versorgung wurden hingegen 20% beziehungsweise 17,1% der Fälle reoperiert. Komplikationen traten nach hemiendoprothetischer Versorgung in 8% beziehungsweise 24,3% auf, während nach osteosynthetischer Versorgung die Komplikationsrate 24% beziehungsweise 43,9% betrug (Dolatowski et al., 2019; Lu et al., 2017). In zwei Meta-Analysen ging die Implantation einer Hemiendoprothese ebenfalls mit signifikant geringeren Komplikations- und Reoperationsraten einher (Richards et al., 2020; Xu & Xue, 2021). Hinsichtlich der Mortalität konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Dolatowski et al., 2019; Richards et al., 2020; Xu & Xue, 2021). Als signifikante Nachteile der prothetischen Versorgung wurden die größere Inzision, die längere Operationsdauer, der größere Blutverlust sowie die längere Spitalsaufenthaltsdauer ermittelt (Dolatowski et al., 2019; Xu & Xue, 2021).

Während in der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie aus dem Jahr 2015 die osteosynthetische Therapie bei nicht dislozierten Frakturen als Therapie der Wahl angeführt wird, werden in den aktuellen norwegischen und amerikanischen Leitlinien (2018 und 2021) sowohl die osteosynthetische als auch die prothetische Versorgung als Therapieoptionen bei nicht dislozierten Frakturen genannt (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2021; Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 2015; Norwegian orthopaedic association et al., 2018). Sollten weitere Studien mit größeren Kollektiven zu ähnlichen Ergebnissen kommen und die Vorteile der Hemiendoprothese gegenüber der Osteosynthese bei der Versorgung nicht dislozierter Frakturen aufzeigen, könnte die Hemiendoprothese häufiger zur Anwendung kommen und in Zukunft der Osteosynthese den Rang ablaufen. Ein Trend in diese Richtung kann bereits im Hüftfrakturregister Norwegens gesehen werden, wobei die diesbezüglichen Ergebnisse lediglich als Grafik veranschaulicht wurden. Während 2011 über 90% aller nicht dislozierten Frakturen osteosynthetisch versorgt wurden, waren es 2018 unter 80%. Eine prothetische Versorgung erfolgte 2011 in ungefähr 5% und 2019 in deutlich über 10% aller Fälle (Furnes et al., 2020).

## 4.1 Limitationen

Bei 17 Fällen mit unvollständiger Dokumentation wurde davon ausgegangen, dass es zu keiner Reoperation kam. Auch wenn fast alle Reoperationen erneut an derselben Klinik durchgeführt wurden, stellt diese Annahme einen Unsicherheitsfaktor dar.

Ein einheitlicher, längerer Beobachtungszeitraum von mindestens zwei Jahren würde zudem genauere Angaben zur Reoperationsrate erlauben. In dieser verlängerten Beobachtungszeit könnte vor allem mit dem vermehrten Auftreten von Femurkopfnekrosen gerechnet werden, da diese häufig mit einem zeitlichen Abstand von mindestens zwei Jahren auftreten (Xu et al., 2017).

In unserer Studie können nur anhand der Komplikations- und Reoperationsraten Aussagen zur Qualität der operativen Versorgung getroffen werden. Um diese jedoch umfassender beurteilen zu können, wäre eine standardisierte Evaluierung von Hüftfunktion, Mobilität und Lebensqualität prä- und postoperativ nützlich. Die Verwendung von etablierten Scores, wie dem Harris-Hip-Score oder dem EQ-5D-3L-Score, würde nicht nur den Vergleich von prä- und postoperativen Ergebnissen, sondern auch mit anderen Studienergebnissen ermöglichen. Die Erhebung der Mobilität sollte zudem zu definierten Zeitpunkten erfolgen, um für bessere Vergleichbarkeit zu sorgen, den Verlauf der Ergebnisse beobachten und Einflussfaktoren wie das Alter besser ausschließen zu können.

Eine weitere Einschränkung in unserer Studie ist die Heterogenität der Implantatwahl was die Vergleichbarkeit mit anderen Studien erschwert.

Außerdem war eine gesonderte Analyse der drei Sonderfälle mit lateraler Schenkelhalsfraktur aufgrund der geringen Anzahl nicht möglich.

## 4.2 Conclusio

Unsere ermittelte Reoperationsrate lässt sich mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen, wobei die Dislokation der Schenkelhalsfraktur signifikant häufiger zu einer Reoperation führte. Abgesehen von der Dislokation zeigten keine Parameter ein erhöhtes Risiko hinsichtlich einer Reoperation. Da die osteosynthetische Versorgung dislozierter Schenkelhalsfrakturen bei über 65-Jährigen zu einer hohen Reoperations- und Komplikationsrate führt, sollten diese Frakturen nicht mittels Osteosynthese, sondern, wie in den Leitlinien empfohlen, prothetisch versorgt werden. Bei nicht dislozierten Frakturen zeigt die Osteosynthese selbst bei den ältesten Patientinnen und Patienten gute Erfolgsraten und stellt eine geeignete Therapieform dar. Jedoch sind weitere Studien notwendig, die den

Stellenwert der osteosynthetischen Therapie bei nicht dislozierten Frakturen untersuchen und den Vor- und Nachteilen der prothetischen Versorgung gegenüberstellen.

## 5 Literaturverzeichnis

- Alho, A., Austdal, S., Benterud, J. G., Blikra, G., Lerud, P., & Raugstad, T. S. (1998). Biases in a randomized comparison of three types of screw fixation in displaced femoral neck fractures. *Acta Orthop Scand*, 69(5), 463-468. <https://doi.org/10.3109/17453679808997779>
- American Academy of Orthopaedic Surgeons. (2021). *Management of Hip Fractures in Older Adults Evidence-Based Clinical Practice Guideline*. <https://www.aaos.org/hipfxcp>
- American Society of Anesthesiologists (ASA). (2020). *ASA Physical Status Classification System*. Retrieved 05.02.2022 from <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system>
- Anderhuber, F., Pera, F., & Streicher, J. (2012). *Waldeyer - Anatomie des Menschen* (Vol. 19). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110228632>
- Aumüller, G., Engele, J., Kirsch, J., & Mense, S. (2014). *Duale Reihe Anatomie* (Vol. 3). Thieme.
- Barnes, R., Brown, J. T., Garden, R. S., & Nicoll, E. A. (1976). Subcapital fractures of the femur. A prospective review. *J Bone Joint Surg Br*, 58(1), 2-24. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.58b1.1270491>
- Basile, R., Pepicelli, G. R., & Takata, E. T. (2012). Osteosynthesis of femoral neck fractures: Two or three screws? *Rev Bras Ortop*, 47(2), 165-168. [https://doi.org/10.1016/s2255-4971\(15\)30081-1](https://doi.org/10.1016/s2255-4971(15)30081-1)
- Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie e.V. (2004). *Weißbuch Osteoporose. Empfehlung zur Diagnostik und Therapie der Osteoporose zur Vermeidung osteoporotischer Folgefrakturen*. [http://www.boneandjointdecade.de/downloads/weissbuch\\_osteoporose.pdf](http://www.boneandjointdecade.de/downloads/weissbuch_osteoporose.pdf)
- Blomfeldt, R., Törnkvist, H., Ponzer, S., Söderqvist, A., & Tidermark, J. (2005). Comparison of internal fixation with total hip replacement for displaced femoral neck fractures. Randomized, controlled trial performed at four years. *J Bone Joint Surg Am*, 87(8), 1680-1688. <https://doi.org/10.2106/jbjs.D.02655>
- Bolam, K. A., van Uffelen, J. G., & Taaffe, D. R. (2013). The effect of physical exercise on bone density in middle-aged and older men: a systematic review. *Osteoporos Int*, 24(11), 2749-2762. <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2346-1>
- Booth, K. C., Donaldson, T. K., & Dai, Q. G. (1998). Femoral neck fracture fixation: a biomechanical study of two cannulated screw placement techniques. *Orthopedics*, 21(11), 1173-1176.
- Bredahl, C., Nyholm, B., Hindsholm, K. B., Mortensen, J. S., & Olesen, A. S. (1992). Mortality after hip fracture: results of operation within 12 h of admission. *Injury*, 23(2), 83-86. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(92\)90037-s](https://doi.org/10.1016/0020-1383(92)90037-s)
- Burgers, P. T., Van Geene, A. R., Van den Bekerom, M. P., Van Lieshout, E. M., Blom, B., Aleem, I. S., Bhandari, M., & Poolman, R. W. (2012). Total hip arthroplasty versus hemiarthroplasty for displaced femoral neck fractures in the healthy elderly: a meta-analysis and systematic review of randomized trials. *Int Orthop*, 36(8), 1549-1560. <https://doi.org/10.1007/s00264-012-1569-7>
- Campbell, A. J., Robertson, M. C., Gardner, M. M., Norton, R. N., Tilyard, M. W., & Buchner, D. M. (1997). Randomised controlled trial of a general practice programme of

- home based exercise to prevent falls in elderly women. *Bmj*, 315(7115), 1065-1069. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7115.1065>
- Chapuy, M. C., Arlot, M. E., Delmas, P. D., & Meunier, P. J. (1994). Effect of calcium and cholecalciferol treatment for three years on hip fractures in elderly women. *Bmj*, 308(6936), 1081-1082. <https://doi.org/10.1136/bmj.308.6936.1081>
- Chapuy, M. C., Arlot, M. E., Duboeuf, F., Brun, J., Crouzet, B., Arnaud, S., Delmas, P. D., & Meunier, P. J. (1992). Vitamin D3 and calcium to prevent hip fractures in elderly women. *N Engl J Med*, 327(23), 1637-1642. <https://doi.org/10.1056/nejm199212033272305>
- Chen, J. Y., She, G. R., Luo, S. M., Wu, W. R., Zhuang, T. F., Huan, S. W., Liu, N., & Zha, Z. G. (2020). Hemiarthroplasty compared with internal fixation for treatment of nondisplaced femoral neck fractures in elderly patients: a retrospective study. *Injury*, 51(4), 1021-1024. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.02.098>
- Cheng, X. G., Nicholson, P. H., Lowet, G., Boonen, S., Sun, Y., Rügsegger, P., Müller, R., & Dequeker, J. (1997). Prevalence of trabecular microcallus formation in the vertebral body and the femoral neck. *Calcif Tissue Int*, 60(5), 479-484. <https://doi.org/10.1007/s002239900266>
- Chiu, F. Y., Lo, W. H., Yu, C. T., Chen, T. H., Chen, C. M., & Huang, C. K. (1996). Percutaneous pinning in undisplaced subcapital femoral neck fractures. *Injury*, 27(1), 53-55. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(95\)00157-3](https://doi.org/10.1016/0020-1383(95)00157-3)
- Cordero-Ampuero, J. (2012). Girdlestone procedure: when and why. *Hip Int*, 22 Suppl 8, S36-39. <https://doi.org/10.5301/hip.2012.9568>
- Cottrell, J. A., Turner, J. C., Arinzeh, T. L., & O'Connor, J. P. (2016). The Biology of Bone and Ligament Healing. *Foot Ankle Clin*, 21(4), 739-761. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2016.07.017>
- Cserháti, P., Kazár, G., Manninger, J., Fekete, K., & Frenyó, S. (1996). Non-operative or operative treatment for undisplaced femoral neck fractures: a comparative study of 122 non-operative and 125 operatively treated cases. *Injury*, 27(8), 583-588. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(96\)00073-3](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(96)00073-3)
- Dachverband Osteologie. (2017). *Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Männern und bei postmenopausalen Fraue.* [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/183-0011\\_S3\\_Osteoporose-Prophylaxe-Diagnostik-Therapie\\_2019-02.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/183-0011_S3_Osteoporose-Prophylaxe-Diagnostik-Therapie_2019-02.pdf)
- Dargent-Molina, P., Favier, F., Grandjean, H., Baudoin, C., Schott, A. M., Hausherr, E., Meunier, P. J., & Bréart, G. (1996). Fall-related factors and risk of hip fracture: the EPIDOS prospective study. *Lancet*, 348(9021), 145-149. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(96\)01440-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(96)01440-7)
- Dawson-Hughes, B., Harris, S. S., Krall, E. A., & Dallal, G. E. (1997). Effect of calcium and vitamin D supplementation on bone density in men and women 65 years of age or older. *N Engl J Med*, 337(10), 670-676. <https://doi.org/10.1056/nejm199709043371003>
- De Laet, C. E., Van Hout, B. A., Burger, H., Weel, A. E., Hofman, A., & Pols, H. A. (1998). Hip fracture prediction in elderly men and women: validation in the Rotterdam study. *J Bone Miner Res*, 13(10), 1587-1593. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.10.1587>
- Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (2015). S2e-Leitlinie „Schenkelhalsfraktur des Erwachsenen“. [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-0011\\_S2e\\_Schenkelhalsfraktur\\_2015-10-abgelaufen.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-0011_S2e_Schenkelhalsfraktur_2015-10-abgelaufen.pdf)
- Dimai, H. P., Svedbom, A., Fahrleitner-Pammer, A., Pieber, T., Resch, H., Zwettler, E., Chandran, M., & Borgström, F. (2011). Epidemiology of hip fractures in Austria: evidence for a change in the secular trend. *Osteoporos Int*, 22(2), 685-692. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1271-9>

- Dolatowski, F. C., Frihagen, F., Bartels, S., Opland, V., Šaltytė Benth, J., Talsnes, O., Hoelsbrekken, S. E., & Utvåg, S. E. (2019). Screw Fixation Versus Hemiarthroplasty for Nondisplaced Femoral Neck Fractures in Elderly Patients: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am*, *101*(2), 136-144. <https://doi.org/10.2106/jbjs.18.00316>
- Donaldson, A. J., Thomson, H. E., Harper, N. J., & Kenny, N. W. (2009). Bone cement implantation syndrome. *BJA: British Journal of Anaesthesia*, *102*(1), 12-22. <https://doi.org/10.1093/bja/aen328>
- Einert, A., Bonnaire, F., Simon, G. H., Kuner, E., & Moser, E. (1996). 3-phase bone scintigraphy: perfusion and vitality of the femur head after media femoral neck fracture and osteosynthesis. *Aktuelle Radiol*, *6*(5), 219-224. (3-Phasen-Skelettszintigraphie: Perfusion und Vitalität des Hüftkopfes nach medialer Schenkelhalsfraktur und Osteosynthese.)
- Encke, A., Haas, S., & Kopp, I. (2016). Prophylaxe der venösen Thromboembolie. *Dtsch Arztebl International*, *113*(31-32), 532-538. <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=180957>
- Florschütz, A. V., Langford, J. R., Haidukewych, G. J., & Koval, K. J. (2015). Femoral neck fractures: current management. *J Orthop Trauma*, *29*(3), 121-129. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000291>
- Freeman, M. A., Todd, R. C., & Pirie, C. J. (1974). The role of fatigue in the pathogenesis of senile femoral neck fractures. *J Bone Joint Surg Br*, *56-b*(4), 698-702. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.56b4.698>
- Frihagen, F., Nordsletten, L., & Madsen, J. E. (2007). Hemiarthroplasty or internal fixation for intracapsular displaced femoral neck fractures: randomised controlled trial. *Bmj*, *335*(7632), 1251-1254. <https://doi.org/10.1136/bmj.39399.456551.25>
- Furnes, O., Gjertsen, J.-E., Fenstad, A., Hallan, G., Visnes, H., Gundersen, T., Kvinnenland, I., Kroken, G., Hole, R., Krukhaug, Y., Furnes, R., Drogset, J., Lygre, S. H., & Dybvik, E. (2020). *Annual report 2020 Norwegian National Advisory Unit on Arthroplasty and Hip Fractures Norwegian Arthroplasty Register Norwegian Cruciate Ligament Register Norwegian Hip Fracture Register Norwegian Paediatric Hip Register*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18876.46727>
- Garden, R. S. (1961). Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, *43-B*(4), 647-663. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.43B4.647>
- Gardner, A. W., Toh, M. Z., Yew, K. S., Lie, D. T., & Chou, S. M. (2015). Cannulated versus non-cannulated cancellous screw fixation for femoral neck fractures: a synthetic bone biomechanical study. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, *23*(1), 41-46. <https://doi.org/10.1177/230949901502300110>
- Gerritsen, M., Khawar, A., Scheper, H., van der Wal, R., Schoones, J., de Boer, M., Nelissen, R., & Pijls, B. (2021). Modular component exchange and outcome of DAIR for hip and knee periprosthetic joint infection : a systematic review and meta-regression analysis. *Bone & joint open*, *2*(10), 806-812. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.210.BJO-2021-0090.R1>
- Gierer, P., & Mittlmeier, T. (2015). Femoral neck fracture. *Unfallchirurg*, *118*(3), 259-269; quiz 270. <https://doi.org/10.1007/s00113-014-2729-6> (Schenkelhalsfraktur.)
- Gillespie, W. J., & Walenkamp, G. (2001). Antibiotic prophylaxis for surgery for proximal femoral and other closed long bone fractures. *Cochrane Database Syst Rev*(1), Cd000244. <https://doi.org/10.1002/14651858.Cd000244>

- Gjertsen, J.-E., Fevang, J. M., Matre, K., Vinje, T., & Engesaeter, L. B. (2011). Clinical outcome after undisplaced femoral neck fractures. *Acta orthopaedica*, 82(3), 268-274. <https://doi.org/10.3109/17453674.2011.588857>
- Grifka, J., & Krämer, J. (2013). *Orthopädie Unfallchirurgie* (9 ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28875-3>
- Grisso, J. A., Kelsey, J. L., O'Brien, L. A., Miles, C. G., Sidney, S., Maislin, G., LaPann, K., Moritz, D., & Peters, B. (1997). Risk factors for hip fracture in men. Hip Fracture Study Group. *Am J Epidemiol*, 145(9), 786-793. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009171>
- Haas, N. P., & Krettek, C. (2012). *Tscherne Unfallchirurgie Hüfte und Oberschenkel*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68741-2>
- Haramati, N., Staron, R. B., Barax, C., & Feldman, F. (1994). Magnetic resonance imaging of occult fractures of the proximal femur. *Skeletal Radiol*, 23(1), 19-22. <https://doi.org/10.1007/bf00203696>
- Icks, A., Arend, W., Becker, C., Rapp, K., Jungbluth, P., & Haastert, B. (2013). Incidence of hip fractures in Germany, 1995-2010. *Arch Osteoporos*, 8, 140. <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0140-5>
- Imam, M. A., Shehata, M., Abdallah, A. R., Ahmed, H., Kader, N., Ernstbrunner, L., Narvani, A. A., Kambouroglou, G., McNamara, I., & Sallam, A. A. (2019). Unipolar versus bipolar hemiarthroplasty for displaced femoral neck fractures: A pooled analysis of 30,250 participants data. *Injury*, 50(10), 1694-1708. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.06.004>
- Kalhor, M., Beck, M., Huff, T. W., & Ganz, R. (2009). Capsular and pericapsular contributions to acetabular and femoral head perfusion. *J Bone Joint Surg Am*, 91(2), 409-418. <https://doi.org/10.2106/jbjs.G.01679>
- Kalhor, M., Horowitz, K., Gharehdaghi, J., Beck, M., & Ganz, R. (2012). Anatomic variations in femoral head circulation. *Hip Int*, 22(3), 307-312. <https://doi.org/10.5301/hip.2012.9242>
- Kanis, J. A., McCloskey, E. V., Johansson, H., Oden, A., Melton, L. J., & Khaltsev, N. (2008). A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone*, 42(3), 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.11.001>
- Kannus, P., Parkkari, J., Sievänen, H., Heinonen, A., Vuori, I., & Järvinen, M. (1996). Epidemiology of hip fractures. *Bone*, 18(1 Suppl), 57s-63s. [https://doi.org/10.1016/8756-3282\(95\)00381-9](https://doi.org/10.1016/8756-3282(95)00381-9)
- Keating, J. F., Grant, A., Masson, M., Scott, N. W., & Forbes, J. F. (2005). Displaced intracapsular hip fractures in fit, older people: a randomised comparison of reduction and fixation, bipolar hemiarthroplasty and total hip arthroplasty. *Health Technol Assess*, 9(41), iii-iv, ix-x, 1-65. <https://doi.org/10.3310/hta9410>
- King, M. B., & Tinetti, M. E. (1995). Falls in community-dwelling older persons. *J Am Geriatr Soc*, 43(10), 1146-1154. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb07017.x>
- Klotzbuecher, C. M., Ross, P. D., Landsman, P. B., Abbott III, T. A., & Berger, M. (2000). Patients with Prior Fractures Have an Increased Risk of Future Fractures: A Summary of the Literature and Statistical Synthesis [<https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.4.721>]. *Journal of Bone and Mineral Research*, 15(4), 721-739. <https://doi.org/https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.4.721>
- Konishiike, T., Makihata, E., Tago, H., Sato, T., & Inoue, H. (1998). Acute fracture of the neck of the femur. An assessment of perfusion of the head by dynamic MRI. *J Bone Joint Surg*, 81, 596-599.

- Leggon, R., Lindsey, R. W., Doherty, B. J., Alexander, J., & Noble, P. (1993). The holding strength of cannulated screws compared with solid core screws in cortical and cancellous bone. *J Orthop Trauma*, 7(5), 450-457. <https://doi.org/10.1097/00005131-199310000-00008>
- Lu, Q., Tang, G., Zhao, X., Guo, S., Cai, B., & Li, Q. (2017). Hemiarthroplasty versus internal fixation in super-aged patients with undisplaced femoral neck fractures: a 5-year follow-up of randomized controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg*, 137(1), 27-35. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2591-9>
- Majidinia, M., Sadeghpour, A., & Yousefi, B. (2018). The roles of signaling pathways in bone repair and regeneration. *J Cell Physiol*, 233(4), 2937-2948. <https://doi.org/10.1002/jcp.26042>
- Manninger, J., Kazar, G., Fekete, G., Fekete, K., Frenyo, S., Gyarfás, F., Salacz, T., & Varga, A. (1989). Significance of urgent (within 6h) internal fixation in the management of fractures of the neck of the femur. *Injury*, 20(2), 101-105. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(89\)90152-6](https://doi.org/10.1016/0020-1383(89)90152-6)
- McInnes, E., Jammali-Blasi, A., Bell-Syer, S. E., Dumville, J. C., & Cullum, N. (2011). Support surfaces for pressure ulcer prevention. *Cochrane Database Syst Rev*(4), Cd001735. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001735.pub4>
- Minne, H. W., Pfeifer, M., Wittenberg, R., & Würtz, R. (2001). Schenkelhalsfrakturen in Deutschland: Prävention, Therapie, Inzidenz und sozioökonomische Bedeutung. *Dtsch Arztebl International*, 98(26), A-1751. <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=27865>
- Mountziaris, P. M., & Mikos, A. G. (2008). Modulation of the inflammatory response for enhanced bone tissue regeneration. *Tissue Eng Part B Rev*, 14(2), 179-186. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2008.0038>
- Müller, M. E., Nazarian, S., Koch, P., & Schatzker, J. (1990). *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones* (1 ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61261-9>
- Nguyen, T., Sambrook, P., Kelly, P., Jones, G., Lord, S., Freund, J., & Eisman, J. (1993). Prediction of osteoporotic fractures by postural instability and bone density. *Bmj*, 307(6912), 1111-1115. <https://doi.org/10.1136/bmj.307.6912.1111>
- Norton, R., Galgali, G., Campbell, A. J., Reid, I. R., Robinson, E., Butler, M., & Gray, H. (2001). Is physical activity protective against hip fracture in frail older people? *Age Ageing*, 30(3), 262-264. <https://doi.org/10.1093/ageing/30.3.262>
- Norwegian orthopaedic association, Norwegian geriatric Society, & Norwegian Anaesthesiological Society. (2018). *Norwegian guidelines for interdisciplinary care of hip fractures*. <https://www.legeforeningen.no/contentassets/7f4bec178c34464489d83240608fb9ee/norske-retningslinjer-for-tverrfaglig-behandling-av-hoftebrudd.pdf>
- Nyberg, L., Gustafson, Y., Berggren, D., Brännström, B., & Bucht, G. (1996). Falls leading to femoral neck fractures in lucid older people. *J Am Geriatr Soc*, 44(2), 156-160. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1996.tb02432.x>
- Parker, M. J., & Blundell, C. (1998). Choice of implant for internal fixation of femoral neck fractures. Meta-analysis of 25 randomised trials including 4,925 patients. *Acta Orthop Scand*, 69(2), 138-143. <https://doi.org/10.3109/17453679809117614>
- Parker, M. J., White, A., & Boyle, A. (2008). Fixation versus hemiarthroplasty for undisplaced intracapsular hip fractures. *Injury*, 39(7), 791-795. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.01.011>

- Pauwels, F. (1973). *Atlas zur Biomechanik der gesunden und der kranken Hüfte. Prinzipien, Technik und Resultate einer kausalen Therapie*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-65490-9>
- Platzer, W. (2013). *Taschenatlas Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat* (Vol. 11). Thieme. <https://m.thieme.de/viamedici/anatomie-26989/a/taschenatlas-anatomie-bewegungsapparat-27944.htm>
- Pochobradsky, E., Neruda, T., & Nemeth, C. (2017). *Prozesshandbuch Akutgeriatrie/Remobilisation* (Vol. 2)
- Raaymakers, E. L. (2002). The non-operative treatment of impacted femoral neck fractures. *Injury*, 33 Suppl 3, C8-14. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(02\)00325-x](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(02)00325-x)
- Raaymakers, E. L. (2006). Fractures of the femoral neck: a review and personal statement. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 73(1), 45-59.
- Raaymakers, E. L., & Marti, R. K. (1991). Non-operative treatment of impacted femoral neck fractures. A prospective study of 170 cases. *J Bone Joint Surg Br*, 73(6), 950-954. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.73b6.1955443>
- Richards, J. T., Overmann, A. L., O'Hara, N. N., D'Alleyrand, J. C., & Slobogean, G. P. (2020). Internal Fixation Versus Arthroplasty for the Treatment of Nondisplaced Femoral Neck Fractures in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Orthop Trauma*, 34(1), 42-48. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001656>
- Rogmark, C., Flensburg, L., & Fredin, H. (2009). Undisplaced femoral neck fractures--no problems? A consecutive study of 224 patients treated with internal fixation. *Injury*, 40(3), 274-276. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.05.023>
- Rubenstein, L. Z., & Josephson, K. R. (2002). The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med*, 18(2), 141-158. [https://doi.org/10.1016/s0749-0690\(02\)00002-2](https://doi.org/10.1016/s0749-0690(02)00002-2)
- Rupp, M., Walter, N., Pfeifer, C., Lang, S., Kerschbaum, M., Krutsch, W., Baumann, F., & Alt, V. (2021). The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany – and Analysis From 2009 through 2019. *Dtsch Arztebl Int*(Forthcoming). <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0238>
- Ryder, S. A., Reynolds, F., & Bannister, G. C. (2001). Refining the indications for surgery after proximal femoral fracture. *Injury*, 32(4), 295-297. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(00\)00173-x](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(00)00173-x)
- Scheidt-Nave, C., Banzer, D., & Abendroth, K. (1997). Schlussbericht Multizentrische Studie zu Verteilung, Determination und prädiktivem Wert der Knochendichte in der deutschen Bevölkerung. Förderprojekt des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Förderkennzeichen 01KM 9304/0. In (pp. 1-45).
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2018). *Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* (Vol. 5). Thieme. <https://m.thieme.de/viamedici/anatomie-26989/a/prometheus-allgemeine-anatomie-und-bewegungssystem-27050.htm>
- Schweigkofler, U., Hofmann, T., & Hoffmann, R. (2008). Oberschenkelhalsfrakturen. *Z Orthop Unfall*, 146(01), 117-136. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989433>
- Seeley, M. A., Georgiadis, A. G., & Sankar, W. N. (2016). Hip Vascularity: A Review of the Anatomy and Clinical Implications. *J Am Acad Orthop Surg*, 24(8), 515-526. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-15-00237>
- Selvan, V. T., Oakley, M. J., Rangan, A., & Al-Lami, M. K. (2004). Optimum configuration of cannulated hip screws for the fixation of intracapsular hip fractures: a biomechanical study. *Injury*, 35(2), 136-141. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(03\)00059-7](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(03)00059-7)
- Sendtner, E., Renkawitz, T., Kramny, P., Wenzl, M., & Grifka, J. (2010). Schenkelhalsfraktur - Osteosynthese versus Endoprothese. *Dtsch Arztebl International*, 107(23), 401-407. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0401>

- Shuqiang, M., Kunzheng, W., Zhichao, T., Mingyu, Z., & Wei, W. (2006). Outcome of non-operative management in Garden I femoral neck fractures. *Injury*, 37(10), 974-978. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.04.136>
- Sikand, M., Wenn, R., & Moran, C. G. (2004). Mortality following surgery for undisplaced intracapsular hip fractures. *Injury*, 35(10), 1015-1019. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.01.004>
- Sochart, D. H. (1998). Poor results following internal fixation of displaced subcapital femoral fractures: complacency in fracture reduction. *Arch Orthop Trauma Surg*, 117(6-7), 379-382. <https://doi.org/10.1007/s004020050271>
- Statistik Austria. (2021). *Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Österreich 2020-2100 laut Hauptszenario*. [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/bevoelkerungsprognosen/027308.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/027308.html)
- Stiris, M. G., & Lilleås, F. G. (1997). MR findings in cases of suspected impacted fracture of the femoral neck. *Acta Radiol*, 38(5), 863-866. <https://doi.org/10.1080/02841859709172425>
- Taha, M. E., Audigé, L., Siegel, G., & Renner, N. (2015). Factors predicting secondary displacement after non-operative treatment of undisplaced femoral neck fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*, 135(2), 243-249. <https://doi.org/10.1007/s00402-014-2139-9>
- Thomsen, N. O. B., Jensen, C. M., Skovgaard, N., Pedersen, M. S., Pallesen, P., Soe-Nielsen, N. H., & Rosenklint, A. (1996). Observer variation in the radiographic classification of fractures of the neck of the femur using Garden's system. *International Orthopaedics*, 20(5), 326-329. <https://doi.org/10.1007/s002640050087>
- Tscherne, H. (1996). Pseudarthrosen. *Der Orthopäde*, 25, 1. <https://doi.org/10.1007/s001320050038>
- Uusi-Rasi, K., Patil, R., Karinkanta, S., Kannus, P., Tokola, K., Lamberg-Allardt, C., & Sievänen, H. (2015). Exercise and vitamin D in fall prevention among older women: a randomized clinical trial. *JAMA Intern Med*, 175(5), 703-711. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.0225>
- Veldman, H. D., Heyligers, I. C., Grimm, B., & Boymans, T. A. (2017). Cemented versus cementless hemiarthroplasty for a displaced fracture of the femoral neck: a systematic review and meta-analysis of current generation hip stems. *Bone Joint J*, 99-b(4), 421-431. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.99b4.Bjj-2016-0758.R1>
- Viberg, B., Frøslev, T., Overgaard, S., & Pedersen, A. B. (2021). Mortality and revision risk after femoral neck fracture: comparison of internal fixation for undisplaced fracture with arthroplasty for displaced fracture: a population-based study from Danish National Registries. *Acta Orthop*, 92(2), 163-169. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1850940>
- Walker, E., Mukherjee, D., Ogden, A., Sadasivan, K., & Albright, J. (2008). A biomechanical study of simulated femoral neck fracture fixation by cannulated screws: Effects of placement angle and number of screws. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, 36, 680-684.
- Watson, A., Zhang, Y., Beattie, S., & Page, R. S. (2013). Prospective randomized controlled trial comparing dynamic hip screw and screw fixation for undisplaced subcapital hip fractures. *ANZ J Surg*, 83(9), 679-683. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.2012.06256.x>
- Widhalm, H. K., Arnhold, R., Beiglböck, H., Munteanu, A., Lang, N. W., & Hajdu, S. (2019). A Comparison of Dynamic Hip Screw and Two Cannulated Screws in the Treatment of Undisplaced Intracapsular Neck Fractures-Two-Year Follow-Up of 453 Patients. *Journal of clinical medicine*, 8(10), 1670. <https://doi.org/10.3390/jcm8101670>

- Xu, D. F., Bi, F. G., Ma, C. Y., Wen, Z. F., & Cai, X. Z. (2017). 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. *J Orthop Surg Res*, *12*(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0528-9>
- Xu, W. N., & Xue, Q. Y. (2021). Long-Term Efficacy of Screw Fixation vs Hemiarthroplasty for Undisplaced Femoral Neck Fracture in Patients over 65 Years of Age: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Orthop Surg*, *13*(1), 3-13. <https://doi.org/10.1111/os.12910>
- Yih-Shiunn, L., Chien-Rae, H., & Wen-Yun, L. (2007). Surgical treatment of undisplaced femoral neck fractures in the elderly. *International Orthopaedics*, *31*(5), 677-682. <https://doi.org/10.1007/s00264-006-0243-3>