

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU)
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Luxationen von Duokopfprothesen nach der operativen Versorgung von
Schenkelhalsfrakturen bei geriatrischen Patienten

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Céline Stahn
aus Mainz

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

Tag der Promotion: 18. Dezember 2025

Nachnutzungslizenz: CC-BY-ND-4.0

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
1 Einleitung.....	1
1.1 Anatomie des proximalen Femurs.....	3
1.2 Biomechanik des Femurs.....	6
1.3 Frakturen und Klassifikationen	10
1.4 Ätiologie.....	12
1.5 Klinik und Diagnostik	13
1.6 Therapie.....	14
1.7 Bipolare Hemiendoprothese.....	21
1.7.1 Ablauf der Operation	23
1.7.2 Nachsorge	27
1.7.3 Komplikationen.....	28
1.7.4 Luxationen	30
1.8 Fragestellung	31
1.9. Literaturdiskussion: Faktoren Prothesenluxation.....	31
2 Material und Methoden	34
2.1 Datenerhebung.....	34
2.2 Versorgung der Patienten.....	37
2.3 Datenauswertung	38
3 Ergebnisse.....	39
3.1 Beschreibung des Patientenkollektivs	39
3.2 Statistische Ergebnisse – Vergleich Gesamtkollektiv.....	39
3.2.1 Alter	39
3.2.2 Geschlecht	40
3.2.3 Neurologische Vorerkrankungen	41
3.2.4 Zeitlicher Abstand zwischen Diagnose und Operation	42
3.2.5. Operationsdauer.....	43
3.2.6 Zeitpunkt der Operation	44
3.2.7 Center-Edge Winkel	45
3.2.8 Übersicht Gesamtkollektiv.....	46
3.3 Vorhersagemodell	47
3.4 Statistische Ergebnisse – Nested Case-Control Subanalyse.....	52
3.4.1 Operativer Zugangsweg	52
3.4.2 Center-Edge Winkel	53
3.4.3 FNSA.....	53

3.4.4 Offset ipsilateral	54
3.4.5 Offset kontralateral	55
3.4.6 RFN	56
3.4.7 LLD	57
3.4.8 BHEI	57
3.4.9 FHEI	58
3.4.10 Zusammenfassung der Ergebnisse	59
4 Diskussion	60
4.1 Material und Methoden	60
4.2 Ergebnisse.....	63
4.3 Fazit und Konsequenzen.....	68
5 Zusammenfassung.....	71
6 Literaturverzeichnis:	74
7 Anhang.....	82
7.1 Abbildungsverzeichnis	82
7.2 Tabellenverzeichnis	83
8 Lebenslauf.....	84

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anterior-posterior (Strahlengang der Röntgenaufnahme)
A., Aa.	Arteria, Arteriae
BHEI	bipolar head extrusion index
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CEA	center-edge angle
CCD-Winkel	Centrum-Collum-Diaphysenwinkel
cm	Zentimeter
CT	Computer-Tomografie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
DHS	Dynamische Hüftschraube
et al.	et alii
etc.	et cetera
FHEI	femoral head extrusion index
FNSA	femoral neck-shaft angle
FOi	femorales Offset ipsilateral
FOk	femorales Offset kontralateral
ggf.	gegebenenfalls
HEP	Hemiendoprothese
IQR	Interquartilrange
Lig., Ligg.	Ligamentum, Ligamenta
LLD	leg length discrepancy
MRT	Magnetresonanztomographie
N., Nn.	Nervus, Nervi
RFN	residual femoral neck length
ROC	receiver operating characteristics
SD	Standardabweichung

Tab.	Tabelle
TEP	Totalendoprothese
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
ZOU	Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie

1 Einleitung

Seit Jahren ist, mit Ausnahme der Phase der COVID-19-Pandemie, ein kontinuierlicher Anstieg der Lebenserwartung der Weltbevölkerung zu beobachten. Betrachtet man den demographischen Wandel in Deutschland, ist auch in den nächsten Jahrzehnten mit einer fortschreitend alternden Gesellschaft zu rechnen (siehe Abb. 1). Das Altern gegenwärtiger mittlerer, geburtenstarker Jahrgänge in Kombination mit einer verminderten Geburtenrate bedingt diese Veränderung. Schätzungen zufolge wird im Jahr 2060 jeder dritte deutsche Bürger über 65 Jahre alt sein (1).

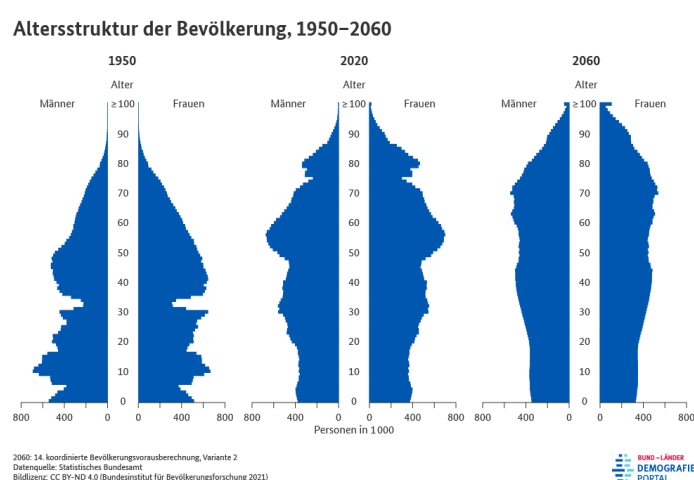


Abbildung 1 Altersstruktur der deutschen Bevölkerung 1950-2060 (99)

Die Umverteilung der Bevölkerungspyramide birgt eine steigende Prävalenz für Erkrankungen des Alters. In diesem Kontext sind vor allem die hüftgelenksnahen Frakturen zu erwähnen (2). Zu den hüftgelenksnahen Frakturen zählen mit einer Prävalenz von 135.000 pro Jahr die Schenkelhalsfrakturen (3). Bei den über 65-Jährigen beträgt die Inzidenz 600-900/100.000 Einwohnern pro Jahr. Da eine Zunahme der Inzidenz bis auf das fünffache im Jahr 2050 erwartet wird, gewinnt deren Versorgung immer mehr an Bedeutung (4, 5). Das Durchschnittsalter der betroffenen Patienten liegt bei 80 Jahren. Weniger als 5% der Frakturen betreffen Patienten unter 60 Jahren (6). Dies lässt sich durch zahlreiche Risikofaktoren im Alter erklären. Dazu zählen unter anderem Komorbiditäten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, neurologische Erkrankungen, eine veränderte Knochenstruktur, sowie ein erhöhtes Sturzrisiko.

Außer dem daraus resultierenden Anspruch an die medizinische Versorgung, werden auch gesundheitsökonomische und gesundheitspolitische Probleme zu erwarten sein (4). Summiert man die direkten Kosten für die stationäre Versorgung, ergeben sich im Durchschnitt Kosten von ca. 20.000€ pro Patient mit der Diagnose „Schenkelhalsfraktur“ (7). Darin sind jedoch nicht die indirekten Kosten der Pflegebedürftigkeit eingeschlossen. Jährlich müssen somit Kosten von 2-4 Milliarden Euro von dem Gesundheitssystem getragen werden (3, 7).

Die Therapie der hüftgelenksnahen Frakturen beinhaltet verschiedene Versorgungsformen. Da ein konservativer Therapieversuch nur in wenigen Fällen erfolgreich ist, wird die Schenkelhalsfraktur meist mittels Osteosynthese oder Endoprothetik versorgt. Die jeweilige Versorgungsmethode muss streng nach Indikation und von Patient zu Patient unter Berücksichtigung entscheidender Faktoren ausgewählt werden. Ziel der meist operativen Therapie ist es, eine schnellstmöglich belastungsstabile Versorgung zu erreichen, mit der die Patienten ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau erlangen können (8). In Hinblick darauf hat sich die Versorgung mittels einer bipolaren Teilendoprothese, der sogenannten „Duokopfprothese“ etabliert. Diese Versorgungsform zeigt in zahlreichen Studien bei kurzer Operationszeit gute Ergebnisse, besonders für Menschen mit einer eingeschränkten Lebenserwartung und einem eher geringen Aktivitätsniveau und gilt bei diesem Patientengut daher als Goldstandard. Trotzdem kann es zu Komplikationen kommen. Ein Zusammenspiel aus operationsspezifischen, sowie unspezifischen Komplikationen (frakturbedingt oder durch Komorbiditäten) bewirkt eine relativ hohe Mortalität. 20-30% der Patienten mit Schenkelhalsfraktur versterben innerhalb des ersten Jahres nach Operation (3, 4, 9). Daher sollten Risikofaktoren schon vor der Behandlung detektiert und Komplikationen minimiert werden. Zu diesen Komplikationen zählt die Prothesenluxation, die nach Versorgung mittels Endoprothese auftreten kann. Die Luxationsrate wird bei bipolaren Hemiprothesen als gering angegeben (0-15%), verzögert aber das Erreichen einer belastungsstabilen Situation und somit den Heilungsprozess (10). Kommt es zu einem Luxationsereignis, muss der Hüft- bzw. Prothesenkopf reponiert werden. Die Reposition der Prothese stellt geschlossen sowie offen ein relevantes Risiko dar und führt sekundär häufig zu einem verlängerten Klinikaufenthalt. Besonders für ältere Patienten birgt das eine hohe Belastung für den oft schon multimorbiden Organismus. Um dieses Risiko zu umgehen ist es entscheidend, schon vor der Therapie die Faktoren zu kennen, die eine Prothesenluxation begünstigen.

Diese Risikofaktoren sollen im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit untersucht und bewertet werden, um die Komplikation der „Duokopf“-Luxation erfolgreich verhindern zu können.

1.1 Anatomie des proximalen Femurs

Im Folgenden sollen diejenigen anatomischen Strukturen beschrieben werden, die für die Fragestellung dieser Arbeit relevant sind. Im menschlichen Hüftgelenk (*Articulatio coxae*) artikulieren Hüftpfanne (*Acetabulum*) und Femurkopf (*Caput femoris*). Der annähernd kugelförmige Gelenkkopf wird weitgehend von der Pfanne umschlossen und bildet ein sogenanntes „Nussgelenk“ (*Enarthrosis*). Dieses stellt eine besondere Form des Kugelgelenks da. Im Bereich des *Acetabulum* treffen die knöchernen Anteile des *Os coxae* aufeinander. Dabei beteiligen sich *Os ilium* und *Os ischii* zu jeweils zwei Fünfteln und *Os pubis* zu einem Fünftel in Form einer Y-förmigen Wachstumsfuge am Aufbau. Die Gelenkfläche des *Acetabulum* wird halbmondförmig von der *Facies lunata* überknorpelt. Diese grenzt an den überhöhten knöchernen Rand der Pfanne (*Limbus acetabuli*). Dem *Limbus* lagert sich die Gelenkklippe (*Labrum acetabuli*) auf, die aus Faserknorpel und straffem Bindegewebe besteht. Der von Knorpel ausgesparte Bereich, die *Fossa acetabuli*, ist mit lockerem, fettreichem Bindegewebe ausgefüllt und wird nach distal durch das *Ligamentum transversum acetabuli* begrenzt. Indem das Ligament die *Incisura acetabuli* überspannt, vervollständigt es die *Facies lunata* zu einer Halbkugel. Aus der *Fossa acetabuli* zieht das *Lig. capitis femoris* zur *Fovea capitis femoris* des Femurkopfs. Es enthält die *Arteria capitis femoris*, die vor allem in der Wachstumsphase an der Blutversorgung des *Caput femoris* beteiligt ist. Entscheidend für eine ausreichende Blutversorgung des proximalen Femurs sind jedoch die Äste der *Aa. circumflexa femoris mediales et laterales*, die den Schenkelhals von posterior und anterior umschließen und ein Gefäßnetz in der *Fossa trochanterica* bilden (siehe Abb. 2).

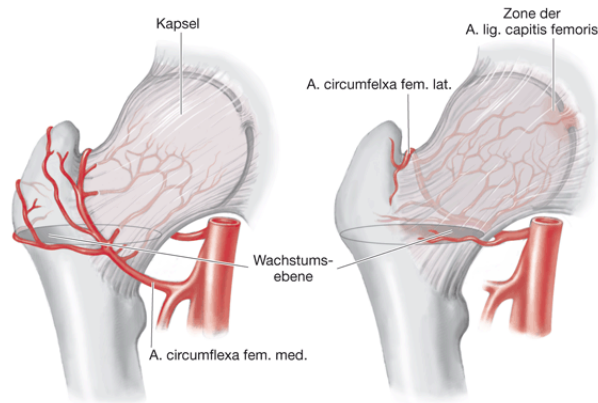


Abbildung 2 Arterielle Versorgung des Caput femoris (100)

Der proximale Teil des Femurs ist über einen stabilen Bandapparat mit dem Os coxae verbunden. Die drei massiven Bänder Lig. iliofemorale (Bertini-Band), Lig. ischiofemorale und das Lig. pubofemorale stabilisieren dabei die straffe Gelenkkapsel des Hüftgelenks. Die Gelenkkapsel entspringt am Limbus acetabuli, sowie am Lig. transversum acetabuli und inseriert an der Linea intertrochanterica. Weitere wichtige Strukturen des proximalen Femurs sind neben Caput und Collum auch Trochanter major und Trochanter minor, die Ansätze für Sehnen und Bänder darstellen. Nach distal folgt das Corpus femoris, sowie eine mediale und laterale Femurkondyle, die mit den Gelenkflächen der Tibia artikulieren und somit das Kniegelenk (Art. genus) bilden. Um die ausgeprägte Beweglichkeit und Stabilität des Hüftgelenks zu gewährleisten, bedarf es einer Vielzahl an Muskeln unterschiedlicher Funktion und Zugrichtung. Der M. iliopsoas zählt zu der sogenannten inneren Hüftmuskulatur und setzt sich aus M. psoas major und minor, sowie M. iliacus zusammen. Erstgenannter entspringt an der unteren Brust- sowie oberen Lendenwirbelsäule. Der M. iliacus entspringt an der Fossa iliaca des Os ilium und inseriert gemeinsam mit dem M. psoas am Trochanter minor. Dadurch erfolgt bei Kontraktion eine Beugung des Hüftgelenks. Zur äußeren Hüftmuskulatur zählen M. gluteus maximus, medius und minimus, sowie M. tensor fasciae latae. Der M. gluteus maximus findet seinen Ursprung an den dorsalen Anteilen des Kreuzbeins (Os sacrum) und Darmbeins (Os ilium) und seinen Ansatz am Tractus iliotibialis und Tuberositas glutea. In seiner Gesamtheit sichert er neben der Stabilität, die Extension und Außenrotation im Hüftgelenk. Außerdem erfolgen durch die kranialen Fasern eine Abduktions- und durch die kaudalen Fasern eine Adduktionsbewegung. M. gluteus medius und minimus entspringen beide an der

Facies glutea des Os ilium und inserieren am Trochanter major. Gemeinsam bewirkt ihr vorderer Teil eine Flexion und ihr hinterer Anteil eine Extension und Außenrotation im Hüftgelenk. Neben dem M. gluteus maximus, findet auch der M. tensor fasciae latae seinen Ansatz im Tractus iliotibiales. Sein Ursprung befindet sich an der Spina iliaca anterior superior des Os ilium. Dadurch spannt er die Fascia lata und führt zu einer Abduktion, Flexion und Innenrotation. Weiter in der Tiefe liegende Muskulatur mit Ansatz im Bereich des Trochanter major sind: M. piriformis, M. obturatorius internus, Mm. gemelli und der M. quadratus femoris. Diese beteiligen sich ebenfalls in verschiedenen Weisen an der Bewegung des Hüftgelenks, sollen jedoch aufgrund der Relevanz für die Fragestellung dieser Arbeit nicht näher beschrieben werden. Dies betrifft auch die sogenannte Adduktorengruppe, deren Muskeln jeweils eine Adduktionsbewegung, sowie weitere Funktionen übernehmen. Ein weiterer Muskel soll auf Grund seiner Relevanz für den operativen Zugang erwähnt werden: der M. vastus lateralis. Er zählt zu den Extensoren des Oberschenkels und entspringt an der lateralen Fläche des Trochanter major. Gemeinsam mit M. vastus intermedius und medialis, sowie dem M. rectus femoris, bildet er den M. quadriceps femoris. Die einzelnen Muskeln finden einen gemeinsamen Ansatz über das Lig. patellae an der Tuberositas tibiae. (11)

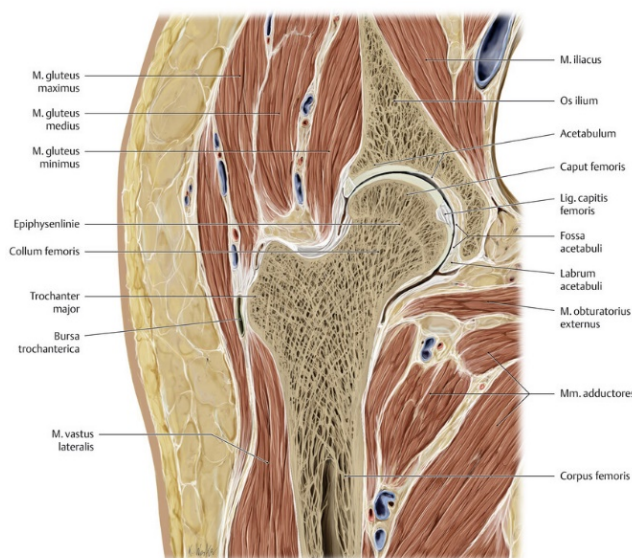


Abbildung 3 Frontalschnitt durch ein rechtes Hüftgelenk (11)

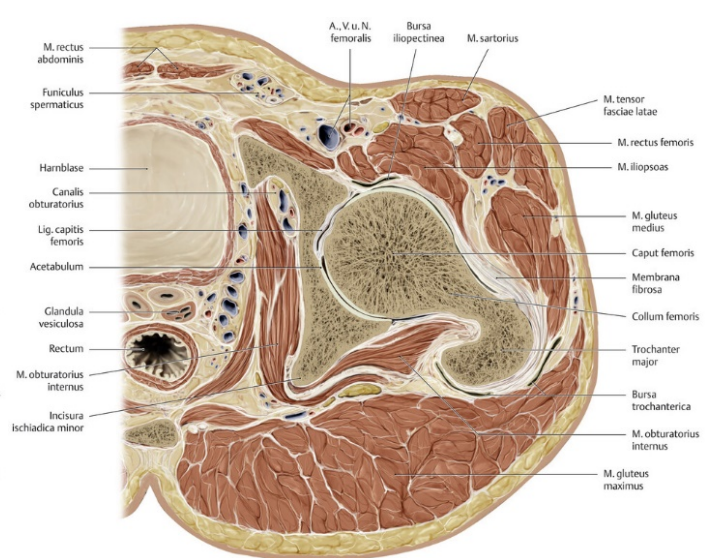


Abbildung 4 Horizontalschnitt durch ein linkes Hüftgelenk (11)

Der Winkel zwischen der Schenkelhalsachse und der Achse des Femurs wird als Centrum-Collum-Diaphysenwinkel (CCD-Winkel) bezeichnet. Während er beim Neugeborenen 140° beträgt, nimmt er mit dem Alter stetig ab. Bei einem erwachsenen Menschen sollte er zwischen 126° - 139° liegen. Übersteigt der Winkel 140° , so liegt eine Valgusstellung im Hüftgelenk vor (Coxa valga). Ein Winkel unter 125° wird dagegen als Coxa vara bezeichnet. Betrachtet man die Schenkelhalsachse (Kollumachse) und Kondylenachse von kranial und misst den Winkel zwischen diesen beiden Achsen, erhält man den so genannten Antetorsionswinkel. Er beträgt beim Erwachsenen ca. 12° . Weicht dieser Winkel ab, resultiert ein Rotationsfehler, der unter anderem ein verändertes Gangbild zur Folge hat. (12)

1.2 Biomechanik des Femurs

Das Hüftgelenk hat die biomechanische Funktion, Bewegungen zwischen Becken und Femur zu erlauben und gleichzeitig auftretende Kräfte zwischen beiden Knochen zu übertragen (13). Diese Beanspruchung und Beweglichkeit werden durch anatomische Gegebenheiten gewährleistet. Da das Hüftgelenk in seiner Funktion als Kugelgelenk angesehen werden kann, sind Bewegungen in allen drei Ebenen möglich: in der Sagittalebene Flexion und Extension, in der Frontalebene Abduktion und Adduktion sowie Außenrotation und Innenrotation in der Transversalebene. Beim gesunden Menschen dürfen folgende Werte der Hüftgelenksbeweglichkeit erwartet werden (14):

Flexion/Extension 130 - 0 - 15°

Außenrotation/Innenrotation 35 - 0 - 25°

Abduktion/Adduktion 30 - 0 - 15°

Um die biomechanischen Prinzipien des Hüftgelenks zu verstehen, soll folgendes vereinfachtes Modell nach Pauwels (1973) betrachtet werden (15).

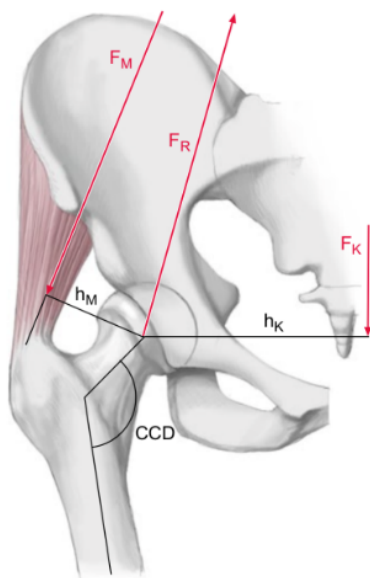


Abbildung 5 Vereinfachte Darstellung der wichtigsten Kräfte am Hüftgelenk (13)

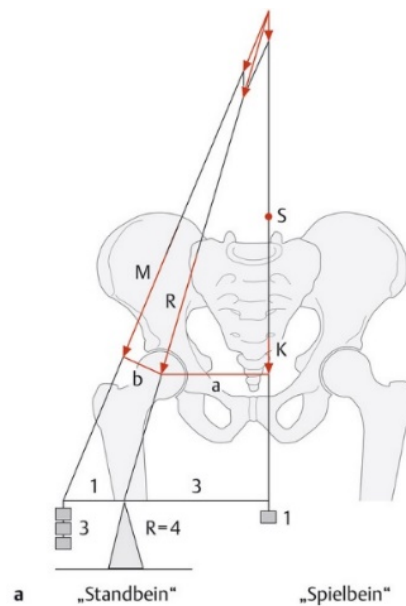


Abbildung 6 Vereinfachte Darstellung der wichtigsten Kräfte am Hüftgelenk im Einbeinstand (14)

Entscheidend für die physiologische Belastung des proximalen Femurs ist die resultierende Kraft R aus der Summe der Kräfte, die während des Gehens auf Femurkopf und Standbein wirken. Das Körpergewicht wirkt abzüglich der Masse des Standbeins auf der medialen Seite des Hüftgelenkes (K). Die Wirkungslinie dieser Kraft verläuft durch den Schwerpunkt S . Der Abstand zwischen Hüftgelenksdrehzentrum und Wirkungslinie der partiellen Körpergewichtskraft (K) bildet einen Hebelarm (siehe Abb. 5). Dadurch wird bei Belastung des Standbeins durch die Körpergewichtskraft K ein Drehmoment erzeugt, welches eine Kippung des Hüftgelenkes in der Horizontalen bewirkt. Um dieses Drehmoment aufzuheben und eine Stabilisierung des Beckens in der Horizontalen zu erreichen, muss ein entgegengesetztes Drehmoment erzeugt werden. Dieses Drehmoment setzt sich zusammen aus Muskelkraft der Abduktoren (M) und dem Hebelarm zwischen Drehzentrum des Femurkopfes und Muskelansatzes am Trochanter major ($MM = FM \times hM$) (15). Beide Kräfte halten sich im Gleichgewicht, jedoch ist der Hebelarm des Körpergewichts etwa dreimal so lang wie der der Abduktorenkraft. Daher muss die Muskelkraft zur Erhaltung des Gleichgewichts etwa dreimal so groß wie die Kraft des Körpergewichts sein. Die resultierende Druckkraft R entspricht der geometrischen Summe der beiden Kräfte M (Muskelkraft) und K (Körpergewicht). Es ist daher anzunehmen, dass die auf den Femurkopf des Standbeins wirkende Kraft R bei einseitiger Belastung circa viermal so groß wie die des partiellen Körpergewichts K ist

(siehe Abb. 6). In Ruhe, also im Stand auf beiden Beinen wirken die kleinsten Kräfte auf das Gelenk. Im Vergleich zum Einbeinstand, wirkt hier eine resultierende Kraft, die etwa einem Drittel des Körpergewichts entspricht (16). Bei Bewegung in Form von Gehen hingegen kann sich die Belastung bis zum 7-fachen des Körpergewichts steigern (15). Bei dynamischen Belastungen müssen jedoch auch weitere Parameter betrachtet werden. Die Beschleunigung der Körperteilmasse und die daraus resultierende Massenträgheit beeinflussen die Größe der Belastung (16). An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die dynamische Beanspruchung des Hüftgelenks nur begrenzt mit statischen Berechnungen beschrieben werden kann. Dadurch, dass sich weitaus mehr Muskeln als nur die Abduktoren beteiligen und sich die Bewegungen des Gelenks nicht nur auf die Frontalebene und Belastung im Einbeinstand beschränken, müssen weitere Berechnungen folgen. Jedoch sind die Grundlagen, die Pauwels 1973 erarbeitet hat, durch neue Arbeiten bestätigt und tragen zum grundlegenden medizinischen Verständnis bei. Daher soll im Folgenden oben beschriebenes Modell als Grundlage genutzt werden.

Die Richtung der resultierenden Kraft R entspricht der Geraden, die das Hüftgelenkdrehzentrum mit den Schnittpunkten der Wirkungslinien von Muskelkraft M und Körperabschnittsgewicht K verbindet. Diese Gerade läuft vom Becken aus von cranial medial nach caudal lateral und bildet mit der Vertikalen einen Winkel von circa 16° . Da die Gerade durch das Drehzentrum des Femurkopfes verläuft, wirkt sie hier als reine Druckkraft. Auf den Schenkelhals wirkt sie biegend, weil deren Wirkungslinie medial der Achse des Schenkelhalses verläuft. Dadurch entsteht bei physiologischer Stellung des Schenkelhalses eine überwiegende Druckspannung im medialen Schenkelhals und eine leichte Zugspannung im lateralen Teil. Diesem Biegungsanspruch kann das proximale Femur durch seine Druck- und Zugtrabekel standhalten. Während die Drucktrabekel bogenförmig vom Femurkopf zur medialen Kortikalis des Schenkelhalses verlaufen, ziehen die Zugtrabekel entlang des lateralen, proximalen Schenkelhalsbereichs bis zum Trochanter major. Die bogenförmig verlaufenden Trabekel laufen senkrecht aufeinander zu und so kann mit wenig Knochenmaterial eine größtmögliche Festigkeit erreicht werden (13, 14, 15).

Da der CCD-Winkel einen direkten Einfluss auf die Kräfte am Hüftgelenk hat, variiert die Belastung mit ihm (siehe Abb. 7). Sobald sich der CCD-Winkel verändert, verlagert sich der Trochanter major aus seiner physiologischen Position und die Muskelkraft M

erhält eine abnorme Lage und Richtung. Je steiler der Schenkelhalswinkel, umso kleiner wird der Hebelarm der Muskulatur und umso größer wird die aufzuwendende Muskelkraft und damit auch die Resultierende. Die resultierende Kraft verläuft weiter lateral und die Belastung wird größer. Bei der Coxa vara hingegen vergrößert sich der Hebelarm und es wird weniger Muskelkraft benötigt, um das Becken im Drehmomentgleichgewicht zu halten. Die Resultierende ist bei dieser anatomischen Lage also kleiner. Jedoch erzeugt die Hüftgelenksresultierende bei der Coxa valga eine geringere Beanspruchung als bei der Coxa vara. Dies lässt sich durch die Richtung der Resultierenden in Bezug zur Schenkelhalsachse erklären. Dadurch, dass bei einer Coxa valga die Gerade der Resultierenden annähernd senkrecht zur Schenkelhalsachse steht, ergibt sich eine relativ geringe Druckspannung, die sich über den gesamten Schenkelhalsquerschnitt verteilt. Bei einem physiologischen oder varischen CCD-Winkel verlagert sich die Wirkungslinie der Resultierenden nach medial, am Schenkelhals vorbei. Dadurch vergrößert sich die Druckspannung am distalen, sowie die Zugspannung am proximalen Femur. Die Knochen trabekel sind somit einer größeren biomechanischen Beanspruchung ausgesetzt und zeigen eine besondere Ausprägung im Bereich der auftretenden Spannungen. Folglich ist die Knochendichte in weniger beanspruchten Bereichen geringer (13, 14).

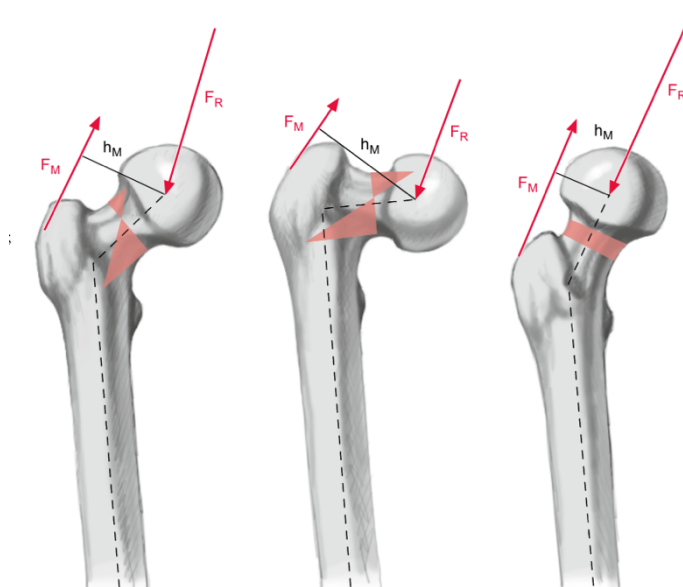


Abbildung 7 Einfluss des CCD-Winkels auf die Beanspruchung des proximalen Femurs (mod. nach Pauwels 1973) (13)

1.3 Frakturen und Klassifikationen

Die Frakturen des proximalen Femurs werden nach entsprechender anatomischer Lage untergliedert. Die Einteilung erfolgt in Femurkopffrakturen, Schenkelhalsfrakturen, pertrochantäre und subtrochantäre Frakturen. Die Schenkelhalsfrakturen können wiederum in medial, intermediär oder lateral unterteilt werden.

Bei (medialen) Schenkelhalsfrakturen können die Klassifikationen nach Pauwels (siehe Abb. 8) und Garden (siehe Abb. 9) angewendet werden. Die Klassifikation nach Pauwels (I-III) berücksichtigt den Winkel zwischen dem Frakturverlauf und der Horizontalen. Er beschreibt die Stabilität und die Tendenz zur Dislokation der Fragmente. Je größer der Winkel, desto größer ist das Risiko zur Dislokation und desto schlechter ist die Heilungstendenz. Bei Pauwels Typ I Frakturen handelt es sich um Abduktionsfrakturen in Valgusfehlstellung, die einen Winkel von $<30^\circ$ betragen und somit eine gute Heilungschance haben. Typ II Frakturen sind Adduktionsfrakturen, die sich durch eine Varusfehlstellung auszeichnen und mit einem Winkel zwischen $30-50^\circ$ eine abnehmende Heilungstendenz aufweisen. Ab einem Winkel $>50^\circ$ spricht man von einer Pauwels Typ III Fraktur. Diese Abscherfrakturen kennzeichnet eine schlechte Heilungschance (17).

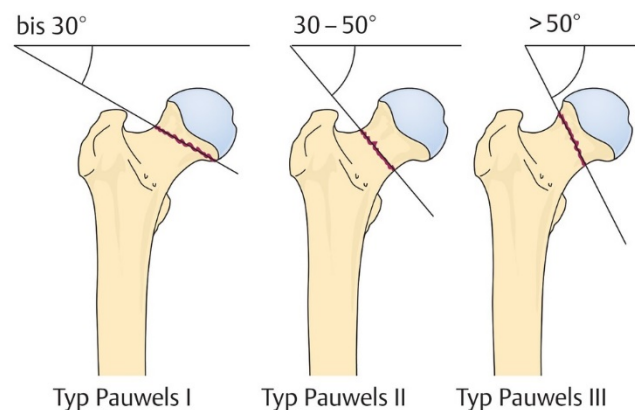


Abbildung 8 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Pauwels (101)

Die für die Klinik relevantere Einteilung nach Garden (I-IV) (siehe Abb. 9) berücksichtigt den Dislokationsgrad und die Kontaktfläche der Frakturfragmente in Hinblick auf die dadurch resultierende Perfusionsstörung des Femurkopfes. Die Äste der Aa. circumflexa femoris mediales et laterales umschließen den Schenkelhals von posterior und anterior und bilden ein Gefäßnetz in der Fossa trochanterica (siehe Abb. 2). Daher

sind diese bei Frakturen im Bereich des Schenkelhalses besonders gefährdet. Werden die perfundierenden Gefäße durch eine Fraktur beschädigt, droht eine insuffiziente Versorgung des Femurkopfes und es kommt zur Nekrose. Je größer der Dislokationsgrad und umso kleiner die Kontaktfläche, desto größer ist die Nekroserate des Femurkopfes. Eine Garden Typ I Fraktur beschreibt eine inkomplette, nicht dislozierte Abduktionsfraktur mit Valgusimpaktion, bei der mit einer intakten Perfusion zu rechnen ist und die Nekroserate lediglich 10% beträgt. Bei Garden Typ II handelt es sich um vollständige Frakturen, bei denen es weder zur Dislokation noch zu Impaktion kommt. Die hintere Kapsel ist erhalten und daher kann hier von einer ausreichenden Perfusion ausgegangen werden. Die Nekroserate beträgt hier ca. 30%. Ab Garden Typ III muss mit einer Perfusionsstörung gerechnet werden, da bei solchen teilweise dislozierten Frakturen, die hintere Kapsel und Kortikalis potenziell verletzt sein können. Die mediale Kontaktfläche ist jedoch erhalten und es resultiert eine Varusstellung. Liegt eine komplette Dislokation vor und besteht kein Kontakt zwischen den Frakturfragmenten, handelt es sich um eine Garden Typ IV Fraktur, bei der die Nekroserate bei 90% eingestuft wird. Diese Klassifikationen spielen somit eine wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung der therapeutischen Konsequenz (18).

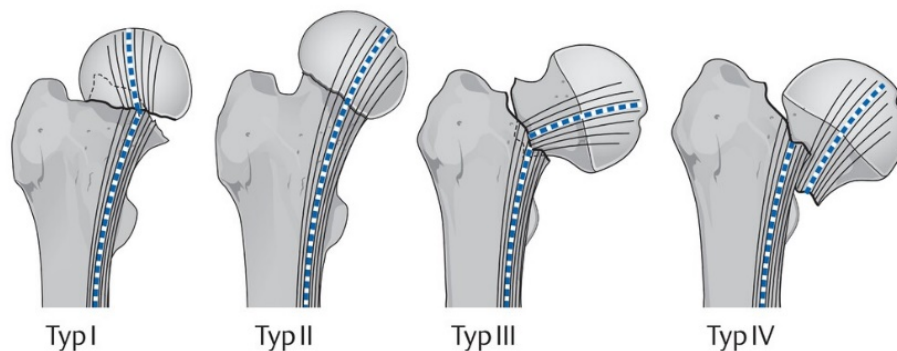


Abbildung 9 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Garden (102)

Wie bei Frakturen anderer Lokalisation am menschlichen Skelett, können Schenkelhalsfrakturen durch die AO-Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen beschrieben werden. Die Einteilung orientiert sich dabei an Lokalisation und Dislokationsgrad. AO 31-B1 beschreibt eine subkapitale, wenig dislozierte Fraktur, bei der eine Impaktion vorliegen kann. Ist die Frakturlinie transzervikal, kann dieser Zustand als 31-B2 beschrieben werden. Liegt die Fraktur nun noch weiter distal und somit basiscervikal, spricht man von 31-B3 (19).

1.4 Ätiologie

Das Durchschnittsalter der Patienten, die eine Schenkelhalsfraktur erleiden, liegt bei 80 Jahren. Weniger als 5% dieser Frakturen erleiden Menschen unter 60 Jahren (6). Bei jungen Menschen stellen meist hochenergetische Traumen z.B. bei Verkehrsunfällen oder sportlichen Aktivitäten die Ursache für derartige Frakturen dar. Bei älteren Menschen reicht hingegen oft ein Bagateltrauma aus. Häufig handelt es sich dabei um einen Sturz aus Stand- oder Sitzhöhe auf den Trochanter major (11). Da circa 30% der Menschen ab 65 Jahren und 50% der Menschen ab 80 Jahren mindestens einen Sturz pro Jahr erleiden, steigt das Risiko einer Fraktur mit dem Alter deutlich an (20). Bei Osteoporose-Patienten kann eine forcierte Außenrotation oder eine chronische Überlastung ausreichen (8). Neben dem Alter sind viele weitere Risikofaktoren beschrieben, die eine verminderte Knochendichte bedingen und eine Fraktur begünstigen. Dazu gehören z.B. das weibliche Geschlecht, Medikation mit Glukokortikoiden (21), Rauchen (22), mangelnde körperliche Aktivität (23, 24) und ein niedriger Body-Mass-Index (24). Hinzu kommen Faktoren, die das Sturzrisiko erhöhen: Muskelschwäche (20), eingeschränkte kognitive Fähigkeiten sowie Geh- und Koordinationsstörungen (25). Diese können durch zahlreiche Vorerkrankungen ausgelöst oder verstärkt werden: Morbus Parkinson, Demenz, Erkrankungen der Augen und des kardiovaskulären Systems (26). Weitere in der Literatur beschriebene Risikofaktoren sind ein vermehrter Alkoholkonsum und eine Harninkontinenz (20). Hinzu kommt der Medikamenteneinfluss, unter dem alte oft multimorbide Patienten stehen (20). Die Umgebung und das häusliche Umfeld, gerade der älteren Patienten spielt auch eine entscheidende Rolle. Glatte Fußböden, ungeeignetes Schuhwerk (20) und Teppichkanten sind mögliche Sturzursachen (8).

In seltenen Fällen treten auch pathologische Frakturen des Schenkelhalses auf, bei denen anamnestisch kein Unfallereignis zu erheben ist. Diese sind Folge verschiedener knochenschädigender Erkrankungen, wie z.B. Malignome/ Metastasen, Morbus Paget, Osteomalazie oder Osteogenesis imperfecta (27). Bei diesen Frakturen wird die Diagnose meist erst sehr spät gestellt.

1.5 Klinik und Diagnostik

Um eine Schenkelhalsfraktur diagnostizieren zu können, sollten zunächst eine ausführliche Anamnese sowie eine körperliche Untersuchung durchgeführt werden. Dies sollte möglichst zeitnah erfolgen, da das Zeitintervall zwischen Trauma und Behandlung maßgebend für die weitere Therapie ist (28). Anamnestisch sollte ein Sturzereignis abgefragt werden, sowie Begleiterkrankungen und Voroperationen, die als Risikofaktoren einer Schenkelhalsfraktur gelten. Ebenso sollte der funktionelle Status des Patienten vor Trauma-Ereignis erfragt werden. Ist kein Sturzereignis zu erheben, sollten andere Ursachen in Betracht gezogen werden, deren Behandlung gegebenenfalls geplant werden muss. Bei einer ausführlichen Medikamentenanamnese sollte vor allem auf gerinnungshemmende Substanzen geachtet werden, da diese z.B. bei einer anschließenden operativen Versorgung unbedingt bekannt sein sollten (8). Patienten mit Schenkelhalsfraktur klagen meist über starke Schmerzen in der Hüfte und/oder Leiste. Dazu kommen eine Belastungs- und Gehunfähigkeit sowie die Unfähigkeit, das gestreckte Bein anzuheben. Weitere mögliche klinische Zeichen sind ein Druckschmerz über dem Trochanter major, ein Hämatom, eine Prellmarke und ein von der Ferse auslösbarer Stauchungsschmerz. Handelt es sich um eine dislozierte Fraktur, liegt eine Beinverkürzung in Außenrotationsstellung vor. Neben lokalen Verletzungsmustern, sind auch häufig Begleitverletzungen an anderen Körperteilen zu beobachten. Außerdem sollten allgemeine klinische Untersuchungen des Herz-Kreislauf-Systems, sowie des zentralen Nervensystems erfolgen, die im Weiteren jedoch nicht genauer erläutert werden sollen (8, 27).

Um die Diagnose zu bestätigen, werden konventionelle Röntgenbilder angefertigt. Diese erfolgen in Form einer Beckenübersichtsaufnahme mit a.p. (anterior-posterior) Strahlengang, sowie im axialen Strahlengang nach Lauenstein von der betroffenen Seite. Sind hier Frakturzeichen zu erkennen, kann die Diagnose bestätigt werden und das Röntgenbild gegebenenfalls zur Operationsplanung genutzt werden. Besteht ein eindeutiger klinischer Verdacht ohne Frakturnachweis im Röntgenbild, muss eine potenzielle Schenkelhalsfraktur durch eine MRT- oder CT-Aufnahme ausgeschlossen werden (8, 27). Eine MRT-Aufnahme zeigt eine Fraktur oder eine andere Schmerzursache mit hoher Sensitivität (29). Neben der bildgebenden Diagnostik zählt ein Labor zur obligaten Diagnostik (8).



Abbildung 10 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme: mediale Schenkelhalsfraktur links

1.6 Therapie

Das Ziel der Therapie einer Schenkelhalsfraktur besteht darin, eine unmittelbar belastungsstabile Situation zu erreichen. Folgende Therapieoptionen müssen unter Betrachtung entscheidender Faktoren abgewogen werden:

Operativ vs. Konservativ

Grundsätzlich kann eine mediale Schenkelhalsfraktur konservativ oder operativ behandelt werden. Jedoch ist die operative Behandlung das Verfahren der Wahl (8). Die Indikation zur Operation sollte immer individuell je nach Patienten und Fraktur festgelegt werden.

Patienten, die keine operative Versorgung erhalten sollten, sind multimorbide Hochrisikopatienten, die mit einer hohen perioperativen Letalität als inoperabel gelten (8). Ansonsten sollte nur dann ein konservativer Therapieversuch angestrebt werden, wenn der Befund eine impaktierte, nicht dislozierte und stabile Fraktur mit intakter medialer Kortikalis (z.B. Garden Typ I) zeigt (30). Des Weiteren muss der Patient in der Lage sein, das betroffene Bein aktiv nach innen zu rotieren, sowie gestreckt anzuheben. Wichtig ist dabei auch die Kooperation des Patienten (27). Ein Fehlschlagen der konservativen Therapie ist häufiger bei Patienten, die nicht in der Lage sind, das betroffene Bein schmerzfrei belasten zu können (31). Betrachtet man

die Ergebnisse von konservativ behandelten Schenkelhalsfrakturen, kommt es bei einem gewissen Anteil der Patienten immer wieder zu avaskulären Kopfnnekrosen oder zu sekundären Dislokationen. In einer Metanalyse von Xu et al. berichten 14 Studien von durchschnittlich 68,8% adäquater Knochenheilung bei einer konservativen Therapie versus 92,6% bei operativen Verfahren (32). Bei 30% der konservativ behandelten Patienten fand man Pseudarthrosen, während es nach einer operativen Therapie zu lediglich 0,57% Pseudarthrosen kam. Die Rate für eine avaskuläre Femurkopfnnekrose liegt bei der konservativen Therapie bei 10,3% und bei der operativen Versorgung bei 7,7%. Daher ist auch bei nicht-dislozierten Frakturen eine operative Versorgung vertretbar. Besonders bei Patienten unter 65 Jahren sollte kein Risiko eingegangen werden und primär operiert werden (27).

Bei der operativen Behandlung besteht die Wahl zwischen hüftkopferhaltenden oder gelenkersetzenden Verfahren. Bei den hüftkopferhaltenden Verfahren wird die Fraktur durch eine Osteosynthese versorgt, während sich als Gelenkersatz Endoprothesen eignen. Generell sollte die Behandlung zeitnah erfolgen, da Behandlungen später als 24 Stunden nach dem Frakturereignis zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität führen (33, 34, 35). Erfolgt die operative Versorgung erst nach 48 Stunden, kommt es signifikant häufiger zu Komplikationen wie Dekubitalulcera, Venenthrombosen, Lungenembolien und chirurgischen Komplikationen (33, 36). Außerdem sollten allgemeine Maßnahmen unabhängig von der Versorgungsform erfolgen. Dazu zählen: Schmerztherapie, Thromboseprophylaxe, Infektionsprophylaxe und Dekubitusprophylaxe (8).

Welches Verfahren verwendet werden soll, muss ebenfalls ausführlich unter Berücksichtigung entscheidender Faktoren diskutiert werden. Besonders wichtig sind dabei das Alter des Patienten, der Aktivitätsgrad, Knochenqualität, Reponierbarkeit der Fraktur und vorhandene Arthrosezeichen. Entsprechend der aktuellen Leitlinien kann das geeignete Therapieverfahren durch folgenden Algorithmus gefunden werden (8):

Algorithmus Schenkelhalsfrakturen

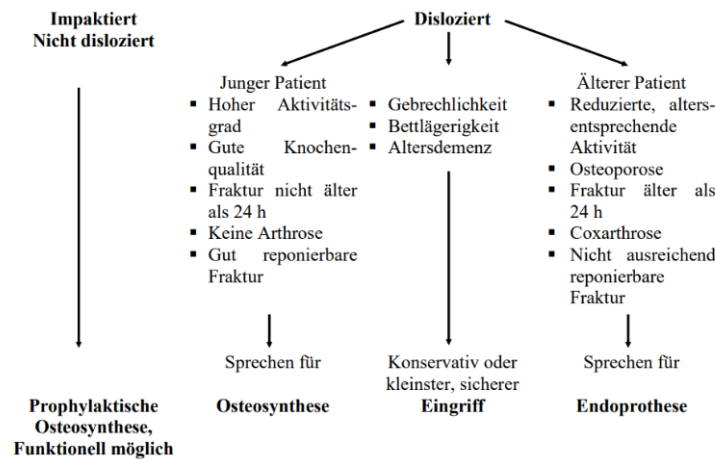


Abbildung 11 Algorithmus Versorgung einer Schenkelhalsfraktur (8)

Osteosynthese vs. Endoprothetik

Ist nach Fraktur von einer suffizienten Durchblutung des Femurkopfes auszugehen, sollte grundsätzlich ein kopferhaltendes Verfahren angestrebt werden (8). Diese ist bei jungen Patienten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit sichergestellt als bei älteren. Bestehen Zweifel an einer ausreichenden Perfusion, sollte der Kopf durch ein Implantat ersetzt werden. Da Endoprothesen eine begrenzte Lebensdauer haben, müssen diese in der Regel, und vor allem bei hoher mechanischer Belastung, nach einigen Jahren revidiert werden (13). Daher wird bei jungen Patienten mit hohem Aktivitätsniveau die kopferhaltende Osteosynthese bevorzugt. Auch bei älteren Patienten wird eine Osteosynthese angestrebt, wenn diese durch einen aktiven Lebensstil einen hohen Belastungsanspruch an das Implantat stellen. Weitere Indikationen, die auch im höheren Lebensalter für solch eine Versorgung sprechen, sind: eine gute Knochenqualität, keine Arthrosezeichen, ein großes Kopf-Hals-Fragment, sowie ein großer Schenkelhalsdurchmesser (8, 27). Berücksichtigt werden sollte ebenfalls die Stabilität und Dislokation der Fraktur. Stabile Frakturen (Pauwels Typ I, Garden Typ I), sowie wenig dislozierte Frakturen (Garden Typ II und eventuell Garden Typ III) stellen ebenfalls eine Indikation zu einer kopferhaltenden Versorgung dar (8). Alte Patienten, die folgende Eigenschaften aufweisen, sollten auch eine Osteosynthese im Sinne einer palliativen Versorgung erhalten: Gebrechlichkeit, Bettlägerigkeit und Altersdemenz (8). Diese Patientengruppe mit erheblich reduziertem Allgemeinzustand stellt keine Ansprüche an eine belastbare Versorgung. Bei diesen Patienten sollte das Hauptaugenmerk auf eine schnelle Versorgung und

Schonung des Organismus gelegt werden, daher sollte auf eine Versorgung mittels Endoprothese verzichtet werden. Der Einbau eines endoprothetischen Gelenkersatzes weist neben einer längeren Operationsdauer einen höheren Blutverlust und eine höhere Infektionsrate auf (6, 37). Ebenso kann es postoperativ zu weiteren Komplikationen wie z.B. einer Prothesenluxation kommen. Einen weiteren Faktor stellen die höheren Kosten dar (6).

Jedoch muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass es bei Osteosynthesen von dislozierten Frakturen häufiger zu Revisionen durch Implantatversagen kommt. Bei dislozierten Frakturen wird das Risiko eines Implantatversagens zwischen 22-46% angegeben, während es bei Endoprothesen lediglich 2,9-8,8% beträgt (38, 39, 40, 41). Als Folge kann es zu Osteonekrosen oder Pseudarthrosen kommen. Parker et al. beschreiben ein 7,3fach höheres Risiko für Reoperationen bei osteosynthetischen Verfahren im Vergleich zu einer Versorgung mittels Hemiprothese (39). Auch in Bezug auf postoperative Schmerzen und Lebensqualität zeigt die Hemiprothese bessere Ergebnisse bei dislozierten Frakturen (6, 41). Kommt es zum Versagen des osteosynthetischen Implantats, wird in über 2/3 der Fälle auf eine Endoprothese umgestiegen (42, 43). Die Studienlage zeigt, dass auch ältere Patienten mit nicht-dislozierten Frakturen von einer (Hemi-)Endoprothese profitieren. Eine solche Versorgung senkt das relative Risiko einer Reoperation im Vergleich zur Osteosynthese um 59-70% (44, 45). Betrachtet man die postoperative Funktionalität des Gelenks und die Lebensqualität der Patienten, liefern endoprothetische Verfahren bessere Ergebnisse im Vergleich zur internen Fixierung (46, 47). Daher ist es wichtig, bereits bei der primären Versorgung die Indikationen zu überprüfen. Hier unterscheiden sich die verschiedenen Prothesenarten in ihren Vor- und Nachteilen, die im nachfolgenden Abschnitt diskutiert werden sollen.

Für die Osteosynthese stehen ebenfalls verschiedene Implantate zur Auswahl. Wichtiger als das Implantat an sich ist jedoch die korrekte Reposition, die Implantatpositionierung und ein schneller Operationsstart. Unabhängig davon, welches Implantat gewählt wird, sollte die Operation innerhalb von sechs Stunden nach Fakturierung erfolgen (48). Somit soll eine drohende Femurkopfnekrose verhindert werden. Welches Implantat gewählt wird, sollte abhängig von Erfahrung und Technik des Chirurgen sein. Dabei sollte nur auf Implantate zurückgegriffen werden, die sich in Studien durch gute Resultate bewährt haben (8).

Eine Möglichkeit stellt die dreifache Verschraubung durch Zugschrauben dar (siehe Abb. 12). Weitere Verfahren bilden die dynamische Hüftschraube mit kranialer Zugschraube, sowie winkelstabile Platten in Kombination mit dynamischen Schraubensystemen (49).

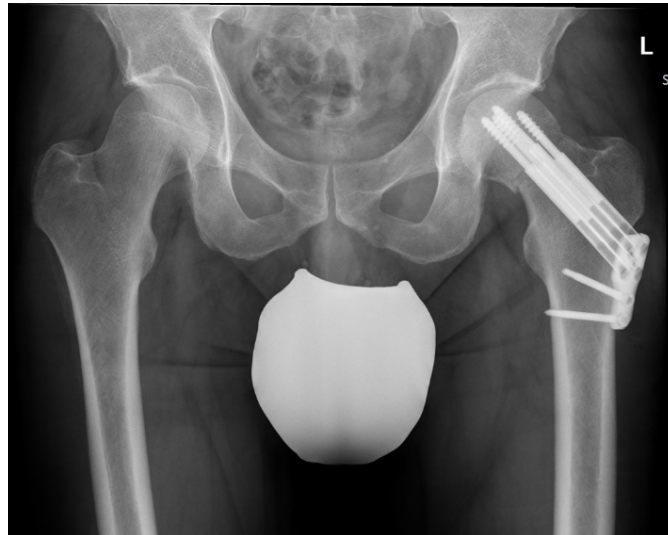


Abbildung 12 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme - Osteosynthese einer Schenkelhalsfraktur links

Totalendoprothese vs. Hemiendoprothese

Grundsätzlich erfolgt eine Unterteilung zwischen einem totalendoprothetischen Gelenkersatz (TEP) (siehe Abb. 14), bei dem sowohl das proximale Femur als auch die Hüftpfanne ersetzt wird und einer Hemiarthroplastik (HEP), bei der lediglich das proximale Femur ersetzt wird. Weiter lassen sich Hemiendoprothesen in uni- und bipolare Implantate einteilen. Aufgrund der Fragestellung dieser Arbeit sollen im Folgenden nur bipolare Prothesen, sogenannte Duokopfprothesen, betrachtet werden (siehe Abb. 13). Im Gegensatz zu den soliden, unipolaren Prothesen wird der Prothesenkopf der Duokopfprothesen von einer weiteren Kopfschale umgeben, die Bewegungen nicht nur zwischen Außenschale und Acetabulum, sondern auch zwischen beiden Schalen erlaubt (50). Entsprechend der unterschiedlichen Implantate und Operationstechniken, ergeben sich unterschiedliche intraoperative, sowie postoperative Komplikationen.

Eine Hemiarthroplastik ermöglicht eine schnellere operative Versorgung, da keine Pfannenpräparation durchgeführt werden muss. Im Vergleich zur Totalendoprothese wird dadurch eine kürzere Operationsdauer und weniger Blutverlust erreicht (6, 51). Außerdem kommt es durch eine größere Umfassung der Gelenkpartner seltener zu Luxationen als bei Totalendoprothesen (3% vs. 9%) (43, 52). In Hinblick auf die jeweiligen Revisionsraten nach Implantation zwischen HEP und TEP zeigen die Ergebnisse bisheriger Studien keine eindeutige Tendenz (52). Ein Nachteil der Kopfprothese ist jedoch ein vermehrter Abrieb, der gelegentlich eine Protrusion des Innenkopfes durch den äußeren Teil bedingen kann. Obwohl genannte Pfannenprotrusionen und Wechseloperationen seltene Ereignisse darstellen (0-5%), können diese die Folge einer übermäßigen Belastung durch den Patienten sein (27). Für Patienten, die diesen hohen Belastungsanspruch nicht stellen, überwiegen die genannten Vorteile, sodass die bipolare Kopfprothese ein geeignetes Implantat für ältere Patienten mit vermindertem Aktivitätsniveau und eingeschränkter Lebenserwartung bei allen nicht eingestauchten Schenkelhalsfrakturen (Garden II-IV) ist (27, 53). Dementsprechend fällt bei Patienten mit einem höheren Aktivitätsniveau und dem daraus resultierenden Belastungsanspruchs die Wahl auf eine Totalendoprothese (TEP) (8, 54). Bei aktiven Patienten mit dislozierter Schenkelhalsfraktur deutet die Studienlage auf bessere postoperative Ergebnisse zugunsten der Totalendoprothese hin (55, 56). In einer Metanalyse von Burgers et al. 2012 konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf Komplikationen und Mortalität gefunden werden, ausgenommen der erhöhten Luxationsrate bei Totalendoprothesen. Jedoch zeigt die Totalendoprothese bei genanntem Patientenkollektiv eine bessere Funktionalität mit längeren Gehstrecken, weniger Schmerzen, wodurch eine höhere Lebensqualität erreicht wird (52). Bei kontralateralen Hüfterkrankungen muss auf Grund der Mehrbelastung ebenfalls eine TEP verwendet werden (27). Weitere Indikationen für eine TEP sind Veränderungen der Gelenkpfanne durch z.B. Knochenstoffwechselstörungen (Morbus Paget, Rheumatoide Arthritis) oder eine Coxarthrose (8, 55).



Abbildung 13 Zementpflichtige
bipolare Hemiendoprothese
(103)



Abbildung 14 Zementfreie
Totalendoprothese von Zimmer Biomet
(104)

Ob eine Total- oder Hemiprothese verwendet werden soll, hängt also von verschiedenen Faktoren ab. Scores sollen bei der Entscheidungsfindung helfen. Die Scores ergeben sich dabei aus unterschiedlichen Komponenten. Der Sernbo Score berücksichtigt Alter, Lebensumstände (eigenes Zuhause oder Pflegeeinrichtung), Gehfähigkeit (Gehhilfe) und mentaler Status des Patienten (57) (siehe Abb. 15). Erreicht der Patient mehr als 15 Punkte, sollte eine Versorgung mit einer Totalendoprothese angestrebt werden. Liegt der Score unter 15 Punkten, sollte die Wahl auf eine Hemiprothese fallen. „The National Institute for Health and Care Excellence“ (NICE) empfiehlt bei folgenden Kriterien die Versorgung durch eine Totalendoprothese: Die Patienten sind in der Lage eigenständig Räume durch Türen zu verlassen, ohne dabei mehr als einen Gehstock zu verwenden, die Patienten sind kognitiv nicht beeinträchtigt und die Patienten sind aus medizinischer Sicht gesund genug für entsprechende Anästhesie und den operativen Eingriff (58). Ebenfalls genannt werden sollte der Parker-Mobility-Score, der eine Aussage über die Mobilität und das Aktivitätsniveau vor stattgefundenem Trauma geben soll. In jeweils drei Kategorien werden Punkte von 0 bis 3 vergeben, dadurch können Punktzahlen von 0-9 erreicht werden. Die Kategorien sind dabei: Bewegung innerhalb des Hauses,

Bewegung außerhalb des Hauses und eigenständiges Einkaufen des Patienten (59) (siehe Abb. 16).

	Points
Age (yrs)	
70 to 80	5
> 80	2
Habitat	
Own home	5
Sheltered home	2
Walking aids	
One cane or none	5
Canes, walking frame	2
Mental status	
Alert	5
Slight confusion	2

Abbildung 15 Sernbo Score (57)

Mobility	No difficulty	With an aid	With help from another person	Not at all
Able to get about the house	3	2	1	0
Able to get out of the house	3	2	1	0
Able to go shopping	3	2	1	0

Abbildung 16 Parker Mobility Score (59)

1.7 Bipolare Hemiendoprothese

Die Indikation sowie Vor- und Nachteile der bipolaren Hemiendoprothese wurden bereits beschrieben. Im folgenden Abschnitt soll nun der Aufbau und die Funktionsweise dieser Prothese erläutert werden. Bei einer Duokopfprothese wird der Hüftkopf, sowie der Schenkelhals ersetzt. Im Vergleich zur Totalendoprothese, wird hier die natürliche Pfanne belassen. Das Implantat besteht aus einem Schaft, auf den ein Prothesenkopf angebracht ist. Dieser sogenannte Innenkopf wird wiederum von einem Außenkopf bzw. einer Kopfschale umgeben, die das Acetabulum ausfüllt. Die Größe des Außenkopfes orientiert sich daher an der Größe des resezierten Femurkopfes. Zwischen den Köpfen befindet sich ein Inlay. Der Außenkopf kann nicht nur mit der Hüftpfanne (Acetabulum), sondern auch mit dem Innenkopf artikulieren (50) (siehe Abb. 17).



Abbildung 17 RingLoc® Bi-Polar Hüftsystem von der Firma Zimmer Biomet

Um eine ungleichmäßige Belastung im Gelenk und ein Impingement am Prothesenhals zu vermeiden, sind die Drehpunkte von Außen- und Innenkopf gegeneinander versetzt. Die resultierende Kraft des Körpergewichts läuft durch das Drehzentrum des Außenkopfs, welches lateral zum Drehzentrum des Innenkopfes verschoben liegt. Durch letzteres verläuft die Bodenreaktionskraft. Durch diese Verschiebung kommt es unter Belastung zu einem Drehmoment, das den Außenkopf in die vorgesehene Außenrotation im Acetabulum einstellt (27).

Die Materialien des Implantats unterscheiden sich je nach Hersteller. Während Schaft und beide Köpfe aus Metall gefertigt sind, besteht das Inlay aus Kunststoff. Der Schaft einer Duokopfprothese kann sowohl mit als auch ohne Zement im Knochen befestigt werden. Nicht-zementierte Schäfte weisen besondere Formen und Beschichtung auf, die eine Verankerung im Knochen ermöglichen. In der Metaanalyse von Lou et. al konnte kein Unterschied zwischen zementierten und nicht-zementierten Hemiprothesen in Bezug auf perioperative Komplikationen und Mortalität gefunden werden (60). Postoperativ zeigten die zementierten Implantate jedoch eine bessere Funktion, sowie eine verbesserte Mobilität und weniger Schmerzen nach einem Jahr. Weitere Studien bestätigen die Überlegenheit der zementierten Hemiprothese in Bezug auf eine verbesserte postoperative Mobilität. Zusätzlich wird dabei über mehr periprothetische Frakturen bei unzementierten Implantaten berichtet (61, 62). In weiteren Studien werden zementierte Schaftimplantate jedoch mit einer längeren Operationsdauer, mehr Blutverlust und einem erhöhten Embolierisiko assoziiert (63). Besonders die Embolie erhöht das Risiko eines intraoperativen Versterbens. Durch Fortschritt in Anästhesie- und Reanimationstechniken, konnte dies jedoch auf ein Minimum reduziert werden (63).

1.7.1 Ablauf der Operation

Bevor der Einbau der Hemiendoprothese erfolgen kann, muss der Patient optimal gelagert werden. Die operative Versorgung erfolgt in Rückenlage, kann aber auch in Seitenlage stattfinden. Erfolgt die Operation in Rückenlage, wird der Patient an den Rand des Operationstisches gelagert (in Richtung der zu operierende Seite), sodass der Trochanter major die Tischkante etwas überragt. Dabei kann das Gesäß des Patienten durch Unterlegen eines Kissens leicht angehoben werden. Der gleichseitige Arm wird hochgelagert und das gegenseitige Bein am Operationstisch fixiert und abgesenkt. Nach sterilem Abwaschen und Abdecken, kann der Zugang eröffnet werden (siehe Abb.18) (27).



Abbildung 18 Lagerung zur operativen Versorgung einer Hüftprothese

Es bieten sich verschiedene Zugänge an, um eine Duokopfprothese einzubringen (siehe Abb. 19). Neben dem lateralen bzw. anterolateralen Zugang hat sich auch der Zugang von posterior bewährt. Bei diesem Zugang ist jedoch die Beurteilung der Pfannenorientierung schwerer und das Risiko einer Prothesenluxation höher, da die dorsale Gelenkkapsel eröffnet wird (50). Dies bestätigt auch Jones, indem er 52 Studien zum Thema Luxationsfaktoren bei Hemiprothesen untersuchte und dabei den operativen Zugang als wichtigen Faktor beschreibt (10).

Im Folgenden soll die Versorgung mittels Duokopfprothese über den lateralen (transglutealen) Zugang nach Bauer sowie den modifizierten anterolateralen Zugang nach Watson-Jones beschrieben werden (64, 65). Der anterolaterale Zugang verwendet ein Intervall zwischen Muskeln, während der transgluteale Zugang das Spalten bzw. Ablösen von Muskeln und Muskelgruppen erfordert.

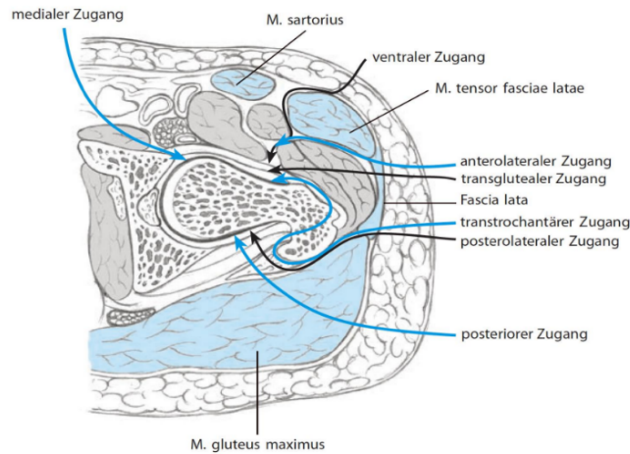


Abbildung 19 Operative Zugangswege bei Hüftendoprothetik (105)

Zunächst soll der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones beschrieben werden. Bei dieser minimal invasiven Modifikation erfolgt eine Hautinzision ventral des Trochanter majors auf Höhe des Intervalls zwischen M. tensor fasciae latae und M. gluteus medius. Der Schnitt erfolgt parallel zum Acetabulum von distal nach proximal leicht aufsteigend in einer Länge von etwa sieben Zentimeter in Richtung der Spina iliaca anterior superior. Die Subcutis wird durchtrennt und anschließend kann die Fascia lata dargestellt werden. Diese wird anschließend posterior des Musculus tensor fasciae latae in Faserrichtung inzidiert. Somit wird die gefäßarme Muskellücke zwischen M. tensor fasciae latae und M. gluteus medius freigelegt. Durch sie kann nun eine Palpation der anterioren Seite des Schenkelhalses erfolgen. Anschließend werden drei Hohmannhebel nach superior, inferior und auf den Pfannenrand nach medial eingesetzt. Durch die Retraktion der beiden Muskeln (M. tensor fasciae latae und M. gluteus medius) kann die Gelenkkapsel gut visualisiert und anschließend inzidiert werden. (66, 67)

Beim transglutealen Zugang nach Bauer beginnt die Hautinzision drei bis vier Zentimeter distal und dorsal zur Spina iliaca anterior superior und verläuft in einer Länge von circa sieben bis acht zentimeter in einer leichten Kurve über den Trochanter major nach distal. Nach Spaltung der Subcutis und der Fascia lata parallel zum Hautschnitt, werden die Mm. gluteus medius und minimus sowie der M. vastus lateralis in ihrem vorderen Drittel entsprechend ihrem Faserverlauf gespalten. Das tendoperiostale Gewebe zwischen M. gluteus medius und M. vastus lateralis an der ventralen Seite des Trochanter majors sollte dabei sorgfältig abgelöst werden, ohne dessen Integrität zu stören. Anschließend kann beschriebenes tendoperiostales

Gewebe zusammen mit den ventralen Muskelschichten mittels Hohmannhebel nach ventral gehalten werden. Somit ist der vordere Anteil der Kapsel für die nachfolgende Inzision freigelegt (64).

Unabhängig davon welcher operative Zugangsweg gewählt wurde, setzt sich die Operation wie folgt fort: Nach Inzision der Gelenkkapsel kann die Schenkelhalsosteotomie mit einer oszillierenden Säge erfolgen. Die Bergung des Hüftkopfes aus dem Acetabulum erfolgt mit dem Hüftkopfextraktor (siehe Abb. 20). Hierbei sollte der Kopf vollständig und im Ganzen entfernt werden, um später den Durchmesser ermitteln zu können. Wurden alle Schenkelhalsfragmente geborgen, können verbliebene Anteile der vorderen Gelenkkapsel reseziert werden.



Abbildung 20 Extraktor mit dem geborgenen Hüftkopf

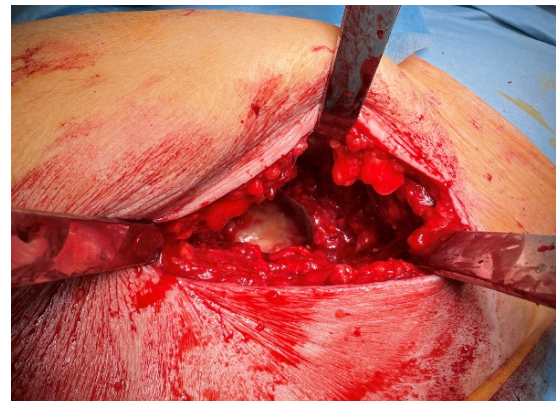


Abbildung 21 Blick auf das Acetabulum nach Extraktion des Hüftkopfes

Um die Präparation des Femurschaftes vornehmen zu können, muss das betroffene Bein in die sogenannte „Vierer-Position“ verlagert werden. Hier kommt es zu einer gewollten Hyperextension, Außenrotation und Adduktion des Beines. Dadurch wird eine Eingangsebene zwischen M. gluteus medius und M. tensor fasciae latae geschaffen. Nur über diese Ebene kann dann eine Präparation des Femurschaftes erfolgen, ohne Schäden am M. gluteus medius zu verursachen. Nach Sondierung mit einem kleinen scharfen Löffel kann die Erweiterung des Markraumes mit Formraspeln erfolgen (siehe Abb. 22). Formraspeln mit ansteigender Größe werden nacheinander zur Erweiterung des Markraumes bis zur rotationsstabilen Verankerung verwendet, um so die passende Größe des Schaftimplantats zu ermitteln.

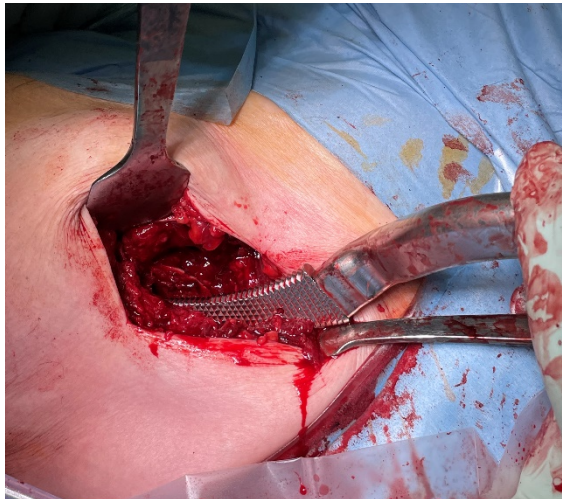


Abbildung 22 Präparation des Femurschaftes mit Formraspeln

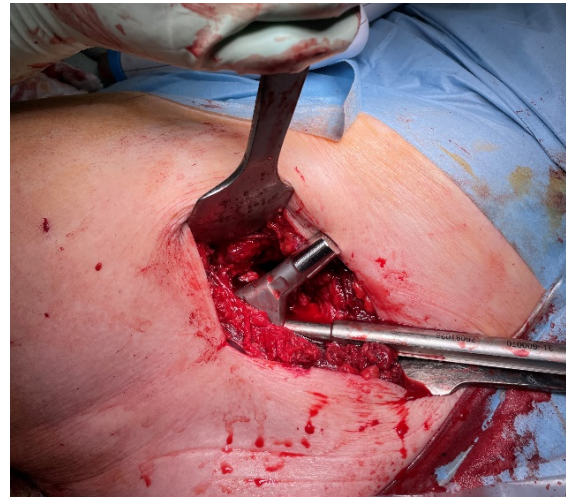


Abbildung 23 Schaftkomponente nach regelrechter Implantation

Zur Orientierung kann die präoperativ am Röntgenbild bestimmte Prothesengröße helfen. Vor Zementierung des endgültigen Implantates wird ein Zementstopper eingebracht und der Markraum gründlich gespült. Der Markraum wird mit Zement ausgefüllt und anschließend wird das Schaftimplantat erst manuell eingebracht, dann mittels Einschlaginstrumentarium eingeschlagen (siehe Abb. 23). Nachdem der Zement, der den prothetischen Schaft umgibt, ausgehärtet ist, kann zur Lagekontrolle und zum Ausschluss einer iatrogenen Fraktur ein Röntgenbild in zwei Ebenen angefertigt werden. Im nächsten Operationsschritt soll das passende Kopfimplantat ermittelt werden. Die Größe des Außenkopfes orientiert sich an der des resezierten Hüftkopfes. Hier können das präoperative Röntgenbild und Probeköpfe bei der Größenfindung helfen. Bei der Auswahl des Innenkopfes ist die negative Eindringtiefe des Konus entscheidend. Die Längenbestimmung erfolgt unter Beachtung der Pfannentiefe und das Überstehen des Schaftimplantats. Eine Probereposition mit anschließender Bewegungsprüfung liefert Aufschluss über die passenden Größen. Wird der Kopf zu groß gewählt, kann es zu Schwierigkeiten bei der Reposition kommen. Später kann ein zu großer Kopf vermehrte Reibung, reduzierte Beweglichkeit und Schmerzen verursachen. Hingegen führt ein zu kleiner Kopf durch Spitzendrücke im polaren Kontaktbereich zu Pfannenerosionen und -protrusionen. Nachdem die Pfanne erneut auf Interponate kontrolliert wurde, kann das Duokopfimplantat auf die Schaftprothese aufgesetzt und in das Acetabulum reponiert werden. Anschließend ist die Stabilität des prothetisch versorgten Hüftgelenks zu prüfen. Dies erfolgt durch einen Zug am Bein, sowie durch ein Durchbewegen in allen Ebenen. Besonders eine

posteriore Instabilität sollte durch eine weitestmögliche Flexion, Adduktion und Innenrotation ausgeschlossen werden. Während nun beim anterolateralen Zugang Faszie und Subcutis verschlossen werden, müssen beim transglutealen Zugang zusätzlich jeweils die Muskulatur sowie das abgelöste tendoperiostale Gewebe sorgfältig vernäht werden. Zuletzt erfolgt der Wundverschluss sowie die Überprüfung von Durchblutung, Torsion und Beinlänge. Abschließend wird ein weiteres Röntgenbild angefertigt, welches alle Prothesenkomponenten in optimaler Lage zeigen sollte (siehe Abb. 24). (27, 50, 67, 65, 66)



Abbildung 24 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme nach Implantation einer Duokopfprothese

1.7.2 Nachsorge

Nach der operativen Versorgung sollte auf eine bequeme Lagerung des Beines geachtet werden sowie Beugekontrakturen und Außenrotation vermieden werden. Eine schmerzadaptierte Vollbelastung wird ab dem ersten postoperativen Tag angestrebt (8). Eine frühe Mobilisation soll postoperative Komplikationen, wie z.B. die Dekubitusrate verringern, das Risiko einer Beinvenenthrombose verhindern und die Dauer des Klinikaufenthalts verkürzen (68). Regelmäßige Anleitungen zu isometrischen Übungen und Gangschulungen sollten von Physiotherapeuten durchgeführt werden. Neben regelmäßigen Wundkontrollen sollten postoperativ auch Röntgenkontrollen in zwei Ebenen angeordnet werden (8). Medikamentös ist auf eine ausreichende Analgesie, sowie eine Thromboseprophylaxe für mindestens vier

Wochen zu achten (69). Außerdem sollte die Flüssigkeits- und Elektrolytbilanzierung dauerhaft überwacht und bei Bedarf optimiert werden (8). Eine weitere postoperative Maßnahme ist die Sturzprophylaxe. Hier sollen mögliche sturzauslösende Ursachen, wie z.B. neurologische Erkrankungen oder Herzrhythmusstörungen diagnostiziert und behandelt werden. Neben einer adäquaten Sturzprophylaxe sollte bei Bedarf eine Osteoporose Therapie eingeleitet und Entlassungen in die Weiterbehandlung langfristig vorbereitet werden. Hierbei sollen Patient, Betreuer, Familie, Heim oder bei Bedarf eine Reha-Einrichtung früh einbezogen werden (70). Während aktive, biologisch junge Patienten von einer ambulanten Reha profitieren, bietet sich für ältere und multimorbide Patienten ein stationärer Aufenthalt an. Besonders demente Patienten sollten früh in ihre gewohnte Umgebung zurückkehren (70). Insgesamt hat sich für die Weiterbehandlung eine multidisziplinäre Zusammenarbeit in Form einer orthopädisch-geriatrischen Nachsorge bewährt (71, 72).

1.7.3 Komplikationen

Im Folgenden sollen relevante intra- und postoperative Komplikationen beschrieben werden. Die Studienlage weist operationsspezifische Komplikationsraten zwischen 7% und 15% auf (73, 74).

Intraoperative Komplikationen

Zu den selten auftretenden intraoperativen Komplikationen zählen unter anderem Nerven- und Gefäßverletzungen. Nervenschädigungen können z.B. durch Druck des am ventralen Pfannenrand platzierten Hohmannhebels ausgelöst werden. Hierbei kann der N. femoralis so verletzt werden, dass es zu einer Quadrizepsschwäche und zu einem nächtlichen Oberschenkelschmerz kommen kann (27). Durch Traktion bei erschwerter Prothesenreposition und Beinverlängerungen können N. ischiadicus und Plexus lumbosacralis in Mitleidenschaft gezogen werden. Durch den modifizierten Watson-Jones Zugang kommt es selten zur Verletzung größerer Gefäße. Trotzdem kann es bei der Kapselresektion zu Beschädigungen der Äste der A. circumflexa oder zur Quetschung der A. femoralis durch den ventralen Hohmannhebel kommen (75).

Iatrogene Frakturen zählen ebenfalls zu möglichen intraoperativen Komplikationen. Durch zurückhaltendes Erweitern des Markraums und regelmäßiges Zurückschlagen der Formraspeln soll diese Komplikation vermieden werden. Zeigt sich trotzdem eine

Fissur, die sich bei Einschlagen der Formraspel eröffnet, sollte das Femur mit Cerclagen gesichert werden. Ebenso kann die Kortikalis des Femurs bei Fehllage der Raspeln beschädigt werden und eine Fraktur durch ein zu kraftvolles Rotationsmanöver bei der Reposition ausgelöst werden. Avulsionen des Trochanter Major stellen eine zusätzliche Komplikation dar (27).

Postoperative Komplikationen

Bei operationsspezifischen postoperativen Komplikationen sollen Hämatome, Wundheilungsstörungen, Infekte, Prothesenluxationen und -lockerungen, periprotetische Frakturen und Implantatversagen erwähnt werden. Die Prothesenluxation soll in einem nachfolgenden Kapitel genauer beschrieben werden. Hämatome sollten unter operativen Bedingungen bei vollständiger Eröffnung der Wunde ausgeräumt und mikrobiologisch untersucht werden, wenn sie zu einer Vorwölbung und/oder Reizung der Weichteile führen (27). Serome und Wundheilungsstörungen müssen frühzeitig entdeckt, beobachtet und gegebenenfalls therapiert werden. Postoperative Infektionen sollen durch perioperative Maßnahmen wie Antibiotikaprophylaxe (Single-Shot), regelmäßiges Spülen der Wunde und eine atraumatische Operationstechnik vermieden werden. Kommt es trotzdem zu einem Frühinfekt, wird eine zeitnahe Revision mit Debridement und Wechsel der mobilen Teile notwendig, um den Erhalt der Prothese gewährleisten zu können (75). Bei einem Rezidiv oder Spätinfekt ist ein Ausbau der Prothese obligat. Anschließend kann ein Prothesenwechsel erfolgen, gegebenenfalls mehrzeitig unter Zwischenschaltung eines antibiotikumhaltigen Spacers. Sonst kann es zu einer septischen Lockerung der Prothese kommen. Jedoch wird auch regelmäßig von aseptischen Lockerungen berichtet, die durch Abriebpartikel (z.B. aus Metall, Zement oder Polyethylen) oder eine fehlende initiale Stabilität ausgelöst werden können. Zum Erhalt der Mobilität des Patienten muss auch hier eine Revision durchgeführt werden. Prothesenlockerungen stellen den größten Risikofaktor für periprotetische Frakturen dar (75). Wird eine Fraktur diagnostiziert, sollte eine operative Versorgung durch Osteosynthese mit oder ohne Implantatwechsel erfolgen (76). Neben den operationsspezifischen Komplikationen kommt es auch zu weiteren lokalen oder systemischen Komplikationen. Diese Komplikationen können generell bei Operationen oder bei längeren Liegezeiten in Kliniken auftreten. Hierzu zählen z.B. Thrombosen, Embolien, Dekubiti, Delirien, nosokomiale Infektionen und viele Weitere (77, 78). Diese sollen

aufgrund ihrer Relevanz für die Fragestellung in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben werden. Trotzdem sollen sie erwähnt werden, da diese maßgebend für das Überleben nach einer Schenkelhalsfraktur sind (77). Generell erschwert eine hohe Letalität nach Schenkelhalsfrakturen die Betrachtung der Komplikationen. Die 1-Jahres Mortalität beträgt bei Patienten mit Schenkelhalsfrakturen circa 20-30% (9).

1.7.4 Luxationen

Wie einleitend bereits erwähnt, stellt die Prothesenluxation eine wichtige Komplikation bei der Versorgung mittels bipolarer Hemiendoprothese dar. Laut einer Metanalyse von Burgers et al. liegt die durchschnittliche Luxationsrate bei 3% (52). Dabei werden die Luxationsraten in den verschiedenen Studien zwischen 0 und 15% angegeben (10). Kommt es zur Prothesenluxation, muss eine Reposition durchgeführt werden (siehe Abb. 25). Diese kann geschlossen oder offen erfolgen. Die geschlossene Reposition erfolgt unter Analgosedierung, während die offene bzw. chirurgische Reposition unter Narkose oder mittels Spinalanästhesie durchgeführt wird. Beide Verfahren bedeuten besonders für alte multimorbide Patienten ein hohes Risiko. Der Eingriff selbst und der sich daraus ergebende verlängerte Krankenhausaufenthalt bergen potenzielle Risiken, sodass eine erhöhte Mortalität die Folge ist (79).



Abbildung 25 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme - Luxation einer Duokopfprothese rechts

1.8 Fragestellung

Betrachtet man die aktuelle Literatur hinsichtlich potenzieller Risikofaktoren, die eine Luxation begünstigen sollen, finden sich bereits einige Forschungsarbeiten. Die Studien unterscheiden sich dabei in Hinblick auf die Signifikanz dieser Einflussfaktoren. Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, diese bereits beschriebenen Faktoren zu untersuchen, neue Faktoren zu detektieren und anschließend alle potenziellen Risikofaktoren zu bewerten. Dazu wurde ein Patientenkollektiv, welches zwischen 2016 und 2020 im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie behandelt wurde, zur Datengewinnung herbeigezogen. Welche Risikofaktoren können in diesem Patientenkollektiv detektiert werden und inwieweit beeinflussen diese ein Luxationsereignis?

1.9. Literaturdiskussion: Faktoren Prothesenluxation

Die Ursache oder vielmehr die begünstigenden Faktoren einer Prothesenluxation werden ständig neu erforscht und bewertet. Dabei wird den Faktoren unterschiedliche Bedeutung beigemessen. In den folgenden Abschnitten sollen diese Faktoren kategorisiert und bewertet werden.

Patient

Zu den patientenbezogenen Faktoren gehören Geschlecht, Vorerkrankungen, vorherige Operationen und die morphologischen Gegebenheiten des Hüftgelenks. Ninh et al. ordnen dem männlichen Geschlecht ein größeres Luxationsrisiko zu. Dies soll durch einen durchschnittlich kleineren Center-Edge Angle erklärt werden (80). Vergleichbare Studien bestätigen diesen Verdacht jedoch nicht und finden keinen Unterschied bei einem Vergleich des Geschlechts (81, 82). In Bezug auf die Vorerkrankungen sollen besonders Krankheiten, die Einfluss auf Motorik und Kognition haben, eine Rolle spielen. Dazu gehören z.B. neurologische Erkrankungen wie Demenz und Parkinson. Ninh et al. zeigen eine starke Assoziation zwischen kognitiver Einschränkung und Luxation (54,5% bei Patienten mit Luxation versus 18,8% bei Patienten ohne Luxation) (80). Jedoch gibt es auch Studien, die einen deutlich kleineren oder gar keinen Effekt der kognitiven Einschränkung auf die Luxationsrate zeigen (82, 83). Zu den morphologischen Faktoren zählen häufig: das femorale Offset, der bereits erwähnte Center-Edge Angle und der Acetabular Index. Diese Parameter

können über ein präoperatives Röntgenbild bestimmt werden. Das femorale Offset (FO) ist definiert als Distanz zwischen der intramedullären Achse des Femurs und dem Drehzentrum des Femurkopfes. Der Center-Edge Angle (CEA) wird zwischen der vertikalen Linie, die durch das Drehzentrum des Hüftkopfes verläuft und der Linie, die durch das Drehzentrum und zum lateralsten Aspekt des Acetabulums zieht, gemessen. Ein kurzes ipsilaterales bzw. ein langes kontralaterales femorales Offset sowie ein kleiner CEA werden als Risikofaktoren beschrieben (84, 85, 86). Der Acetabular Index beschreibt den Winkel zwischen der Horizontalen und dem Dach des Acetabulums, jedoch zeigt dieser in neuen Studien keinen Einfluss auf eine erhöhte Luxationstendenz (10). Neben diesen häufig untersuchten morphologischen Parametern soll es weitere geben, die ebenfalls mit vermehrten Luxationen assoziiert werden. Dazu gehört der „femoral neck-shaft angle“ (FNSA) der kontralateralen Seite, der dem CCD-Winkel entspricht und laut Fakler et al. besonders in Varus-Stellung als Risikofaktor beschrieben wird (86). In letzterer Studie wird auch der sogenannte „femoral/ bipolar head extrusion index“ (FHEI/BHEI) beschrieben, der den Bereich des Femurkopfes bzw. Prothesenkopfes beschreibt, der nicht vom Acetabulum überdacht wird. Ein großer FHEI soll laut dieser Studie ebenfalls begünstigend hinsichtlich einer Prothesenluxation sein. Kizkapan et al. konnten diesen Einfluss nicht feststellen, widersprechen auch mit gegensätzlichen Ergebnissen hinsichtlich des FNSA und beschreiben hier einen mehr valgischen FNSA als Risikofaktor (85).

Operation

Während der operativen Versorgung sollen der operative Zugangsweg, die Operationsdauer, und das Auftreten von Komplikationen die Luxationsrate beeinflussen können. Die Zeitspanne zwischen Diagnosestellung und Operation zählt ebenfalls dazu und erhöht laut Salem et al. nach über 24 Stunden das Risiko für eine Luxation um das Vierfache (82). Als Ursache dafür wird die zunehmende Schwellung der Weichteile beschrieben. Madanat et al. beobachten ebenfalls nach über 48 Stunden ein erhöhtes Risiko für Luxationen. Dabei führe das verlängerte Intervall bis zur Operation zu einer Verschlechterung des physischen Zustandes der Patienten, welcher Stürze begünstigen soll und somit ein erhöhtes Risiko für Luxationen als Sekundärfolge hat (84). Jedoch muss in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden, dass gerade Risikopatienten häufig nicht zeitnah operiert werden können, da ihr Organismus initial nicht bereit für eine Narkose ist und die Zeitspanne somit keinen

direkten Einfluss auf das Luxationsrisiko hat (10). Graulich et al. beobachten eine verlängerte Operationsdauer als Risikofaktor. Gleichzeitig wird dieser Zusammenhang jedoch mit der Erfahrung der Operateure erklärt (87). Auch in anderen Studien wird berichtet, dass es bei weniger erfahrenen Operateuren zu längeren Operationszeiten und häufiger zu Luxationen kommt (88, 89). In einer Studie von Salem et al., die 3525 Schenkelhalsfrakturen über elf Jahre lang beobachteten, wurde kein Unterschied der Luxationsraten in Bezug auf die Erfahrung der Operateure detektiert. Ein entscheidender Faktor jedoch scheint der operative Zugangsweg zu sein. In zahlreichen Studien wird der posteriore Zugang als Risikofaktor für Prothesenluxation beschrieben (10). Wang et al. beschreiben den posterioren Zugang sogar als einzigen Risikofaktor mit starker Evidenz (41). Rogmark et al. demonstrieren in einer Analyse des norwegischen und schwedischen nationalen Hüftfraktur-Registers, dass es unter Verwendung des posterioren Zugangs bei dem Kollektiv von 33.205 Patienten häufiger zu Luxationen kommt (90). Es gibt einige wenige Studien, die keine Zunahme von Luxationen beim posterioren Zugang zeigen (81). Jedoch gibt es keine Literatur, die eine geringere Luxationsrate bei Verwendung dieses Zuganges nachweist.

Operateur

Wie im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, ist die Erfahrung des Operateurs als potenzieller Faktor der Prothesenluxation umstritten (10). Weitere Faktoren, die abhängig vom Operateur sind: Position des Implantats sowie das femorale Offset der Prothese, Restlänge des resezierten Femurhalses (RFN) und eine postoperative Beinlängendifferenz (LLD). Wie schon bei den patientenbezogenen Faktoren beschrieben, wird ein verringertes ipsilaterales Offset im Vergleich zu einem größeren kontralateralen Offset mit einer erhöhten Luxationstendenz assoziiert (84, 80). Ninh et al. benennen zusätzlich eine kurze Restlänge des Femurhalses (13 Millimeter in der Gruppe der Prothesenluxationen versus 16 Millimeter in der Kontrolle, $P= 0.029$) als entscheidender Faktor (80). Wang et al. bewerten in ihrem aktuellen Review dessen Evidenz jedoch als limitiert (41). Gleiches gilt für die Beinlängendifferenz. Während Li et al. und Mukka et al. eine große LLD als Risikofaktor benennen, können Kizkapan et al. und Zhang et al. keinen Unterschied nachweisen (91, 92, 93).

2 Material und Methoden

2.1 Datenerhebung

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer retrospektiven Datenanalyse von 434 Patienten, die aufgrund einer Schenkelhalsfraktur zwischen dem 01.01.2016 und dem 31.12.2020 mit einer Duokopfprothese im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Mainz versorgt wurden. Dazu erfolgte eine Recherche nach den ICD-Codes S72.0, S72.1 und S72.2 für die mediale Schenkelhalsfraktur sowie der OPS-Ziffer für die Duokopfprothese. Mithilfe des elektronischen Informationssystems SAP der Uniklinik Mainz konnten folgende Daten analysiert und dokumentiert werden: Personendaten, Diagnosen, OP-Berichte, Radiologische Diagnostik, Pflegeprotokolle, Arztbriefe und Verlaufsdokumentationen. Die erhobenen Daten wurden im Anschluss über das Programm Excel (Microsoft) in einer digitalen Datenbank gesammelt.

Zu den relevanten Daten im Analyseprotokoll gehören: Alter, Geschlecht, Begleiterkrankungen (Morbus Parkinson und Demenz), Operationsdauer, Zeitspanne zwischen Diagnose und Operation, Zeitpunkt der Operation (Tagesbetrieb oder Dienst), operativer Zugangsweg, sowie morphologische Parameter, die anhand der prä- und postoperativen Röntgenbilder gemessen wurden. Die Begleiterkrankungen konnten über das elektronische Informationssystem SAP ermittelt werden. Dabei wurde notiert, ob die Patienten an Morbus Parkinson oder einer Demenz gelitten haben. Die „Operationsdauer“ wurde als Schnitt- zu Naht-Zeit definiert und konnte ebenfalls mithilfe der elektronischen Patientenakte dokumentiert werden. Als „Zeit bis zur Operation“ wurde die Zeitspanne zwischen dem Aufnahmezeitpunkt des präoperativen Röntgenbildes (erstmalige Diagnosestellung der Schenkelhalsfraktur) und der Schnitt-Zeit gemessen. Als „Zeitpunkt der Operation“ wurde die Schnitt-Zeit definiert. Daraus ergaben sich zwei Kategorien: Tagbetrieb und Dienst. Wurden die Patienten zwischen 8:00 Uhr und 17:00 Uhr operiert, zählte dies als „Tagbetrieb“. Kam es außerhalb dieses Zeitraumes zur Operation, wurden diese Patienten zu dem Operationszeitpunkt „Dienst“ zugeordnet. Die Art des „operativen Zugangsweges“ konnte durch den Operationsbericht erfasst werden. Kam es zu einem Luxationsereignis, konnte dies ebenfalls über das SAP-System detektiert werden. Die morphologischen Parameter wurden anhand der postoperativen Röntgenaufnahmen gemessen. Diese Messungen erfolgten über die Software Sectra® von Sectra Medical Systems GmbH, die aktuell in der Uniklinik Mainz zur Auswertung radiologischer Daten

verwendet wird. Nach Kalibrierung der Bilder konnten folgende anatomische Parameter ausgemessen werden: Center-Edge Angle (CEA), femoraler Hals-Schaft Winkel (FNSA), femorales Offset ipsilateral (FOi) und kontralateral (FOk), Restlänge des Femurhalses (RFN), Beinlängendifferenz (LLD), sowie BHEI und FHEI (femoral bzw. bipolar head extrusion index) (siehe Abb. 26, 27). Der CEA definiert sich als Winkel zwischen der vertikalen Linie, die durch das Drehzentrum des Hüftkopfes verläuft und der Linie, die durch das Drehzentrum und zum lateralsten Aspekt des Acetabulums zieht. Dazu wurde beidseits jeweils der Mittelpunkt bzw. das Drehzentrum des Femurkopfes bestimmt und eine horizontale Linie zwischen diesen beiden Punkten gezogen. Von dieser Horizontalen ausgehend, konnte im Winkel von 90° dazu eine Vertikale bestimmt werden. Anschließend konnte der Winkel zwischen dieser Vertikalen und der Linie, die zwischen Drehzentrum und Pfannendachrand verläuft, gemessen werden. Der FNSA beschreibt den Winkel zwischen der Femurschaft- und Femurhalsachse und wurde an der nicht-betroffenen Seite gemessen. Das FO ist definiert als Distanz zwischen der intramedullären Achse des Femurs und dem Drehzentrum des Femurkopfes, entlang eines 90 Grad Winkels. Die RFN beschreibt den Teil des Halses, der nach Operation erhalten bleibt. Um die LLD ermitteln zu können, wird die Höhendifferenz zwischen rechtem und linkem Trochanter minor gemessen. Ist das operierte Bein nach der Operation länger, wird die LLD mit einem positiven Wert angegeben, ist es kürzer, wird die LLD mit einem negativen Wert beschrieben. Der FHEI bzw. BHEI beschreibt den Anteil des Femur-/ Bipolarkopfes, der nicht vom Acetabulum überdeckt ist. Er wird zwischen dem lateralsten Aspekt des Femur-/ Prothesenkopfes und des lateralen Rands des Acetabulums gemessen und in Relation zum Abstand des medialen Teils des Kopfes und des Acetabulumrandes gesetzt.

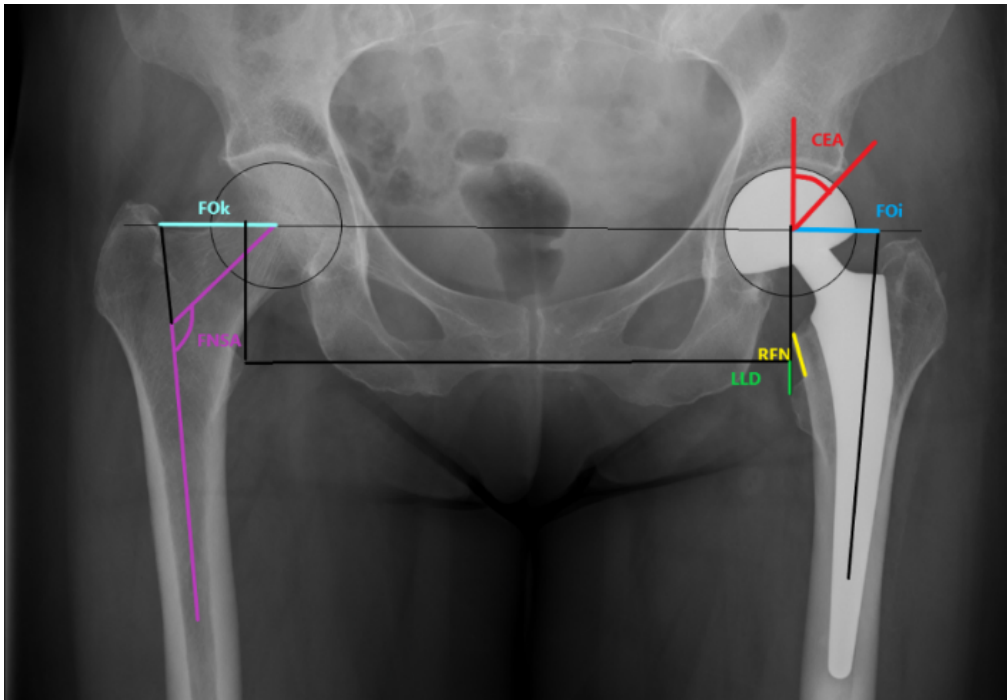


Abbildung 26 Morphologische Parameter: CEA, FOk, FOi, FNSA, RFN und LLD

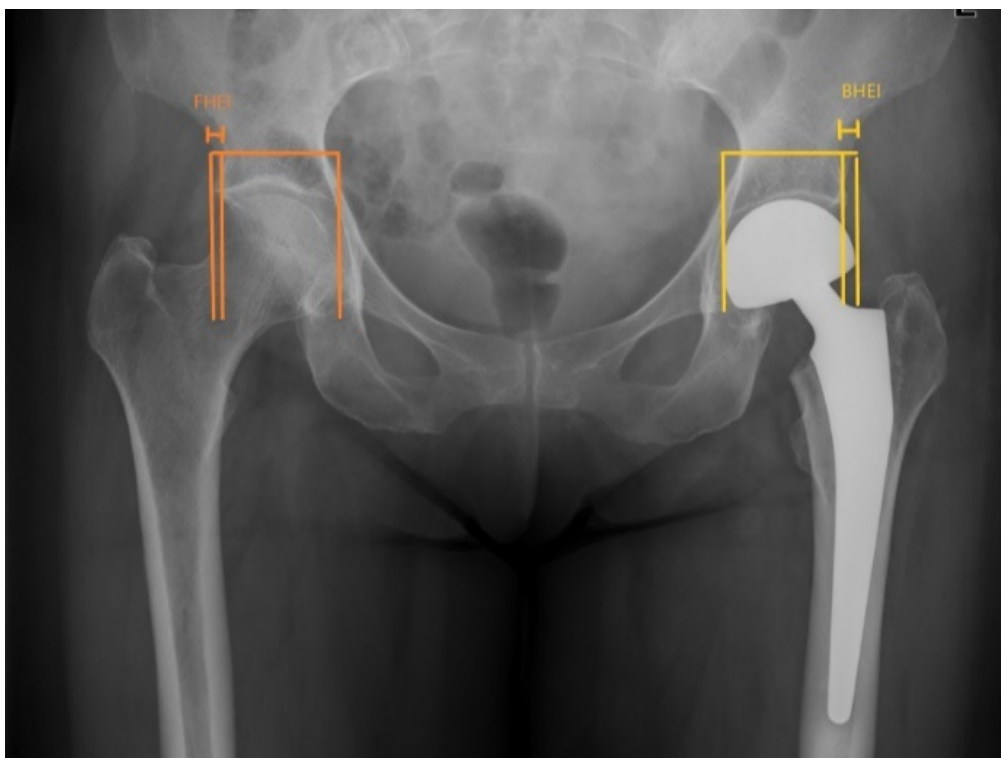


Abbildung 27 Morphologische Parameter: FHEI und BHEI

2.2 Versorgung der Patienten

Bei entsprechendem Befund wurde zunächst die Indikation zur operativen Versorgung gestellt. Alle 434 Patienten wurden im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Mainz operiert. Die operative Versorgung erfolgte wie beschrieben (siehe 1.7.1 Ablauf der Operation). Als Narkose erhielten die Patienten eine Allgemeinanästhesie (Vollnarkose) oder eine Spinalanästhesie. Nach Standard des Hauses erfolgte vor jeder Operation ein Team Timeout und eine Single-Shot Antibiose. Die operativen Eingriffe erfolgten entweder über den anterolateralen Zugang nach Watson-Jones oder den lateralen transglutealen Zugang nach Bauer. Alle Patienten wurden mit einer bipolaren Hemiendoprothese versorgt. 432 von 434 Patienten erhielten ein zementiertes Schaftimplantat, während zwei Patienten ein zementfreies Implantat erhielten. Bei den Kopf-Implantaten handelt es sich um das RingLoc® Bi-Polar Hüftsystem von der Firma Zimmer Biomet. Als Schaftimplantat wurde der Taperloc® Hip Femoral Schaft, ebenfalls von Zimmer Biomet, verwendet.

Alle Patienten erhielten jeweils prä- und postoperativ eine konventionelle Röntgenaufnahme in Form einer Beckenübersichtsaufnahme (anterior-posteriorer Strahlengang) und auf der betroffenen Seite eine Aufnahme im axialen Strahlengang nach Lauenstein. Die Nachbehandlung erfolgte nach einem standardisierten Schema des Hauses: Allgemeine Maßnahmen wie regelmäßige Wundkontrollen, Befundkontrollen und begleitende Verbandswechsel wurden bis zur Entfernung des einliegenden Wundmaterials nach 12 bis 14 Tagen bzw. nach gesicherter Wundheilung vorgenommen. Eine Thromboseprophylaxe erfolgte leitliniengerecht medikamentös mit Dalteparin für insgesamt 28 bis 35 Tage. Dabei konnte diese medikamentöse Prophylaxe zusätzlich durch erlernte Basismaßnahmen (z.B. Eigenaktivierung der Wadenmuskulatur) ergänzt werden. Falls die Hausmedikation der Patienten eine orale Antikoagulation beinhaltete, konnte nach gesicherter Wundheilung die oben genannte medikamentöse Thrombosetherapie durch diese ersetzt, bzw. weitergeführt werden. Die postoperative verordnete Analgesie wurde dem aktuellen Schmerzlevel des Patienten angepasst, um diese schrittweise zu reduzieren. Eine Vollbelastung des betroffenen Beines war prinzipiell anzustreben. Dabei sollte der Übungsumfang diametral zum Abklingen der postoperativen Wundreaktion, Schwellung und Schmerz gesteigert werden.

2.3 Datenauswertung

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universität Mainz. Dabei wurden alle Daten stets unter Wahrung der Datenschutzbestimmungen bearbeitet. Die Analysen des IMBEI wurden mit dem Programm „R“ Version 4.0.2 vorgenommen. Alle Grafiken wurden mit dem R-Paket „ggplot2“ erstellt. Alle weiteren statistischen Analysen wurden mit dem Programm GraphPad Prism 9.5.0 durchgeführt. Zunächst wurden eindimensionale deskriptive Statistiken und Diagramme für alle Variablen von Interesse erstellt. Daten und Uhrzeiten mussten dafür in ein geeignetes Format umgewandelt werden. Dies diente zur Überprüfung der Datenqualität sowie zur Einschätzung bezüglich Lage und Streuung der Daten. Es folgte eine zweidimensionale (bivariate) Analyse mit der Variable „Luxation“ + mögliche Prädiktoren für die Luxation. Wie bereits in ähnlichen Studien angedeutet, zeigte sich hier besonders der CE-Angle als möglicher Prädiktor einer Prothesenluxation. Anschließend wurden Vorhersagemethoden ermittelt, die das Risiko einer Luxation anhand des CE-Angle voraussagen sollen. Zunächst wurde die Vorhersagemethode von Zhang et al. an den hier ermittelten Daten angewendet (93). Um alle möglichen Metriken für die Bewertung eines Ja/Nein-Prädiktors erstellen zu können, wurde zunächst eine Konfusionsmatrix aufgestellt. Es zeigte sich, dass diese Vorhersagemethode anhand eines Schwellenwertes von $\leq 45,4^\circ$ nur unzureichend funktionierte. Daher wurde überprüft, wie gut die vorliegenden Daten mit anderen Cut-off-Winkeln funktionierten. Die erreichbare Vorhersagegüte mit unterschiedlichen Cut-offs zeigte die Receiver Operating Characteristic (ROC) Kurve sowie die Kurve mit dem möglichen Positive Predictive Value für unterschiedliche Cut-off-Winkel. Anschließend sollten weitere Variablen detektiert werden, die neben dem CE-Angle zur Vorhersage einer Luxation verwendet werden können. Dafür wurden logistische Regressionsmodelle verwendet, bei denen die unabhängigen Variablen mit einer datenbasierten Methode automatisch ausgewählt wurden.

Nachdem so eine erste Übersicht der Daten gegeben war, entschied man sich, weitere aufwendigere Parameter mit einer konfirmatorischen Analyse innerhalb einer Untergruppe zu überprüfen. Dies sollte im Rahmen eines Nested Case-Control Designs erfolgen. Um die Gruppen mit und ohne Luxation bezüglich Risikofaktoren besser vergleichen zu können, wurden einem luxierten Patienten jeweils fünf Kontrollen zugeordnet. So standen elf Luxationen 55 Kontrollen gegenüber (1:5), die

hinsichtlich des Geschlechts und Alters gemacht wurden. Bei diesen 66 Patienten wurden weitere morphologische Parameter (FOi, FOk, FNSA, RFN, LLD, BHEI und FHEI), sowie der operative Zugangsweg erhoben und in das Programm GraphPad Prism eingepflegt. Es folgte eine zweidimensionale (bivariate) Analyse mit der Variable „Luxation“ + mögliche Prädiktoren für die Luxation.

Kontinuierliche Variablen wurden durch Anwendung des Kolmogorov-Smirnov Tests auf eine Normalverteilung geprüft. Falls eine Normalverteilung der Daten vorlag, konnte der ungepaarte t-Test erfolgen und die Ergebnisse in Form von Mittelwert und Standardabweichung (SD) angegeben werden. Als nicht-parametrische Alternative erfolgte der Mann-Whitney-U-Test, bei dem die ermittelten Werte in Median und Interquartilabstand (IQR) angegeben wurden. Für kategoriale Variablen fand der Chi-Quadrat-Test Anwendung. P-Werte <0.05 wurden als statistisch signifikant gewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Patientenkollektivs

Bei den insgesamt 434 Patienten handelte es sich um 165 Männer und 269 Frauen. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 81,9 Jahren. Von den 434 Patienten litten 180 Personen an Demenz und 38 an Parkinson. Bei elf Patienten kam es zu einer Luxation (2,5%). Die Zeitspanne zwischen Diagnose und Operation lag durchschnittlich bei circa 32,5 Stunden, während die Operationsdauer 73,5 Minuten betrug. Operiert wurden 335 Patienten im regulären Tagbetrieb zwischen 8:00Uhr und 17:00Uhr und 88 Patienten außerhalb dieses Zeitfensters.

3.2 Statistische Ergebnisse – Vergleich Gesamtkollektiv

3.2.1 Alter

Das Durchschnittsalter aller Patienten lag bei 81,9 Jahren. Die Altersspanne erstreckte sich dabei von 45 bis 100 Jahre. Die weiblichen Patienten waren durchschnittlich 82,1 Jahre und die männlichen 81,4 Jahre alt. Bei den Kontrollen lag der Median bei 81,9 (IQR 78-87) Jahren, während der Median bei den Patienten mit Luxation bei 79,6 (IQR 75-88) Jahren lag. Damit zeigte sich bezüglich des Alters kein Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0.3563$, siehe Tab. 1 & Abb. 28).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
Alter			
Median + (IQR)	81,9 (78-87)	79,6 (75-88)	0.3563

Tabelle 1 Ergebnisse Gesamtkollektiv: Alter - Kontrolle vs. Luxation

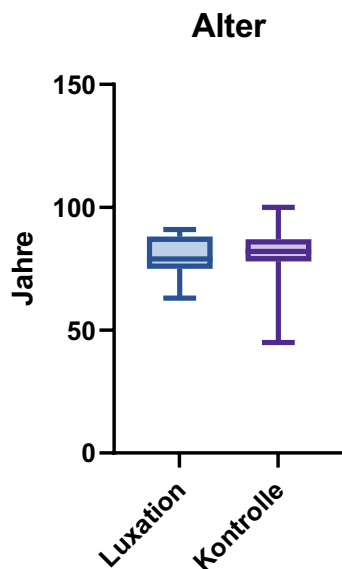


Abbildung 28 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Alter - Kontrolle vs. Luxation

3.2.2 Geschlecht

Die Kontrollgruppe bestand aus 260 Frauen (61,47%) und 163 Männern (38,53%). Von insgesamt elf Patienten mit Luxationen erlitten neun Frauen (81,82%) und zwei Männer (18,18%) eine Luxation. Es war von keinem Einfluss des Geschlechts auf die Luxationsrate auszugehen ($p=0.1698$, siehe Tab. 2 & Abb. 29).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
Geschlecht			0.1698
Weiblich	260 (61,47%)	9 (81,82%)	
Männlich	163 (38,53%)	2 (18,18%)	

Tabelle 2 Ergebnisse Gesamtkollektiv: Geschlecht - Kontrolle vs. Luxation

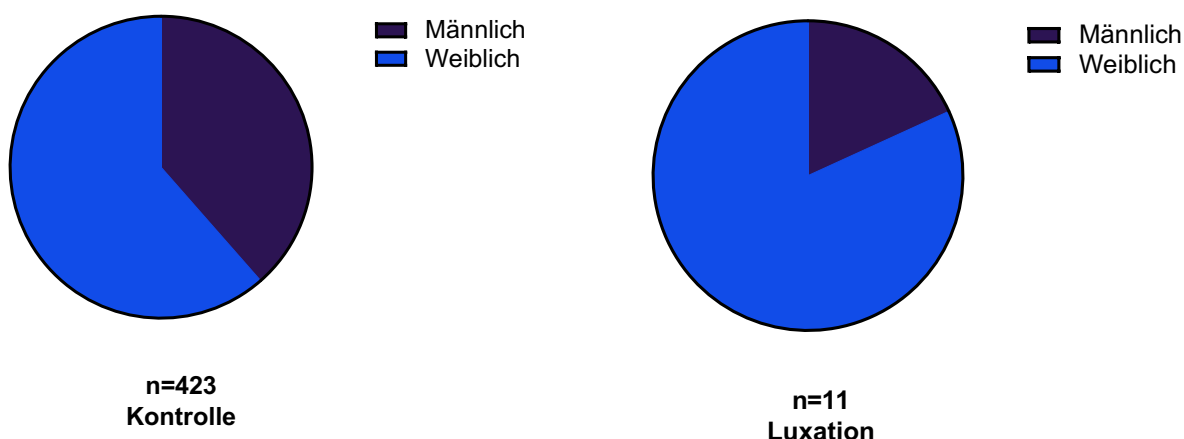


Abbildung 29 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Geschlecht - Kontrolle vs. Luxation

3.2.3 Neurologische Vorerkrankungen

Demenz

Insgesamt konnte bei 180 Patienten eine Demenz diagnostiziert werden. Von den elf Patienten mit Luxationen litten drei Patienten an Demenz (27,27%). In der Kontrollgruppe konnten 177 Demenzkranke detektiert werden (41,84%). Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p=0.3328$, siehe Tab. 3 & Abb. 30).

	Kontrolle <i>(n= 423)</i>	Luxation <i>(n= 11)</i>	p-Wert
Demenz	177 (41,84%)	3 (27,27%)	0.3328

Abbildung 30 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Demenz - Kontrolle vs. Luxation

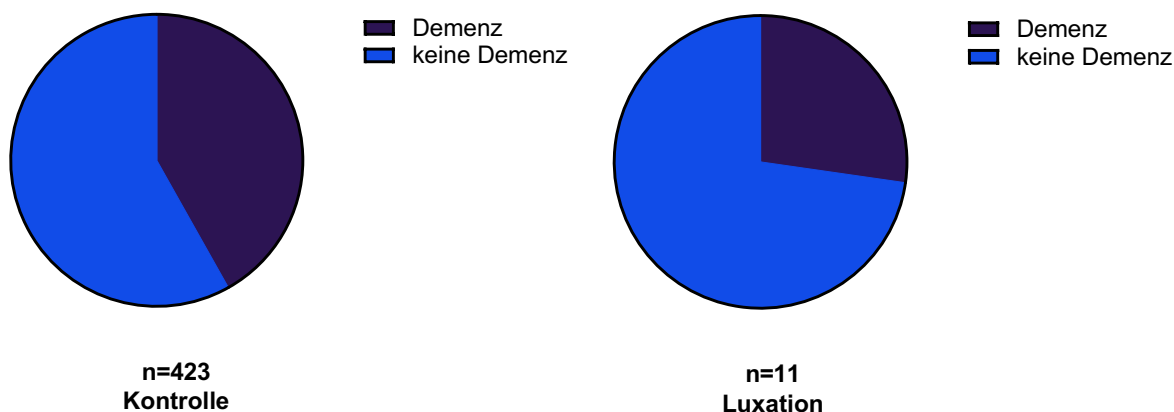


Abbildung 30 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Demenz - Kontrolle vs. Luxation

M. Parkinson

Von den 38 Patienten, die an Parkinson erkrankt waren, erlitt kein einziger Patient eine Luxation. Daher konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen ermittelt werden ($p=0.2980$, siehe Tab. 4 & Abb. 31).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
M. Parkinson	38 (8,98%)	0 (0,0%)	0.2980

Tabelle 4 Ergebnisse Gesamtkollektiv Morbus Parkinson - Kontrolle vs. Luxation

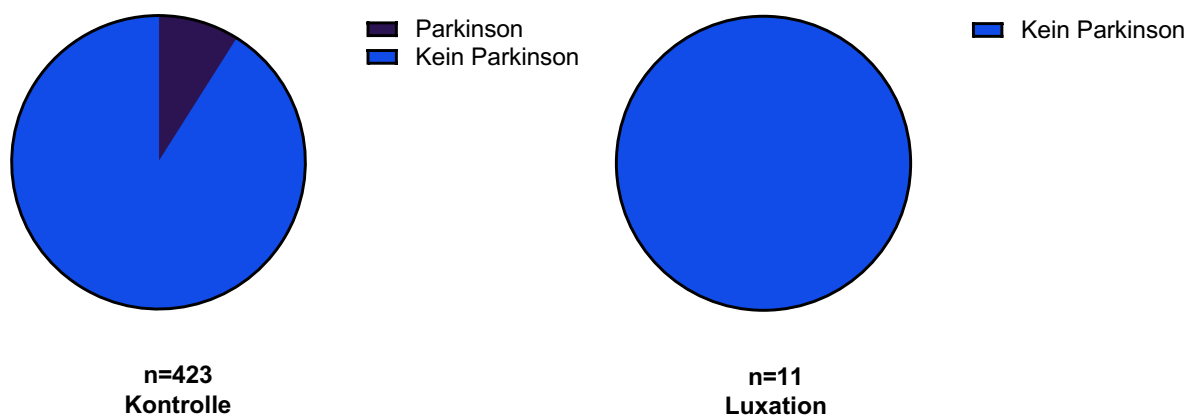


Abbildung 31 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Morbus Parkinson - Kontrolle vs. Luxation

3.2.4 Zeitlicher Abstand zwischen Diagnose und Operation

Als Mittelwert des zeitlichen Abstandes zwischen Diagnose und Operation ergab sich im Gesamtkollektiv eine Dauer von 32,5 Stunden. Dabei betrug das kürzeste Zeitintervall 54 Minuten und das längste 280 Stunden. Bei den Patienten in der Kontrollgruppe lag der Median bei 24,4 (IQR 17,4-42) Stunden und bei den luxierten Prothesen bei 23,1 (IQR 11,3-25) Stunden. Somit zeigte sich kein Unterschied hinsichtlich des zeitlichen Abstandes zwischen Diagnose und Operation zwischen den Gruppen ($p=0.3666$, siehe Tab. 5 & Abb. 32).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
Zeit bis OP in Stunden			
Median + (IQR)	24,4 (17,4-42)	23,1 (11,3-25)	0.3666

Tabelle 5 Ergebnisse Gesamtkollektiv Zeitlicher Abstand zwischen Diagnose und Operation - Kontrolle vs. Luxation

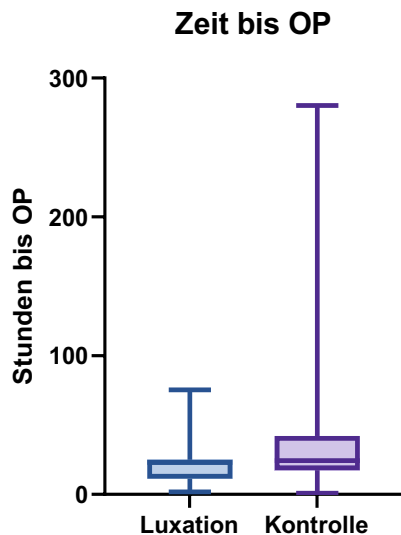


Abbildung 32 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Zeit bis OP - Kontrolle vs. Luxation

3.2.5. Operationsdauer

Im Gesamtkollektiv dauerte die kürzeste Operation 24 Minuten, die längste Operation 238 Minuten. Bei einem Median der Operationsdauer in der Kontrollgruppe von 70 (IQR 55-85) Minuten ergab sich kein Unterschied zur Gruppe der luxierten Prothesen mit 76 (IQR 58-87) Minuten ($p= 0.6302$, siehe Tab. 6 & Abb. 33).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
OP-Dauer in Minuten			
Median + (IQR)	70 (55-85)	76 (58-87)	0.6302

Tabelle 6 Ergebnisse Gesamtkollektiv Operationsdauer - Kontrolle vs. Luxation

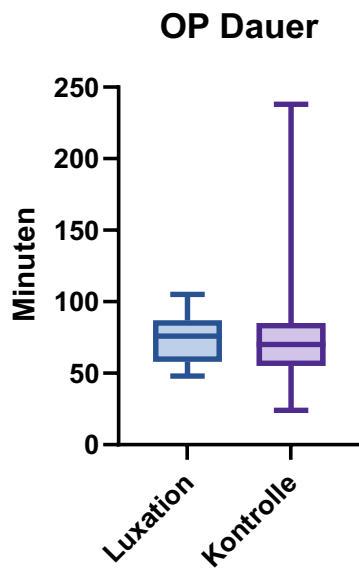


Abbildung 33 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Operationsdauer - Kontrolle vs. Luxation

3.2.6 Zeitpunkt der Operation

Während 335 Patienten im regulären Tagbetrieb zwischen 8:00Uhr und 17:00Uhr operiert wurden, wurde bei 88 Patienten eine operative Versorgung außerhalb dieser Zeit im Nachtdienst von den diensthabenden Ärzten vorgenommen. In der Gruppe „Luxation“ wurden fünf Patienten (45,45%) und aus der Kontrollgruppe 83 (20,15%) Patienten in letztgenanntem Zeitraum operiert. Damit übertrifft der prozentuale Anteil der Patienten mit Luxationen, die im Nachtdienst operiert wurden, den der Kontrolle deutlich ($p=0.0413$, siehe Tab. 7 & Abb. 34).

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	<i>p-Wert</i>
Zeitpunkt OP			0.0413*
Tagbetrieb	329 (79,85%)	6 (54,55%)	
Nachtdienst	83 (20,15%)	5 (45,45%)	

* $p < 0.05$

Tabelle 7 Ergebnisse Gesamtkollektiv Zeitpunkt der Operation - Kontrolle vs. Luxation

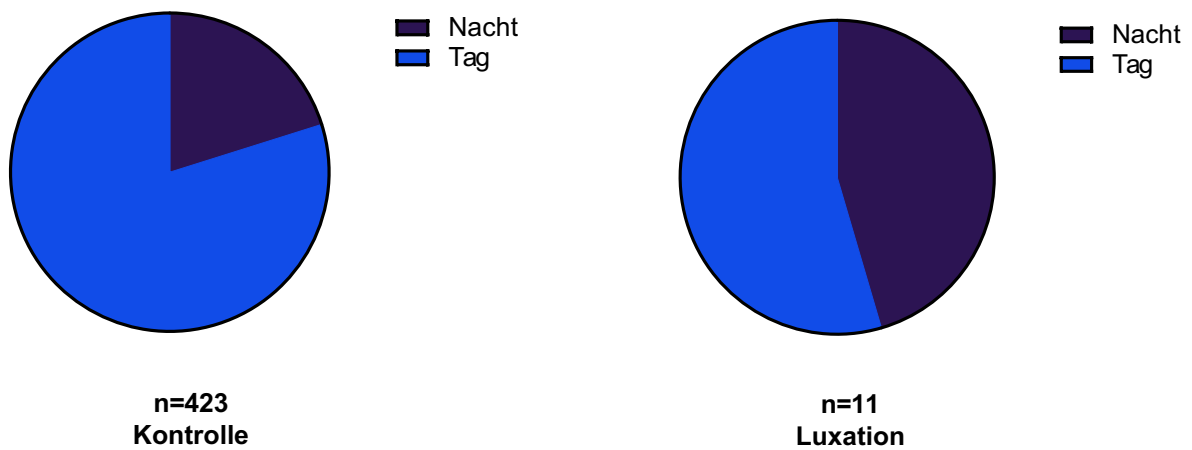


Abbildung 34 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Zeitpunkt OP - Kontrolle vs. Luxation

3.2.7 Center-Edge Winkel

Im vorliegenden gesamten Patientenkollektiv konnte der Mittelwert des CE-Winkels mit $38,8^\circ$ angegeben werden. Die Kontrollgruppe zeigte einen CE-Winkel Median von $38,7$ (IQR $34,3-43,3$) Grad, während die Patienten mit Luxation einen deutlich niedrigeren Median von $29,2$ (IQR $27,8-37,0$) Grad aufwiesen ($p=0.0001$, siehe Tab. 8 & Abb. 35)

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
CE-Winkel in Grad			
Median + (IQR)	38,7 (34,6-43,3)	29,2 (27,8-37,0)	0.0001***

*** $p < 0.001$

Tabelle 8 Ergebnisse Gesamtkollektiv Center-Edge Winkel - Kontrolle vs. Luxation

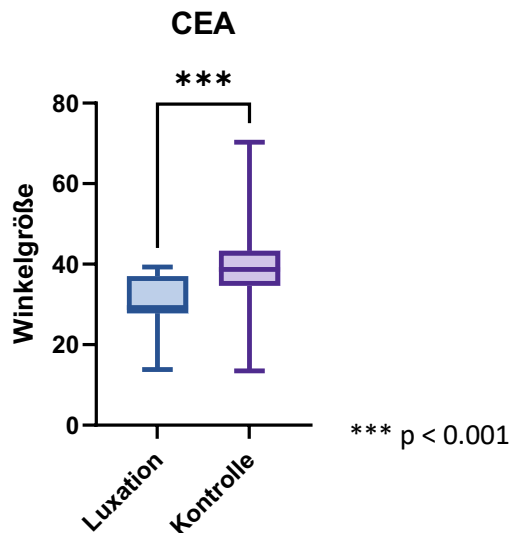


Abbildung 35 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: CEA - Kontrolle vs. Luxation

3.2.8 Übersicht Gesamtkollektiv

	Kontrolle (n= 423)	Luxation (n= 11)	p-Wert
Alter	81,9 (78-87)	79,6 (75-88)	0.3563
Geschlecht			0.1698
<i>Weiblich</i>	260 (61,47%)	9 (81,82%)	
<i>Männlich</i>	163 (38,53%)	2 (18,18%)	
Demenz	177 (41,84%)	3 (27,27%)	0.3328
M. Parkinson	38 (8,98%)	0 (0,0%)	0,2980
Zeit bis OP (h)	24,4 (17,4-42)	23,1 (11,3-25)	0.3666
OP-Dauer (min)	70 (55-85)	76 (58-87)	0.6302
Zeitpunkt OP			0.0413*
<i>Tagbetrieb</i>	329 (79,85%)	6 (54,55%)	
Nachtdienst	83 (20,15%)	5 (45,45%)	
CE-Winkel (°)	38,7 (34,6-43,3)	29,2 (27,8-37,0)	0.0001***

Alle Werte werden als Median mit Interquartilabstand (25% Perzentile – 75% Perzentile) oder als absolute Zahlen mit Prozenten angegeben, * p < 0,05; *** p < 0.001

Tabelle 9 Übersicht Ergebnisse Gesamtkollektiv

3.3 Vorhersagemodell

Die bei Zhang et al. beschriebene Vorhersagemethode sollte an vorliegenden Daten geprüft werden (93). Dazu wurden Konfusionsmatrizen von Grenzwerten erstellt, die in einer ROC-Kurve zusammengefasst wurden. Es zeigte sich, dass diese Vorhersagemethode ($CEA < 45,5^\circ = \text{Luxation}$) keine ausreichende Spezifität erreichte. Daher wurde überprüft, wie gut die vorliegenden Daten mit niedrigeren Cut-off-Winkeln funktionierten. Die erreichbare Vorhersagegüte mit unterschiedlichen Cut-offs zeigte die ROC-Kurve sowie die Kurve mit dem möglichen Positive Predictive Value für unterschiedliche Cut-off-Winkel. Als scheinbar optimaler Cut-off-Winkel konnte ein Wert von 25° angegeben werden. Nachfolgend sollten zusätzliche Variablen gefunden werden, die sich neben dem CE-Winkel als Vorhersage eignen. Als Methode dafür wurden logistische Regressionsmodelle verwendet. Dabei handelte es sich um solche, bei denen die unabhängigen Variablen mit einer datenbasierten Methode automatisch ausgewählt wurden. Eine schrittweise Modellauswahl erfolgte unter Berücksichtigung des AIC-Kriteriums (Akaike-Informationskriterium). So konnte eine zusätzliche Variable neben dem CE-Winkel zur Vorhersage identifiziert werden: der Zeitpunkt der Operation. Da die logistischen Regressionsmodelle Wahrscheinlichkeiten für die Luxation ausgeben, musste hier ein Wahrscheinlichkeits-Cut-off für eine Ja/Nein-Vorhersage festgelegt werden (analog zum CE-Winkel-Cut-off). Die dazugehörigen ROC-Kurven ließen sich dann auch genauso für diesen Cut-off bestimmen. Letztendlich konnten dann die mit einem optimalen Cut-off vorhergesagten Patienten als Liste ausgegeben werden.

ROC-Kurve für CE-Winkel und Luxation

Die ROC-Kurve zeigt die verschiedenen Kombinationen von Richtig-Positiv-Rate (=Sensitivität) und Falsch-Positiv-Rate ($100\% - \text{Spezifität}$), die durch Vorhersage der Luxation auf der Grundlage des CE-Winkels und Variation des Schwellenwinkels erreicht werden können (siehe Abb.36).

```

## Confusion Matrix and Statistics
##
##           Reference
## Prediction  0    1
##           0    69    0
##           1   354   11
##
##           Accuracy : 0.1843
##           95% CI : (0.149, 0.2241)
##           No Information Rate : 0.9747
##           P-Value [Acc > NIR] : 1
##
##           Kappa : 0.0098
##
## Mcnemar's Test P-Value : <2e-16
##
##           Sensitivity : 1.00000
##           Specificity : 0.16312
##           Pos Pred Value : 0.03014
##           Neg Pred Value : 1.00000
##           Prevalence : 0.02535
##           Detection Rate : 0.02535
##           Detection Prevalence : 0.84101
##           Balanced Accuracy : 0.58156
##
##           'Positive' Class : 1
##

```

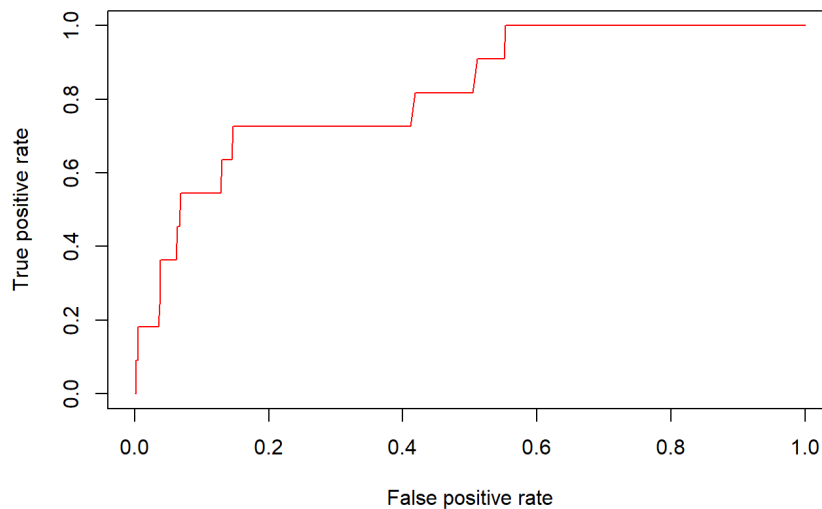


Abbildung 36 ROC-Kurve der unterschiedlichen CE-Winkel Schwellenwerte

Die Auswahl eines CE-Winkel Cut-off Wertes basierte auf dem positiv prädiktiven Wert (PPV). Für einen PPV um 30% konnte ein CE-Winkel kleiner als $<25^\circ$ für die Vorhersage verwendet werden (siehe Abb. 37).

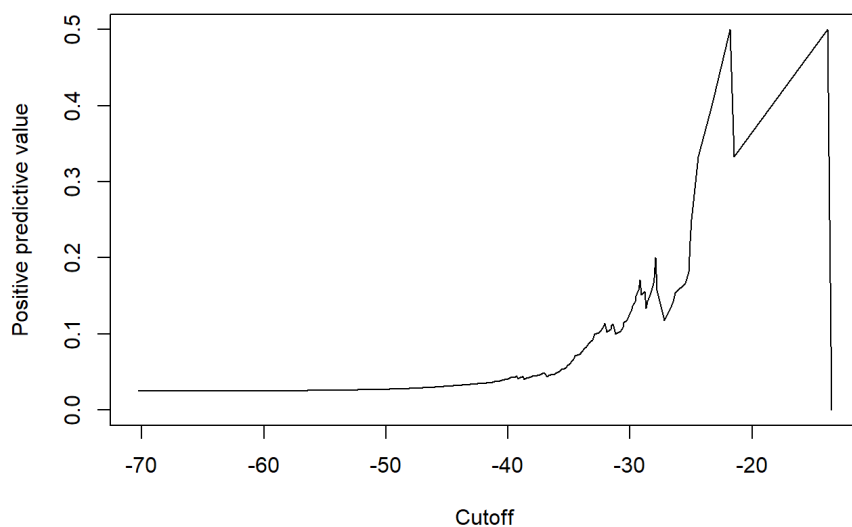


Abbildung 37 PPV in Abhängigkeit zu Cut-off-Winkel

Daraus ergaben sich sechs Patienten mit prognostizierten Luxationen. Davon wurden zwei korrekt vorhergesagt, so dass dieses Verfahren zwei von elf Luxationspatienten abdeckte (siehe Tab. 38).

	Alter	Sex	Seite	ce.angle	Länge.des.Vorgangs	demenz.binär
2	82	f	R	13.5	92	1
66	72	f	L	13.8	69	0
287	63	f	R	24.4	53	0
305	89	f	R	21.8	78	0
330	84	m	L	21.5	58	1
426	91	f	R	23.3	89	0

	parkinsons.binary	operation.hour	zeit.bis.op.hours	luxation.binary
2	0	14	28	0
66	0	13	23	1
287	0	19	21	0
305	0	17	75	1
330	0	13	22	0
426	0	16	2	0

Abbildung 38 Tabelle Patientendaten mit CE-Winkel <25°

Vorhersage der logistischen Regression

Das Modell erzeugt für jeden Patienten eine Luxationswahrscheinlichkeit. Diese Wahrscheinlichkeit muss dann in eine Vorhersage umgewandelt werden: 1/0-Luxation basierend auf einem Schwellenwert. Die ROC-Kurve zeigt die möglichen Kombinationen von Sensitivität und Spezifität, die mit den Luxationswahrscheinlichkeiten aus dem Regressionsmodell erreicht werden können, indem der Schwellenwert variiert wird (siehe Abb. 39).

```
##  
## Call:  
## glm(formula = luxation.binary ~ ce.angle + operation.hour, family = binomial,  
##      data = data.reg)  
##  
## Deviance Residuals:  
##      Min       1Q   Median       3Q      Max  
## -1.3016  -0.2040  -0.1133  -0.0638   3.1745  
##  
## Coefficients:  
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)  
## (Intercept)  -0.17641   1.90886  -0.092  0.92637  
## ce.angle     -0.20618   0.05081  -4.058  4.95e-05 ***  
## operation.hour 0.23195   0.08527   2.720  0.00652 **  
## ---  
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
##  
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)  
##  
## Null deviance: 102.469 on 431 degrees of freedom  
## Residual deviance: 76.137 on 429 degrees of freedom  
## AIC: 82.137  
##  
## Number of Fisher Scoring iterations: 8
```

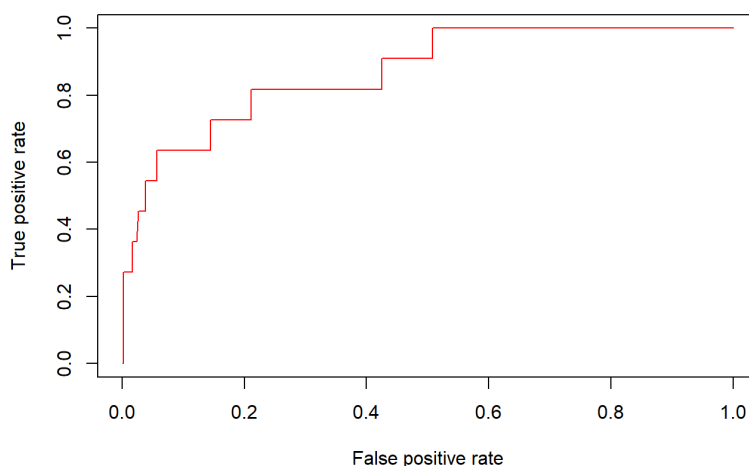


Abbildung 39 ROC-Kurve der logistischen Regression

Die Auswahl der Vorhersageschwelle konnte anhand verschiedener Kriterien erfolgen, z.B. dem Positive Predictive Value (PPV) (siehe Abb. 40).

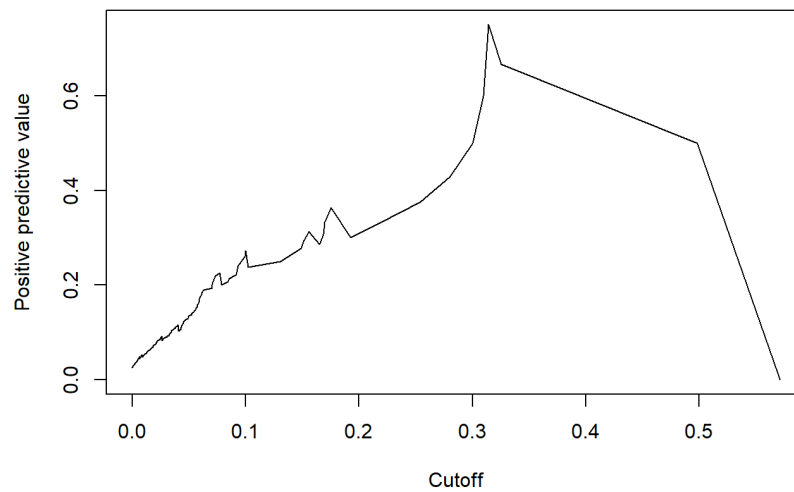


Abbildung 40 PPV in Abhängigkeit zu Cut-off-Winkel

Diese Schwelle führte zu drei Patienten mit prognostizierten Luxationen, von denen zwei korrekt vorhergesagt wurden (siehe Abb. 41).

Table continues below

	age	sex	Seite	ce.angle	length.of.operation	dementia.binary
2	82	f	R	13.5	92	1
66	72	f	L	13.8	69	0
305	89	f	R	21.8	78	0

Table continues below

	parkinsons.binary	operation.hour	time.to.op.hours
2	0	14	28
66	0	13	23
305	0	17	75

	luxation.binary	predicted.luxation
2	0	1
66	1	1
305	1	1

Abbildung 41 Tabelle Patientendaten nach Vorhersagemodell

3.4 Statistische Ergebnisse – Nested Case-Control Subanalyse

In einem Nested Case-Control Studiendesign wurden zusätzlich erhobene potenzielle Risikofaktoren verglichen. Dabei wurden die Patienten in einem Verhältnis von 1:5 nach Geschlecht und Alter gematcht. Somit standen elf Luxationen 55 Kontrollen gegenüber. Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung aufgeführt.

3.4.1 Operativer Zugangsweg

Hinsichtlich des anterolateralen Zugangs standen 29 Patienten (52,73%) in der Kontrollgruppe den vier Patienten (36,36%) mit Luxation gegenüber. Den lateralen Zugang erhielten 26 Patienten (47,27%) in der Kontrollgruppe und sieben Patienten (63,63%) bei den Luxationen. Es zeigte sich kein Unterschied in Hinblick auf den operativen Zugangsweg ($p=0.3218$, siehe Tab. 10 & Abb. 42).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	<i>p-Wert</i>
Operativer Zugangsweg			<i>0.3218</i>
Anterolateral	29 (52,73%)	4 (36,36%)	
Lateral	26 (47,27%)	7 (63,64%)	

Tabelle 10 Ergebnisse Subanalyse Operativer Zugangsweg - Kontrolle vs. Luxation

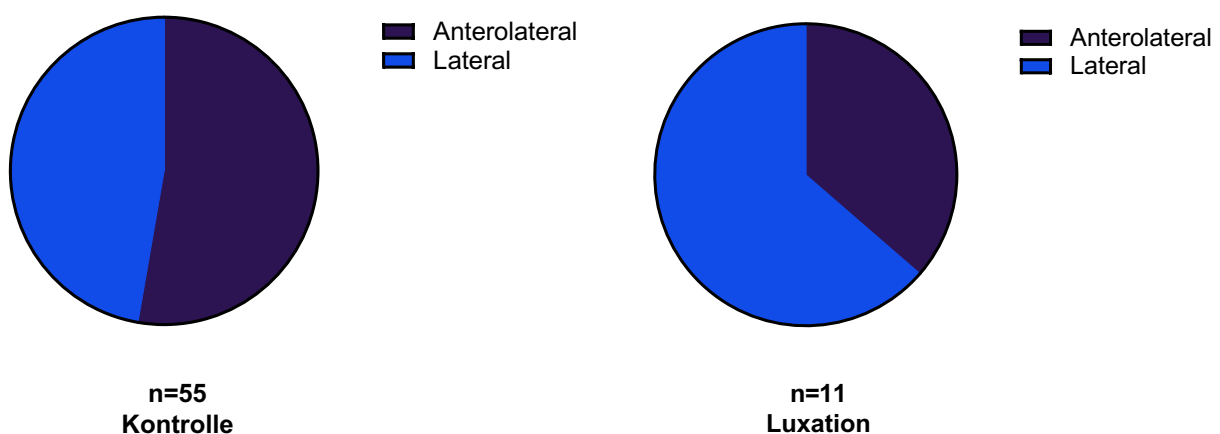


Abbildung 42 Kreisdiagramme Ergebnisse Subanalyse: Operativer Zugangsweg - Kontrolle vs. Luxation

3.4.2 Center-Edge Winkel

Während der Mittelwert des CE-Winkels in der Kontrollgruppe bei 38,5 (\pm 6,5) Grad lag, war er bei den luxierten Prothesen mit 29,8 (\pm 7,5) Grad erniedrigt ($p=0.0002$, siehe Tab. 11 & Abb. 43).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
CEA in Grad			
Mittelwert \pm SD	38,5 \pm 6,5	29,8 \pm 7,5	0.0002***

*** $p < 0.001$

Tabelle 11 Ergebnisse Subanalyse Center-Edge Winkel - Kontrolle vs. Luxation

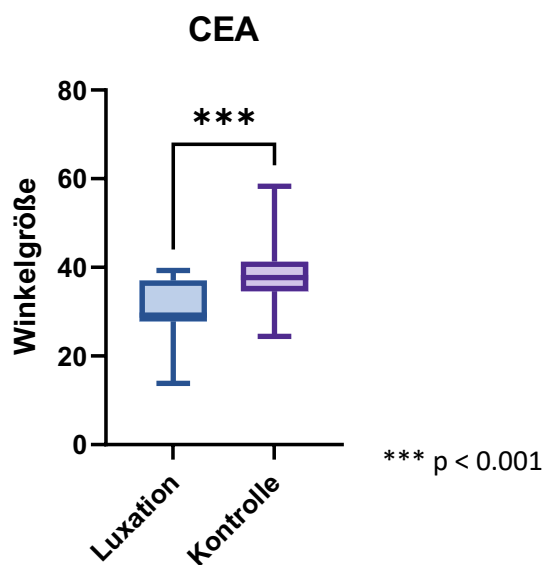


Abbildung 43 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: CEA - Kontrolle vs. Luxation

3.4.3 FNSA

Der „femoral neck shaft angle“ zeigte ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Gruppen. Der Mittelwert in der Kontrollgruppe lag bei 132,4 (\pm 5,2) Grad. Innerhalb der Gruppe mit luxierten Prothesen wurde er mit 141,3 (\pm 6,4) Grad angegeben ($p=< 0.0001$, siehe Tab. 12 & Abb. 44)

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
FNSA in Grad			
Mittelwert ± SD	132,4 ± 5,2	141,3 ± 6,4	<0.0001****

**** p < 0.0001

Tabelle 12 Ergebnisse Subanalyse FNSA - Kontrolle vs. Luxation

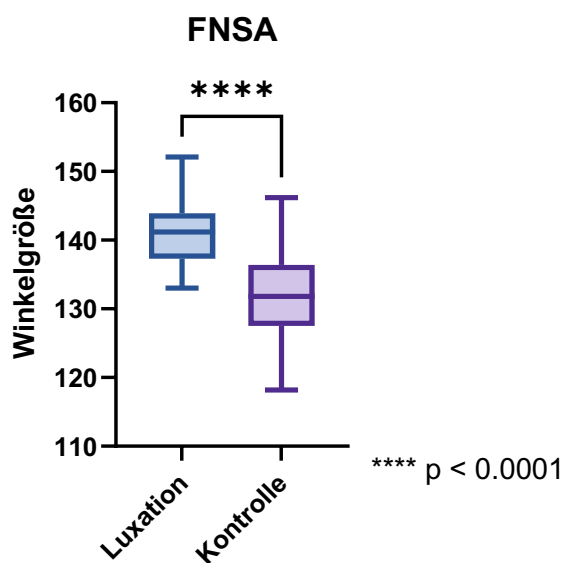


Abbildung 44 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FNSA - Kontrolle vs. Luxation

3.4.4 Offset ipsilateral

Während der Mittelwert des ipsilateralen Offsets in der Kontrollgruppe bei 31,6 (± 6,0) Millimetern lag, wurde er bei den luxierten Prothesen mit 28,3 (± 9,1) Millimetern angegeben. Es ließ sich kein Unterschied feststellen (p=0.1361, siehe Tab. 13 & Abb. 45).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
FOi in Millimeter			
Mittelwert ± SD	31,6 ± 6,0	28,3 ± 9,1	0.1361

Tabelle 13 Ergebnisse Subanalyse FOi - Kontrolle vs. Luxation

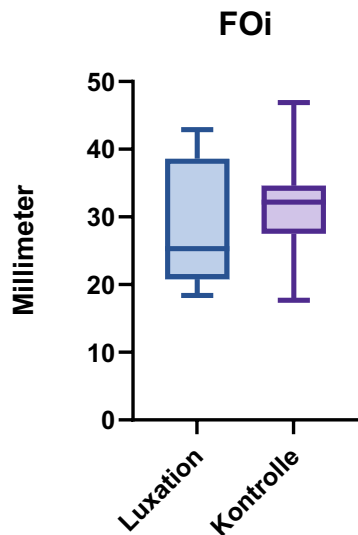


Abbildung 45 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FOi - Kontrolle vs. Luxation

3.4.5 Offset kontralateral

In der Gruppe der Patienten mit Luxationen war das kontralaterale Offset mit einem Median von 32,6 (IQR 25,5-35,2) Millimetern im Vergleich zur Kontrollgruppe mit einem Median von 38,6 (IQR 32,3-41,2) Millimetern erniedrigt ($p=0.0054$, siehe Tab. 14 & Abb. 46).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
FOk in Millimeter			
Median + (IQR)	38,6 (32,3-41,2)	32,6 (25,5-35,2)	0.0054**

** $p < 0.01$

Tabelle 14 Ergebnisse Subanalyse FOk - Kontrolle vs. Luxation

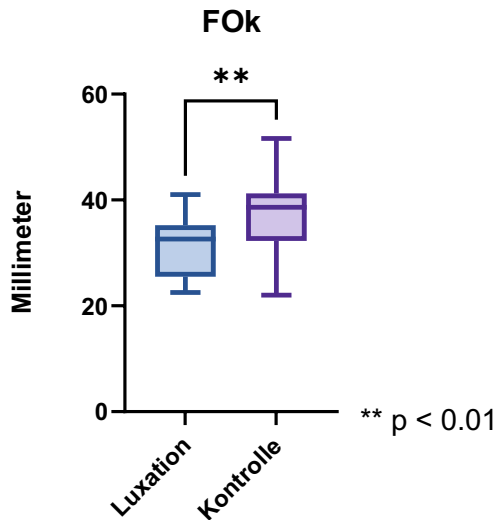


Abbildung 46 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FOk - Kontrolle vs. Luxation

3.4.6 RFN

Hinsichtlich der „residual femoral neck length“ ließ sich kein Unterschied zwischen den Gruppen nachweisen ($14,7 \pm 5,2$ Millimeter vs. $14,7 \pm 7,3$ Millimeter, $p=0.9882$, siehe Tab. 15 & Abb. 47).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
RFN in Millimeter			
Mittelwert \pm SD	$14,7 \pm 5,2$	$14,7 \pm 7,3$	0.9882

Tabelle 15 Ergebnisse Subanalyse RFN - Kontrolle vs. Luxation

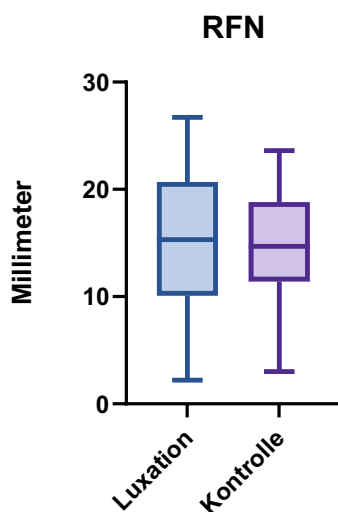


Abbildung 47 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: RFN - Kontrolle vs. Luxation

3.4.7 LLD

Die „leg lenght discrepancy“ lag in der Kontrollgruppe im Mittelwert bei 5,0 (\pm 5,9) Millimetern und im Patientenkollektiv in dem Luxationen auftraten bei 3,7 (\pm 3,9) Millimetern und zeigte damit keinen Unterschied ($p=0.4849$, siehe Tab. 16 & Abb. 48).

	Kontrolle <i>(n= 55)</i>	Luxation <i>(n= 11)</i>	p-Wert
LLD in Millimeter			
Mittelwert \pm SD	5,0 \pm 5,9	3,7 \pm 3,9	0.4389

Tabelle 16 Ergebnisse Subanalyse LLD - Kontrolle vs. Luxation

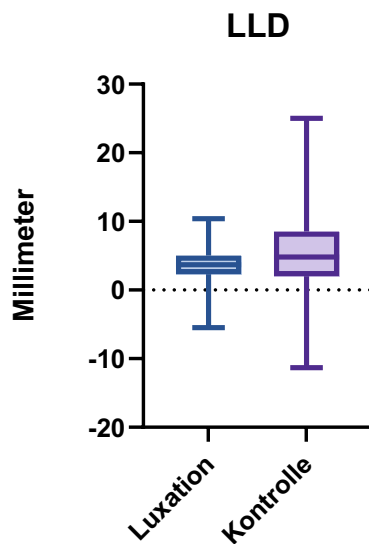


Abbildung 48 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: LLD - Kontrolle vs. Luxation

3.4.8 BHEI

Der „bipolar head extrusion index“ konnte in der Kontrollgruppe mit einem Mittelwert von 12,1 (\pm 4,7) angegeben werden, während er bei den luxierten Prothesen mit 18,5 (\pm 7,5) deutlich erhöht war ($p=0.0004$, siehe Tab. 17 & Abb. 49).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
BHEI			
Mittelwert ± SD	12,1 ± 4,7	18,5 ± 7,5	0.0004***

*** p < 0.001

Tabelle 17 Ergebnisse Subanalyse BHEI - Kontrolle vs. Luxation

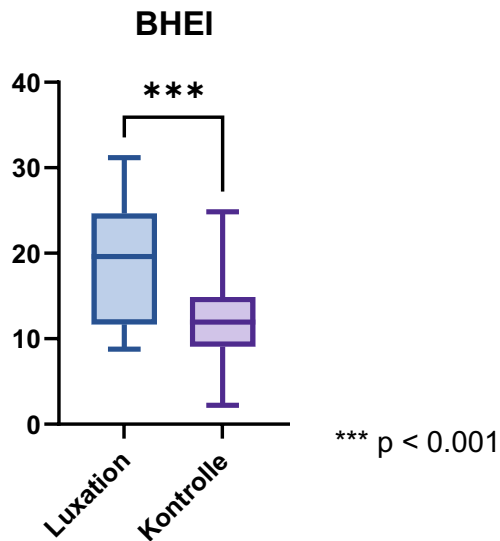


Abbildung 49 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: BHEI - Kontrolle vs. Luxation

3.4.9 FHEI

Hinsichtlich „femoral head extrusion index“ zeigt sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen (9,5 (IQR 5,4-13,6) vs. 10,8 (IQR 6,5-15,6), p= 0.4389, siehe Tab. 18 & Abb. 50).

	Kontrolle (n= 55)	Luxation (n= 11)	p-Wert
FHEI			
Median + (IQR)	9,5 (5,4-13,6)	10,8 (6,5-15,6)	0.4389

Tabelle 18 Ergebnisse Subanalyse FHEI - Kontrolle vs. Luxation

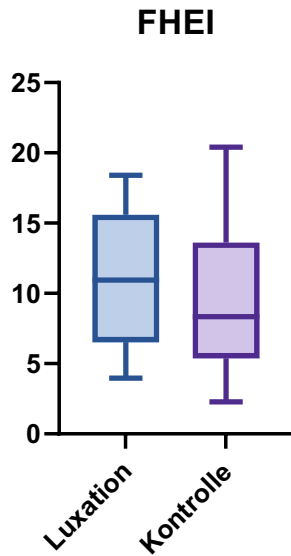


Abbildung 50 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FHEI - Kontrolle vs. Luxation

3.4.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

	Kontrolle <i>(n= 55)</i>	Luxation <i>(n= 11)</i>	p-Wert
Operativer Zugangsweg			0.3218
<i>Anterolateral</i>	4 (36,36%)	29 (52,73%)	
<i>Lateral</i>	7 (63,64%)	26 (47,27%)	
CEA (°)	38,5 ± 6,5	29,8 ± 7,5	0.0002***
FNSA (°)	132,4 ± 5,2	141,3 ± 6,4	<0.0001****
FOi (mm)	31,6 ± 6,0	28,3 ± 9,1	0.1361
Fok (mm)	38,6 (32,3-41,2)	32,6 (25,5-35,2)	0.0054**
RFN (mm)	14,7 ± 5,2	14,7 ± 7,3	0.9882
LLD (mm)	5,0 ± 5,9	3,7 ± 3,9	0.4389
BHEI	12,1 ± 4,7	18,5 ± 7,5	0.0004***
FHEI	9,5 (5,4-13,6)	10,8 (6,5-15,6)	0.4389

Alle Werte werden je nach Verteilung als Mittelwert ± SD, Median mit Interquartilabstand (25% Perzentile – 75% Perzentile) oder als absolute Zahlen mit Prozenten angegeben, ** p < 0.01; *** p < 0.001, **** p < 0.0001.

Tabelle 19 Übersicht Ergebnisse Nested Case-Control Subanalyse

4 Diskussion

4.1 Material und Methoden

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Risikofaktoren zu identifizieren, die eine Prothesenluxation nach Implantation einer bipolaren Hemiendoprothese begünstigen. Dazu wurden deskriptive Daten von 434 Patienten anhand von zugrundeliegenden prä- und peristationären Dokumentationen erhoben. Das Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU) der Universitätsmedizin Mainz ist ein Maximalversorger und ist somit repräsentativ für die Versorgung solcher Fälle. Es liegt ein weitreichender Kenntnisstand und eine jahrelange Erfahrung im Umgang mit diesem operativen Verfahren vor. Die gewonnenen Ergebnisse lassen sich so auch auf andere Kliniken der Maximalversorgung übertragen.

Es wurden alle Patienten mit der Diagnose „Schenkelhalsfraktur“ und anschließender Versorgung mit einer Duokopfprothese, die zwischen den Jahren 2016 und 2020 behandelt wurden, eingeschlossen. Dabei wurden bewusst keine Patienten aufgrund ihres Alters oder Komorbiditäten ausgeschlossen, um eine möglichst reale Darstellung der tatsächlichen Verhältnisse zu erzielen.

Das ZOU der Universitätsmedizin Mainz beschäftigt Orthopäden sowie Unfallchirurgen. Die operative Versorgung wurde dabei von verschiedenen Operateuren durchgeführt. Da von einem heterogenen Erfahrungs- und Wissensstand ausgegangen werden muss, beeinflusst dieser Zustand womöglich die Ergebnisse. In einigen Studien wird der Erfahrungsgrad des Operateurs sogar als Luxationsfaktor untersucht, jedoch wird dieser Zusammenhang in den neusten Forschungsarbeiten widerlegt (82). Es gestaltet sich schwierig, eine objektive Bewertung des Erfahrungsstands eines Operateurs in Bezug auf eine ausgewählte Operationsmethode vorzunehmen. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit die operative Erfahrung des Chirurgen nicht erhoben.

Der Nachteil der retrospektiven Datenanalyse ist ein Mangel der vorhandenen Datenqualität. Fehlerhafte Dokumentationen sowie erinnerungsbedingte Fehler galt es zu identifizieren und zu berichtigen. Es konnten alle unvollständigen Daten ergänzt werden. Somit konnte ein vollständiger Datensatz als Grundlage nachfolgender Berechnungen zur Verfügung gestellt werden. Insgesamt lässt sich sagen, dass alle erhobenen Daten Gegenstand der alltäglichen Klinikroutine sind und somit die realen

Alltagsbedingungen widerspiegeln. Es konnten alle Ereignisse beobachtet werden, die im Beobachtungszeitraum vom 01.01.2016 bis 31.12.2020 im ZOU stattgefunden haben. In diesem Zeitraum konnten elf Luxationen gefunden werden. Falls es jedoch erst nach dem 31.12.2020 zu einer Luxation kam, konnte dieses Ereignis nicht detektiert werden. Auch wenn die Patienten primär in der Uniklinik Mainz versorgt wurden, kann nicht garantiert werden, dass diese nach einem Luxationsereignis erneut in derselben Einrichtung vorstellig wurden. Wurde die Luxation dann in einer anderen Klinik behandelt, konnte dies ebenfalls nicht erhoben werden. Möglicherweise muss somit von einer höheren Rate an Luxationsereignissen ausgegangen werden. Ebenfalls als kritisch zu betrachten ist die hohe Sterblichkeit bei dem beschriebenen geriatrischen Patientenkollektiv. Bei einem Durchschnittsalter von 82 Jahren liegt eine hohe Sterblichkeitsrate vor. Falls ein Patient früh nach Operation verstarb, konnte eine Luxation womöglich nicht detektiert werden. Dem entgegenzustellen ist die Tatsache, dass alle beobachteten Luxationen durchschnittlich innerhalb der ersten zehn Tage auftraten. Der längste Zeitraum zwischen Operation und Luxation betrug 36 Tage, während der kürzeste Zeitraum ein Tag betrug. Acht der insgesamt elf Luxationen traten innerhalb der ersten Woche auf.

Zur weiteren Auswertung gehörte die Untersuchung der prä- und postoperativen Röntgenbilder. Alle Röntgenbilder konnten mit bereits genanntem Programm von einem einzigen Untersucher vermessen werden. Dazu wurden zunächst alle Bilder kalibriert und anschließend die gewünschten Winkel und Längen erhoben. Die einzelnen Messungen orientierten sich dabei an den in der Literatur angegebenen Beschreibungen. Da die Röntgenbilder nicht immer streng standardisiert in einem a.p. Strahlengang aufgenommen werden können, gestaltete sich die Bestimmung einzelner Messstrecken als schwierig. Besonders das femorale Offset verändert sich bei Rotation der Femurachse und ließ sich nur erschwert bestimmen. Merle et al. geben an, dass das präoperative FO auf einer Beckenübersichtsaufnahme nicht exakt bestimmt werden kann. Es wird im Durchschnitt um 13% unterschätzt, vergleicht man es mit der entsprechenden CT-Aufnahme (94).

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem IMBEI der Universität Mainz. Durch eine umfangreiche Beratung konnten passende statistische Tests gewählt werden. Als Vorlage des beschriebenen Vorhersagemodells sollte die Studie von Zhang et al. dienen (93). Die Anwendung dieser Methode bei Zhang et al. muss

kritisch hinterfragt werden. Die Performance eines Vorhersagemodells und damit auch die ROC-Kurven hängen wesentlich von der Prävalenz des vorherzusagenden Ereignisses („Luxation“) ab. Da innerhalb eines Nested Case-Control Designs die Verhältnisse der Patienten vorgegeben sind, konnte solch ein Modell keine Anwendung finden. Da die Berechnungen bei Zhang et al. nur innerhalb der gematchten Daten vorgenommen wurden, muss von einer unzulässigen Berechnung der Spezifität etc. ausgegangen werden. In unserer Studie wurden daher alle Patienten in solch ein Vorhersagemodell einbezogen und zusätzlich ein niedrigerer CE-Winkel gewählt, um eine gute Spezifität zu erhalten und somit eine relevante Aussage treffen zu können.

Für weitere Parameter wurde eine Nested Case-Control Subanalyse durchgeführt. Solch eine konfirmatorische Analyse der Untergruppe bot sich aufgrund der nur aufwendig zu bestimmenden morphologischen Parameter bei niedriger Prävalenz an. Dieses Studiendesign soll sogar vorteilhaft gegenüber eines „full cross-sectional cohort design“ sein und eine gleiche Genauigkeit bieten, wenn Krankheits- oder Komplikationsprävalenzen niedrig sind (95). Durch ein Matching der Patienten sollten potenzielle Störgrößen minimiert werden.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die nachfolgenden zweidimensionalen (bivariaten) Analysen nur Zusammenhänge beschreiben und keinerlei Aussagen zur Kausalität getroffen werden können. Es wird nur überprüft, ob eine Variable die Veränderung in der anderen Variable (in diesem Fall eine Luxation) verursacht. Die p-Werte sind in diesem Fall nur als eine Kennzahl für die Stärke eines Zusammenhanges zu interpretieren und nicht im Sinne einer statistisch abgesicherten Bestätigung. Generell ist zu sagen, dass die Studie durch ihr retrospektives Design und einer kleinen Fallzahl limitiert ist.

4.2 Ergebnisse

Gesamtes Patientenkollektiv

Bei den insgesamt 434 Patienten handelte es sich um 165 Männer und 269 Frauen. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 82 Jahren. Insgesamt traten elf Luxationen auf (2,9%). Mit diesen Eigenschaften des Patientenkollektivs lässt sich diese Studie mit vorherigen Forschungsarbeiten gut vergleichen. Insgesamt litten 180 Patienten an einer Demenz, davon konnten 177 (41,84%) in der Kontrollgruppe und drei (27,27%) in der „Luxations“-Gruppe detektiert werden. Hinsichtlich der neurologischen Erkrankung Demenz erwies sich keine Assoziation zu einer vermehrten Luxationsrate ($p=0.3328$). Gleiches gilt für die Erkrankung M. Parkinson, die bei den luxierten Prothesen nicht auftrat (8,98% in der Kontrollgruppe vs. 0,0% bei den luxierten Prothesen, $p=0.2980$). Diesen fehlenden Zusammenhang zwischen neurologischen Erkrankungen und vermehrten Luxationen bestätigen auch Salem et al. und Staehli et al. während Ninh et al. und Graulich et al. wiederum einen Einfluss beschrieben (82, 83, 80, 87). Genauso umstritten ist der Einfluss des zeitlichen Abstandes zwischen Diagnose und Operation. Während laut Salem et al. das Risiko einer Luxation nach über 24 Stunden um das Vierfache steigt, fand sich keine derartige Assoziation in dieser wissenschaftlichen Arbeit (24,4 (IQR 17,4-42,0) Stunden in der Kontrolle vs. 23,1 (IQR 11,3-25) Stunden bei den Luxationen, $p=0.3666$). Auch bezüglich der Operationsdauer konnte kein Unterschied zwischen den Luxationen und der Kontrollgruppe gefunden werden (70 (IQR 55-85) Minuten in der Kontrollgruppe vs. 76 (IQR 58-87) Minuten in der Gruppe mit Luxationen, $p=0.6302$) und somit kein Einfluss auf eine vermehrte Prothesenluxation nachgewiesen werden. Graulich et al. beschrieben wiederum einen Unterschied innerhalb ihrer Gruppen (80 ± 27 Minuten vs. 115 ± 50 Minuten, $p=0.01$) (87). Hinsichtlich des Parameters „Zeitpunkt der Operation“ als begünstigender Faktor für eine Luxation, ergaben sich folgende Ergebnisse im Gruppenvergleich. Von den insgesamt elf Patienten mit Luxation wurden fünf (45,45%) im Nachtdienst operiert. Der Anteil der Patienten in der Kontrollgruppe, die im Nachtdienst operiert wurden, war mit 83 Patienten (20,15%) niedriger ($p=0.0413$). Außer Fakler et al. und Madanat et al. beschrieb keine bisherige Studie diesen Faktor in dieser Art (86, 84). In der Arbeit von Fakler et al. wird der Parameter „Day-time surgery“ genannt, jedoch nicht weiter beschrieben und auch

aufgrund eines nicht eindeutigen Ergebnisses nicht weiter erwähnt (Anteil der Patienten die eine „Day-time surgery“ erhielten: 80,7% in der Kontrolle vs. 70,0% bei den Luxationen). Bei Madanat et al. wurde der Faktor in gleicher Art untersucht, jedoch die Zeiträume unterschiedlich definiert (Dienstbetrieb: 15:00Uhr bis 08:00Uhr). Auch hier wurde kein Unterschied erhoben (33% in der Kontrolle vs. 32% bei den luxierten Prothesen, $p=0.92$). Daher ist davon auszugehen, dass dieser Parameter hier erstmalig als möglicher potenzieller Risikofaktor beschrieben wurde. Der Center-Edge Angle hingegen wurde bereits in zahlreichen Studien als Einflussfaktor benannt. Auch in dieser Arbeit lag in der Luxationsgruppe ein geringer CEA von 29,2 Grad (IQR 27,8-37,0) im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 38,7 Grad (IQR 34,6-43,3, $p=0.0001$) vor. Der Unterschied zu ähnlichen Studien lag hier in der Bandbreite der gemessenen Winkel. Insgesamt beschrieben besagte Studien größere CE-A Werte zur Begünstigung einer Luxation (Madanat et al. 47 Grad vs. 42 Grad, Fakler et al. 43 Grad vs. 39 Grad, Zhang et al. 48,7 Grad vs. 38,9 Grad), jedoch gleichen die Verhältnisse zwischen den Gruppen denen unserer Studie. Daher ist bezogen auf alle genannten Parameter davon auszugehen, dass ein Vergleich zur entsprechenden Literatur möglich ist und diese Studie sich plausibel in den aktuellen Stand der Forschung einordnen lässt.

Vorhersagemodell und logistische Regression

Die Studie von Zhang et al. diente als Vorbild (93). In dieser Studie wurde ein CE-Winkel Cut-off Wert ermittelt, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Prothesenluxation vorhersagen sollte. Zhang et al. gaben in ihrer Forschungsarbeit einen Winkel von $\leq 45,4^\circ$ als Schwellenwert für ein Luxationsereignis an, welches mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 80% vorhergesagt werden konnte. Um dieses Modell an vorliegenden Daten testen zu können, wurde eine Konfusionsmatrix erstellt. Es zeigte sich, dass so die Sensitivität mit einem Cut-off Winkel von $\leq 45,4^\circ$ zwar sehr hoch war, jedoch die Spezifität zu schlecht ausfiel, um eine relevante Aussage treffen zu können. Man wählte einen spezifischeren CE-Winkel als Grenzwert ($25,0^\circ$) und erreichte damit einen positiven prädiktiven Wert von ca. 30%. Von insgesamt sechs Personen, die einen CE-Winkel $\leq 25,0^\circ$ aufwiesen, wurden zwei Luxationen richtig vorhergesagt. Dadurch bildete man zu Zhang et al. das andere Extrem: eine schlechtere Sensitivität, aber eine gute Spezifität. Die

Vorhersagegüte mit unterschiedlichen Cut-offs des CE-Winkels zeigt die ROC-Kurve sowie die Kurve mit dem möglichen positiv prädiktiven Wert für unterschiedliche Schwellenwerte. Für die unterschiedlichen Cut-off Werte konnten Patientendaten ausgegeben werden, die anhand des jeweiligen Wertes eine Luxation vorhersagten. Wie bereits erwähnt, muss jedoch das Vorhersagemodell von Zhang et al. kritisch hinterfragt werden. Da in ihrer Studie die Anwendung des Modells innerhalb der gematchten Daten stattfand, ist von einer unzulässigen Berechnung der Spezifität auszugehen.

Anschließend sollten weitere Variablen detektiert werden, die sich neben dem CE-Winkel eignen, eine Vorhersage zu treffen. Wir erstellten logistische Regressionsmodelle, bei denen die unabhängigen Variablen mit einer datenbasierten Methode automatisch ausgewählt wurden. Mit dieser Methode konnte ein weiterer Faktor identifiziert werden: der Zeitpunkt der Operation außerhalb des regulären Tagesprogrammes. In einer dazugehörigen ROC-Kurve ließ sich auch hier eine Patientenliste mit einem optimalen Cut-off ausgeben und ein Vorhersagemodell erstellen. Von elf Luxationen konnte dieses Modell drei Patienten vorhersagen, von denen zwei Patienten tatsächlich eine Luxation erlitten und lieferte damit bessere Vorhersagen als der CE-Winkel allein. Die Uhrzeit wäre somit eine Art „protektiver Faktor“ in dem Sinne, dass eine Operation früh am Tag vor einer Luxation schützt. Jedoch stellt sich hier die Frage nach der Interpretation der Ergebnisse. Womöglich standen hinter dieser Variable andere generalisierbare und kausale Patienten- oder Operateureigenschaften.

Nested Case-Control Subanalyse

Der Vergleich innerhalb der gematchten Untergruppe zeigte folgende Ergebnisse. Zwischen dem anterolateralen Zugang (nach Watson-Jones) und dem lateralen Zugang (nach Bauer) zeigte sich kein Unterschied in Bezug auf die Luxationsraten der Duokopfprothesen (36,36% vs. 52,37%, $p=0.3218$). Allerdings wurde hier nur der Vergleich zwischen anterolateralem (nach Watson-Jones) und lateralem Zugang (nach Bauer) gestellt, da ausschließlich diese beiden in der vorliegenden Studie zur Anwendung kamen. Der posteriore Zugang, der mit einer erhöhten Luxationstendenz assoziiert wird, konnte daher nicht untersucht werden (90). Jedoch könnte die geringe Rate an Luxationen unter Anwendung des anterolateralen bzw. lateralen Zugangs

(2,9%) in vorliegender Studie zeigen, dass diese Zugänge geringere Luxationsraten als der posteriore Zugang erzielen. Madanat et al. und Kizkapan et al. wiesen unter Verwendung des posterolateralen Zugangs einen höheren Anteil an Luxationen auf (Madanat et al. 5,6% und Kizkapan et al. 8,6%) (84, 85). Bei Betrachtung der morphologischen Parameter dieser Forschungsarbeit konnten hinsichtlich folgender Parameter keine Unterschiede zwischen der Kontroll- und Luxationsgruppe gefunden werden: FOi ($31,6 \pm 6,0$ Millimeter vs. $28,3 \pm 9,1$ Millimeter, $p=0.1361$), RFN ($14,7 \pm 5,2$ Millimeter vs. $14,7 \pm 7,3$ Millimeter, $p=0.9882$), LLD ($5,0 \pm 5,9$ Millimeter vs. $3,7 \pm 3,9$ Millimeter, $p=0.4389$) und FHEI ($9,5$ (IQR 5,4-13,6) vs. $10,8$ (IQR 6,5-15,6), $p=0.4389$). Auch in bisherigen Studien zeigten benannte Parameter unterschiedliche Ergebnisse und ließen sich nicht eindeutig als Risikofaktoren für eine Prothesenluxation einordnen. Während Pajarinen et al. eine kurze RFN als potenziellen Faktor zur Begünstigung einer Luxation benannten, fanden Zhang et al. keinen derartigen Zusammenhang (96, 93). Als ähnlich umstritten gilt die LLD. Nur bei Mukka et al. konnte die Tendenz, dass eine geringere Länge des operierten Beines eher eine Luxation bedingt, beschrieben werden (LLD: $1,5$ Millimeter in der Kontrollgruppe vs. -2 Millimeter in der Luxationsgruppe, $p=0.03$) (92). Dies ist jedoch nur mit limitierter Evidenz zu werten (97). Fakler et al. beschrieben sowohl einen größeren BHEI als auch einen größeren FHEI als Risikofaktor für eine Luxation, der durch eine mangelnde Überdachung des Acetabulums zu erklären sei (86). In der vorliegenden Studie zeigte nur der BHEI einen Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe mit Luxationen ($12,1 \pm 4,7$ vs. $18,5 \pm 7,5$, $p=0.0004$). Da sich dieser Parameter auf die Seite der Prothese bezog, ist er hinsichtlich der Fragestellung als wichtiger anzusehen. Zhang et al. bestimmten in ihrer Studie ausschließlich den BHEI und zeigten im Gruppenvergleich ebenfalls einen Unterschied ($p<0.001$) (93). Kizkapan et al. konnten keine derartigen Ergebnisse hinsichtlich FHEI und BHEI zeigen (85). Insgesamt beschrieb dieser radiologische Parameter die anatomische Überdachung des Prothesenkopfes und knüpfte an das Prinzip des CE-Winkels an. Auch dieser sollte die anatomischen Gegebenheiten der Überdachung beschreiben und wurde in der bisherigen Literatur oft in Verbindung mit vermehrten Prothesenluxationen gebracht. In dieser Untersuchung zeigte sich ebenfalls eine derartige Assoziation, dass ein kleiner CE-Winkel eine Prothesenluxation begünstigt. In der Kontrollgruppe betrug der CE-Winkel als Mittelwert $38,5 \pm 6,5$ Grad während er bei den Luxationen mit einem Mittelwert von $29,8 \pm 7,5$ Grad deutlich niedriger lag,

($p=0.0002$). Der CE-Winkel ist der am häufigsten und am besten beschriebene morphologische Risikofaktor hinsichtlich eines erhöhten Risikos für eine Luxation. Es ist also davon auszugehen, dass dieser tatsächlich einen beeinflussenden Effekt auf das Geschehen hatte. Das femorale Offset (FO) wurde ebenfalls häufiger im Hinblick auf ein erhöhtes Risiko für eine Luxation beschrieben. In dieser Studie wurde das Offset postoperativ ipsilateral (FOi), wie auch kontralateral (FOk) gemessen. Ausschließlich das FOk zeigte einen Unterschied bezüglich vermehrter Luxationen. In der Kontrollgruppe war das FOk um 4 Millimeter größer als in der Gruppe mit luxierten Prothesen (38,6 (IQR 32,3-41,2) Millimeter vs. 32,6 (IQR 25,5-35,2) Millimeter, $p=0.0054^{**}$). Da das FOk die nicht-betroffene Seite beschrieb, stellt sich hier die Frage nach der Sinnhaftigkeit des Ergebnisses und der Konsequenz daraus. In bisherigen Studien wurde ein kleines postoperatives Offset, oder eine große Differenz zum präoperativen Offset der ipsilateralen Seite als Risikofaktor benannt. Eine operative Reduktion des Offsets soll einen kleineren Hebelarm der Abduktorenmuskulatur bedingen und somit die Dehnung und Vorspannung der Muskulatur verringern. So ließe sich eine vermehrte Luxationstendenz erklären. Um diese Hypothese mit Daten verifizieren zu können, muss jedoch die direkte Differenz des Offsets zwischen prä- und postoperativem Röntgenbild gemessen werden. Wie bereits beschrieben gaben Merle et al. an, dass das Offset auf einer Becken a.p. Aufnahme nicht exakt bestimmt werden kann (94). Außerdem ist anzumerken, dass auf allen präoperativ angefertigten Bildern eine Schenkelhalsfraktur der betroffenen Seite vorlag und anhand dieser Aufnahmen kein Offset bestimmt werden konnte. Durch eine Fraktur konnte es zur Rotation des Femurschafts sowie zu einer Verkürzung des Femurhalses kommen. Eine korrekte Darstellung dieser beiden Strukturen war jedoch notwendig für eine korrekte Messung. Daher wurde in dieser wissenschaftlichen Arbeit keine derartige Differenz bestimmt. Zunächst bestand die Überlegung, ob man das postoperative kontralaterale Offset mit dem präoperativen ipsilateralen Offset gleichsetzen und so eine Differenz detektieren kann. Die Studie von Pajarinen et al. ging zum Beispiel nach diesem Prinzip vor und beschrieb bei einer Differenz von über 10% (Zunahme oder Abnahme) im Vergleich zur kontralateralen Seite ein erhöhtes Risiko für eine Prothesenluxation (96). Ninh et al. fanden bei gleichem Vorgehen keinen derartigen Einfluss in Hinblick auf eine Seitendifferenz, beschrieben aber wie in dieser vorliegenden Studie ein vergrößertes FOk als isolierten Risikofaktor für eine Luxation (Kontrolle $37,3 \pm 7,5$ Millimeter vs. Luxationen $29,0 \pm 6,9$ Millimeter, $p=0.002$) (80). Fakler et al. konnten wiederum keine

derartigen Assoziationen beschreiben (86). An dieser Stelle ergibt sich die Frage, welches Vorgehen zu wählen ist, um das Offset standardisiert beschreiben zu können und wie der Einfluss des Offsets durch die aktuelle Literatur zu werten ist. Durch verschiedene Mess- und Auswertungsmethoden mit abweichenden Ergebnissen lässt sich nur schwer eine Aussage treffen. Ähnlich verhält es sich mit dem FNSA, der sich laut unserer Arbeit bei den luxierten Prothesen im Vergleich zur Kontrollgruppe vergrößert darstellt ($132,4 \pm 5,2$ Grad vs. $141,3 \pm 6,4$ Grad, $p < 0.0001$). Die Luxationen weisen also einen größeren Centrum-Collum-Diaphysenwinkel auf. Diese Tendenz beschrieben auch Kizkapan et al. bei Betrachtung des FNSA hinsichtlich Luxationsrisiko (Kontrolle $142,8 \pm 6,8$ Grad vs. Luxationen $139,2 \pm 7,4$ Grad, $p = 0.027$) (85). Dem widersprachen Fakler et al., indem sie eine vermehrte Luxationsrate mit einem kleineren FNSA beschrieben (Kontrolle $135,0$ (IQR $134,0-137,0$) Grad vs. Luxationen $130,0$ (IQR $125,8-133,5$) Grad, $p = 0.011$) (86). Hier zeigten sich ambivalente Tendenzen, daher stellte sich auch hier die Frage nach einer möglichen Interpretation der Ergebnisse.

4.3 Fazit und Konsequenzen

Vorweg stellt sich die Frage: Ist es ein einzelner Risikofaktor, dessen alleiniger Einfluss eine Prothesenluxation begünstigt? Oder handelt es sich vielmehr um ein multifaktorielles Geschehen, welches sich nicht durch einen einzigen Parameter entscheidend beeinflussen lässt? Falls es einzelne Faktoren sind, wie kann man diese beeinflussen, um eine Luxation zu verhindern?

Die aktuelle Literatur zeigt, dass einzelne Parameter wiederholt mit einer erhöhten Luxationsrate assoziiert wurden. Auch die vorliegende wissenschaftliche Arbeit kann durch ihr retrospektives Design Hinweise auf mögliche Risikofaktoren für eine Prothesenluxation liefern. Besonders die morphologischen Faktoren CEA und BHEI, die als Indikator für die Überdachung des Prothesenkopfes stehen, konnten in multiplen Studien als begünstigende Faktoren für eine Luxation beschrieben werden. Zeigt ein Patient dann besagte Risikofaktoren, wie z.B. genannte morphologische Eigenschaften auf dem präoperativen Röntgenbild, könnte man initial eine andere

Versorgungsform wählen. Es gibt Prothesen, die durch eine spezielle Morphologie einen Schutz vor Luxationen bieten. Diese sogenannten „tripolaren Prothesen“ haben eine zementierte Pfannenkomponente, die eine Luxation des Kopfes verhindern soll. Verwendet man diese als primäres Implantat, erspart man den Patienten womöglich eine drohende Revisionsoperation. Jedoch muss hierbei berücksichtigt werden, dass die Versorgung mittels zementierter Pfanne zeitaufwendiger und komplexer ist als die Versorgung mittels Duokopfprothese. Da die Hüftpfanne zunächst präpariert und anschließend die Pfannenkomponente zementiert werden muss, verlängert sich die Operationszeit und somit kann es zu mehr Blutverlust und anderen Komplikationen kommen, die eine verlängerte Narkosezeit mit sich bringt. Hinzu kommt die Komplexität des Eingriffes. Während der Einbau einer Hemiendoprothese als Standardeingriff gilt, zählt die tripolare Prothese meist zum Fachgebiet der Endoprothetik, welches erfahrenen Orthopäden vorbehalten bleibt. Daher befindet sich diese spezielle Versorgung nicht im Spektrum jedes Facharztes für Orthopädie und Unfallchirurgie. Ob die initiale Versorgung mittels tripolarer Pfanne dann noch einen Vorteil hinsichtlich Komplikationen und Morbidität gegenüber der „herkömmlichen“ Duokopfprothese, bei einer geringen Inzidenz der Prothesenluxation bringt, müsste ebenfalls erforscht werden.

Ein postoperativ kleines femorales Offset wird ebenfalls häufiger in Studien als Risikofaktor für eine Luxation benannt und auch in dieser Arbeit zeigten sich Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und luxierten Prothesen hinsichtlich der Größe des Offsets. Der Schenkelhalsversatz ist ebenfalls ein Faktor, der technisch modifiziert werden kann. Der Operateur kann die Schaftkomponente, die Kopfgröße und die Platzierung der Prothese anpassen. So kann eine Vergrößerung des Offsets erreicht werden, wodurch ein längerer Hebelarm der Hüftabduktoren entsteht. Somit kommt es gleichzeitig zu einer Zunahme der Vordehnung und letztendlich zu einer gesteigerten Spannung der Muskulatur. Ob eine Vergrößerung des Offsets einen Vorteil bezüglich eines verbesserten Outcomes hätte, müsste erst erforscht werden.

Auch der Faktor „Zeitpunkt der Operation“, der zeigte, dass die Wahrscheinlichkeit eine Luxation zu erleiden in der Dienstzeit höher ist als im regulären Tagbetrieb, scheint zunächst plausibel und eliminierbar. Durch erschwerte Arbeitsbedingungen außerhalb des regulären Tagbetriebes könnte die Qualität der Versorgung beeinflusst werden. Möglicherweise hat der diensthabende Operateur nicht dieselbe Erfahrung,

wie beispielsweise ein erfahrener Oberarzt mit Schwerpunkt Hüftchirurgie, der die Operation im Tagbetrieb übernehmen würde. Jedoch gestaltet es sich durch einen heterogenen Erfahrungs- und Kenntnisstand innerhalb des Kollegiums als sehr schwer, die Fähigkeiten eines Operators objektiv zu messen, da es keine wissenschaftlichen validierten Tests dazu gibt. Außerdem sieht die aktuelle Versorgungsleitlinie eine Versorgung innerhalb von 24 Stunden vor, die einem zeitlichen Verschieben der Operation auf einen folgenden Tag gegenüberstehen könnte. Falls sich der Verdacht eines derartigen Einflusses durch weitere Studien bestätigt, könnte man eine entsprechende Änderung der Leitlinien in Betracht ziehen. Insgesamt fällt die Beurteilung dieses Risikofaktors schwer, da sich besonders hinter dieser Variable Confounder verbergen könnten.

Möglicherweise gibt es auch noch andere Risikofaktoren, die nur schwer oder gar nicht zu objektivieren sind. Bei Befragung der behandelnden Ärzte des hier vorliegenden Patientenkollektivs beschrieben viele Operateure die Beschaffenheit und Stabilität der Weichteile des operierten Hüftgelenks als möglichen Faktor. Die Muskulatur, der Bandapparat oder andere Strukturen können während der Operation verletzt oder überbeansprucht werden und anschließend zu einer nicht belastungsstabilen Lage der Endoprothese im Hüftgelenk führen. Genauso wie eine Fraktur des Trochanter Majors, der eine Ansatzstelle für stabilisierende Muskulatur bildet. Die Vermutung, dass die „soft tissues“ die entscheidenden stabilisierenden Strukturen sind und die Gelenkfläche des Acetabulums eine untergeordnete Rolle spielt, erwähnen bereits Pajarinen et al. und Ko et al. (96, 98).

Stärken dieser Studie sind die Verwendung eines einzigen Prothesentyps, die Verwendung sehr ähnlicher operativer Zugänge, die kein erhöhtes Risiko hinsichtlich einer Luxation haben und eine große Anzahl von Patienten aus einem einzigen Zentrum. Limitiert ist die Studie durch ein retrospektives Design und eine kleine Zahl an Luxationen. Durch den statistischen Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe der Patienten mit luxierten Prothesen, konnte auch in dieser wissenschaftlichen Arbeit Unterschiede hinsichtlich benannter Faktoren aufgewiesen werden. Somit konnten ausgewählte Parameter als potenzielle Einflussfaktoren für eine Prothesenluxation beschrieben werden. Dazu gehören der Center-Edge Angle, der Bipolar Head Extrusion Index und das kontralaterale femorale Offset. Der Einfluss anderer Parameter konnte nicht nachvollzogen werden. Letztendlich konnte ein neuer

potenzieller Risikofaktor „Zeitpunkt der Operation innerhalb des Dienstbetriebs“ erstmalig beschrieben werden. Unabhängig davon müssten randomisierte kontrollierte Studien folgen, um den Einfluss der beschriebenen Risikofaktoren zu beweisen. Daraufhin könnten die Leitlinien den Ergebnissen angepasst werden, um so gegebenenfalls Prothesenluxationen präventiv verhindern zu können. Mit dem Wissen des aktuellen Forschungsstandes sollte immer eine individuelle Nutzen- und Risikoabschätzung erfolgen, bei der bekannte potenzielle Risikofaktoren unter Berücksichtigung der jeweiligen Umstände bewertet werden.

Abschließend lässt sich jedoch sagen, dass die Forschung hinsichtlich Risikofaktoren bezogen auf derartige Komplikationen sehr wichtig ist. Die steigenden Zahlen an alterstraumatologischen Frakturen sprechen für sich und stellen eine immer größere Herausforderung für das Gesundheitssystem dar. Aber auch aus Sicht des einzelnen Patienten ist dies entscheidend. Durch Komplikationen des ohnehin schon fordernden Krankheitsbildes, erleiden die Patienten oft traumatische Erlebnisse mit teils gravierenden Folgen. Eine optimale Versorgung bewirkt eine Minimierung der Risikofaktoren. Somit kann sich der gesundheitsökonomischen Herausforderung gestellt und den Patienten ein schneller und komplikationsloser Heilungsprozess ermöglicht werden.

5 Zusammenfassung

Durch den demographischen Wandel wird die operative Versorgung von alterstraumatologischen Frakturen aus medizinischer und gesundheits-ökonomischer Sicht immer relevanter. Dazu zählen besonders die Schenkelhalsfrakturen (135.000 pro Jahr) (3). Ziel dabei ist es, eine schnellstmögliche belastungsstabile Versorgung zu erreichen, damit die Patienten ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau zurückerlangen können (8). Für Menschen mit einer eingeschränkten Lebenserwartung und einem geringen Aktivitätsniveau hat sich dafür die bipolare Hemiendoprothese (Duokopfprothese) als Goldstandard etabliert. Wie auch bei anderen Operationen, birgt diese Versorgungsform Komplikationen. Zu einer dieser Komplikationen zählt die Prothesenluxation. Auch wenn die Inzidenz lediglich bei ca. 3% liegt, verzögert eine Luxation das Erreichen einer belastungsstabilen Situation und somit den Heilungsprozess (52). Die Reposition der Prothese stellt geschlossen sowie offen ein

relevantes Risiko dar und führt sekundär häufig zu einem verlängerten Klinikaufenthalt. Besonders für ältere Patienten stellt das eine hohe Belastung für den oft schon multimorbiden Organismus dar. Um dieses Risiko zu umgehen, ist es wichtig die Faktoren zu identifizieren, die solch eine Luxation begünstigen. In einigen Studien wurde bereits versucht diese Faktoren ausfindig zu machen. Auch in dieser Studie wurden ausgewählte Risikofaktoren untersucht und anschließend bewertet. Dazu wurde eine retrospektive Untersuchung von 434 Patienten vorgenommen, die zwischen den Jahren 2016 und 2020 im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Mainz mit einer bipolaren Hemiendoprothese versorgt wurden. Bei den insgesamt 434 Patienten handelte es sich um 165 Männer und 269 Frauen. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 82. Von den 434 Patienten litten 180 Personen an Demenz und 38 an Parkinson. Bei elf Patienten kam es zu einem Luxationsereignis (2,5%). Die Zeitspanne zwischen Diagnose und Operation lag durchschnittlich bei circa 32,5 Stunden, während die Operationsdauer im Durchschnitt 73,5 Minuten betrug. Operiert wurden 335 Patienten im regulären Tagbetrieb zwischen 8:00Uhr und 17:00Uhr und 88 Patienten außerhalb dieses Zeitfensters. Folgende Faktoren wurden zwischen dem gesamten Patientenkollektiv und den Luxationen verglichen: Alter, Geschlecht, neurologische Vorerkrankungen, Zeitintervall zwischen Diagnose und Operation, Operationsdauer, Operationszeitpunkt, und der CE-Winkel. Nach einem statistischen Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe mit luxierten Prothesen zeigte sich der CE-Winkel als potenzieller Risikofaktor für eine Luxation (38,7 (IQR 34,6-43,3) Grad in der Kontrollgruppe vs. 29,2 (IQR 27,8-37,0) Grad bei den Luxationen, $p=0.0001$). Es sollte ein statistisches Modell gefunden werden, das eine Prothesenluxation anhand eines bestimmten CE-Winkels vorhersagt. Die erreichbare Vorhersagegüte mit unterschiedlichen Cut-offs zeigte die ROC-Kurve sowie die Kurve mit dem möglichen Positive Predictive Value für unterschiedliche Cut-off-Winkel. Für einen PPV um 30% konnte ein CE-Winkel kleiner als $<25^\circ$ für die Vorhersage verwendet werden. Daraus ergaben sich 6 Patienten mit prognostizierten Luxationen. Davon wurden zwei korrekt vorhergesagt, so dass dieses Verfahren zwei von elf Luxationspatienten erkennt. Nachfolgend sollten zusätzliche Variablen gefunden werden, die sich neben dem CE-Winkel als Vorhersage eignen. Als Methode dafür wurden logistische Regressionsmodelle verwendet. So konnte eine zusätzliche Variable neben dem CE-Winkel zur Vorhersage identifiziert werden: der Zeitpunkt der Operation. Laut diesen Ergebnissen begünstigt eine Operation zu einer

späteren Stunde eine Luxation. Aufgrund von möglichen Confoundern ist die Interpretation dieses Vorhersagekriteriums jedoch als schwierig zu betrachten. Anschließend wurden im Rahmen einer Nested Case-Control Subanalyse weitere Parameter erhoben und verglichen. Die elf Luxationen wurden mit jeweils fünf Kontrollen entsprechend Geschlecht und Alter gematcht (n=55 vs. n=11). Bei diesen insgesamt 66 Patienten konnten der operative Zugangsweg sowie weitere morphologische Parameter (CEA, FNSA, FOi, FOk, RFN, LLD, BHEI und FHEI) bestimmt werden. Folgende Parameter zeigten im statistisch Vergleich Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und der Gruppe der luxierten Prothesen: der Center-Edge Winkel (CEA) ($38,5 \pm 7,5$ Grad in der Kontrollgruppe vs. $29,8 \pm 6,5$ Grad bei den Luxationen, $p=0.0002$), der Winkel zwischen Femurachse und Femurhals (FNSA) ($132,4 \pm 5,2$ Grad in der Kontrollgruppe vs. $141,3 \pm 6,4$ Grad in der Gruppe der Luxationen, $p<0.0001$), das kontralaterale femorale Offset (FOk) ($38,6$ (IQR 32,3-41,2) Millimeter in der Kontrolle vs. $32,6$ (IQR 25,5-35,2) Millimeter bei den luxierten Prothesen, $p=0.0054$) und der bipolar head extrusion index (BHEI) ($12,2 \pm 4,7$ in der Kontrollgruppe vs. $18,5 \pm 7,5$ bei den Luxationen, $p=0.0004$).

Diese wissenschaftliche Arbeit zeigt, dass bestimmte Faktoren mit einer Prothesenluxation in Zusammenhang stehen könnten. Besonders die Parameter CEA und BHEI werden in der Literatur wiederholt als Risikofaktoren diskutiert und deuten somit stark auf einen relevanten Einfluss hinsichtlich einer Luxation hin. Jedoch bedarf es an randomisierten kontrollierten Studien, um deren Effekt eindeutig einordnen und die zukünftigen Leitlinien entsprechend beeinflussen zu können. Bis dahin sollte bei jedem Patienten eine individuelle Risiken- und Nutzenabwägung erfolgen. Hierbei muss geprüft werden inwieweit genannte Risikofaktoren beachtet werden müssen und in Anschluss vermeidbar sind.

6 Literaturverzeichnis:

1. Statistisches Bundesamt [Internet]. 2022. Available from: https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html
2. Court-Brown CM, McQueen MM. Global forum: Fractures in the elderly. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume*. 2016;98(9):e36.
3. Saul D, Riekenberg J, Ammon JC, Hoffmann DB, Sehmisch S. Hip Fractures: Therapy, Timing, and Complication Spectrum. *Orthop Surg*. 2019;11(6):994–1002.
4. Bonnaire F, Lein T, Engler KJ. Behandlung der schenkelhalsfrakturen. *Chirurg*. 2008;79(6):595–612.
5. De Laet CEDH, Pols HAP. Fractures in the elderly: Epidemiology and demography. *Bailliere's Best Practice and Research in Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2000;14(2):171–9.
6. Hoskins W, Webb D, Bingham R, Pirpiris M, Griffin XL. Evidence based management of intracapsular neck of femur fractures. *HIP International*. 2017;27(5):415–24.
7. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie [Internet]. Available from: <https://www.dgu-online.de/>
8. Bonnaire F, Weber A. Leitlinien Unfallchirurgie: Schenkelhalsfrakturen des Erwachsenen. AWMF online. 2015;
9. Prokop A, Chmielnicki M. Hemiprosthesis for Femoral Neck Fractures in the Elderly: A Retrospective Study of 319 Patients. *Arch Trauma Res*. 2016;5(3).
10. Jones C, Briffa N, Jacob J, Hargrove R. The Dislocated Hip Hemiarthroplasty: Current Concepts of Etiological factors and Management. *Open Orthop J*. 2017;11(1):1200–12.
11. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus, Lernetlas der Anatomie, Teil Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2014. 428–435 p.
12. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M. Prometheus, Lernetlas der Anatomie, Teil Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart New York; 2014. 417–419 p.
13. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. AE-Manual der Endoprothetik, Hüfte und Hüftrevision. Heidelberg Dordrecht London New York: Springer Verlag; 2012. 36–45 p.
14. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Wesker K. Prometheus, Lernetlas der Anatomie, Teil Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2014. 438–439 p.

15. Pauwels F. Atlas zur Biomechanik der gesunden und der kranken Hüfte. Prinzipien, Technik und Resultate einer kausalen Therapie. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag; 1973. 9–28 p.
16. Dölken M, Hüter-Becker A. Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005. 51–54 p.
17. Pauwels F. Der schenkelhalsbruch: Ein mechanisches Problem. Stuttgart: Ferdinand Enke; 1935.
18. Garden RS. Stability and union in subcapital fractures of the femur. *J Bone Joint Surg.* 1964;64-B(4):630–47.
19. Muller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 1990.
20. National Institute for Health and Care Excellence. NICE Clinical Guideline 161. Falls: as assessment and prevention of falls in older peoples. London; 2013.
21. National Institute for Health and Care Excellence. Osteoporosis. Clinical guideline QS149 [Internet]. 2017. Available from: <http://www.nice.org.uk/guidance/qs149>
22. Cummings SR, Nevitt MC, Browner WS, Stone K, Fox KM, Ensrud KE, et al. Risk Factors for Hip Fracture in White Women. *New England Journal of Medicine.* 1995;332(12):767–73.
23. Pluijm SMF, Graafmans WC, Bouter LM, Lips P. Ultrasound measurements for the prediction of osteoporotic fractures in elderly people. *Osteoporosis International.* 1999;9(6):550–6.
24. Jokinen H, Pulkkinen P, Korpelainen J, Heikkinen J, Keinänen-Kiukaanniemi S, Jämsä T, et al. Risk Factors for Cervical and Trochanteric Hip Fractures in Elderly Women: A Population-Based 10-Year Follow-Up Study. *Calcif Tissue Int.* 2010 Jul 5;87(1):44–51.
25. Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, Norton R. N. Randomised controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women. *BMJ.* 1997;315(7115):1065–9.
26. Gillespie LD, Gillespie WJ, Robertson MC, Lamb SE, Cumming RG, Rowe BH. Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2009 Apr 15;(2).
27. Haas NP, Krettek C. Tscherne Unfallchirurgie Hüfte und Oberschenkel. Heidelberg Dordrecht London New York: Springer Verlag; 2012. 113–170 p.
28. Incalzi RA, Gemma A, Capparella O, Terranova L, Sanguinetti C, Carbonin PU. Post-operative electrolyte imbalance: Its incidence and prognostic implications for elderly orthopaedic patients. *Age Ageing.* 1993;22(5):325–31.

29. Frihagen F, Nordsletten L, Tariq R, Madsen JE. MRI diagnosis of occult hip fractures. *Acta Orthop.* 2005;76(4):524–30.
30. Raaymakers EL. Fractures of the femoral neck: a review and personal statement. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2006;73(1).
31. Berwarth H, Schlickewei W. Die mediale eingestauchte Schenkelhalsfraktur des älteren Menschen: Ist die konservativ-frühfunktionelle Behandlung heute noch vertretbar? *Unfallchirurg.* 1993;10(02):91–101.
32. Xu DF, Bi FG, Ma CY, Wen ZF, Cai XZ. 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.* 2017;12(1):1–12.
33. Kostuj T, Smektala R, Schulze-Raestrup U, Müller-Mai C. Einfluss des Operationszeitpunkts und -verfahrens auf Mortalität und Frühkomplikationen der Schenkelhalsfraktur: Eine Analyse von 22.566 Fällen der verpflichtenden externen Qualitätssicherung. *Unfallchirurg.* 2013;116(2):131–7.
34. Siegmeth AW, Gurusamy K, Parker MJ. Delay to surgery prolongs hospital stay in patients with fractures of the proximal femur. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B.* 2005;87(8):1123–6.
35. Novack V, Jotkowitz A, Etzion O, Porath A. Does delay in surgery after hip fracture lead to worse outcomes? A multicenter survey. *International Journal for Quality in Health Care.* 2007;19(3):170–6.
36. Smektala R, Hahn S, Schröder P, Bonnaire F, Schulze Raestrup U, Siebert H, et al. Mediale Schenkelhalsfraktur: Einfluss des Versorgungszeitpunkts auf die Ergebnisqualität: Ergebnisse der Daten der externen stationären Qualitätssicherung im Rahmen sekundärer Datennutzung. *Unfallchirurg.* 2010;113(4):287–92.
37. Parker MJ, Gurusamy K. Internal fixation versus arthroplasty for intracapsular proximal femoral fractures in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2006;(4).
38. Gjertsen JE, Vinje T, Engesæter LB, Lie SA, Havelin LI, Furnes O, et al. Internal screw fixation compared with bipolar hemiarthroplasty for treatment of displaced femoral neck fractures in elderly patients. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A.* 2010;92(3):619–28.
39. Parker MJ, Pryor G, Gurusamy K. Hemiarthroplasty versus internal fixation for displaced intracapsular hip fractures: A long-term follow-up of a randomised trial. *Injury.* 2010;41(4):370–3.
40. Leonardsson O, Sernbo I, Carlsson Å, Åkesson K, Rogmark C. Long-term follow-up of replacement compared with internal fixation for displaced femoral neck fractures: Results at ten years in a randomised study of 450 patients. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B.* 2010;92(3):406–12.

41. Deng J, Wang G, Li J, Wang S, Li M, Yin X, et al. A systematic review and meta-analysis comparing arthroplasty and internal fixation in the treatment of elderly displaced femoral neck fractures. *OTA Int.* 2021;4(1):e087.
42. Gjertsen JE, Fevang JM, Matre K, Vinje T, Engesæter LB. Clinical outcome after undisplaced femoral neck fractures. *Acta Orthop.* 2011;82(3):268–74.
43. Lu-Yao G, Keller RB, Littenberg B, Wennberg JE. Outcomes after Displacement Fractures of the Femoral Neck. *J Bone Joint Surg.* 1994;76(1):15–25.
44. Richards JT, Overmann AL, O'Hara NN, D'Alleyrand JC, Slobogean GP. Internal Fixation Versus Arthroplasty for the Treatment of Nondisplaced Femoral Neck Fractures in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Orthop Trauma.* 2020;34(1):42–8.
45. Afaq S, O'Hara NN, Schemitsch EH, Bzovsky S, Sprague S, Poolman RW, et al. Arthroplasty Versus Internal Fixation for the Treatment of Undisplaced Femoral Neck Fractures: A Retrospective Cohort Study. *J Orthop Trauma.* 2020;34:S9–14.
46. Frihagen F, Nordsletten L, Madsen JE. Hemiarthroplasty or internal fixation for intracapsular displaced femoral neck fractures: Randomised controlled trial. *Br Med J.* 2007;335(7632):1251–4.
47. Rogmark C, Johnell O. Primary arthroplasty is better than internal fixation of displaced femoral neck fractures: A meta-analysis of 14 randomized studies with 2,289 patients. *Acta Orthop.* 2006;77(3):359–67.
48. Manninger J, Kazar G, Fekete G, Fekete K, Frenyo S, Gyarfás F, et al. Significance of urgent (within 6 h) internal fixation in the management of fractures of the neck of the femur. *Injury.* 1989;20(2):101–5.
49. Meyer RP, Gächter A, Kappeler U. *Hüftchirurgie in der Praxis.* Heidelberg: Springer Verlag; 2005. 186–187 p.
50. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. *AE-Manual der Endoprothetik, Hüfte und Hüftrevision.* 2012. 161–250 p.
51. Liao L, Zhao JM, Su W, Ding XF, Chen LJ, Luo SX. A meta-analysis of total hip arthroplasty and hemiarthroplasty outcomes for displaced femoral neck fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(7):1021–9.
52. Burgers PTPW, Van Geene AR, Van Den Bekerom MPJ, Van Lieshout EMM, Blom B, Aleem IS, et al. 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.* 2012;36(8):1549–60.
53. Sekeitto AR, Sikhauli N, van der Jagt DR, Mokete L, Pietrzak JRT. The management of displaced femoral neck fractures: a narrative review. *EFORT Open Rev.* 2021;6(2):139–44.

54. Hack J, Bücking B, Eschbach D, Ruchholtz S. Hüftendoprothetik nach Trauma. *Trauma Berufskrankh.* 2017;19(2):192–7.
55. Macaulay W, Nellans KW, Garvin KL, Iorio R, Healy WL, Rosenwasser MP. Prospective Randomized Clinical Trial Comparing Hemiarthroplasty to Total Hip Arthroplasty in the Treatment of Displaced Femoral Neck Fractures. Winner of the Dorr Award. *Journal of Arthroplasty.* 2008;23(6):2–8.
56. Ravikumar KJ, Marsh G. Internal fixation versus hemiarthroplasty versus total hip arthroplasty for displaced subcapital fractures of femur - 13 Year results of a prospective randomised study. *Injury.* 2000;31(10):793–7.
57. Rogmark C, Carlsson Å, Johnell O, Sernbo I. A prospective randomised trial of internal fixation versus arthroplasty for displaced fractures of the neck of the femur. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B.* 2002;84(2):183–8.
58. National Institute for Health and Care Excellence. Hip Fracture: Management [Internet]. 2012. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/cg124> (11
59. Parker MJ, Palmer CR. A new mobility score for predicting mortality after hip fracture. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B.* 1993;75(5):797–8.
60. Luo X, He S, Li Z, Huang D. Systematic review of cemented versus uncemented hemiarthroplasty for displaced femoral neck fractures in older patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(4):455–63.
61. Leonardsson O, Kärrholm J, Åkesson K, Garellick G, Rogmark C. Higher risk of reoperation for bipolar and uncemented hemiarthroplasty. *Acta Orthop.* 2012;83(5):459–66.
62. Inngul C, Blomfeldt R, Ponzer S, Enocson A. Cemented versus uncemented arthroplasty in patients with a displaced fracture of the femoral neck: A randomised controlled trial. *Bone and Joint Journal.* 2015;97B(11):1475–80.
63. Guyen O. Hemiarthroplasty or total hip arthroplasty in recent femoral neck fractures? *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research.* 2019;105(1):S95–101.
64. Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S, Oberthaler W. The Transgluteal Approach to the Hip Joint. *Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery.* 1979;95(1–2):47–9.
65. Watson-Jones R. Fractures of the neck of the femur. *British Journal of Surgery.* 1936;23(92):787–808.
66. Bopp F. Implantation einer Hüfttotalendoprothese über einen minimalinvasiven anterolateralen Zugang Total Hip Arthroplasty with a Less Invasive Anterolateral Approach. *Z Orthop Unfall.* 2014;117–8.
67. Venbrocks RA, Roth A. Der minimalinvasive, anterolaterale Zugang zum Hüftgelenk zur Implantation von Endoprothesen in Rückenlage. *Oper Orthop Traumatol.* 2007;19(5–6):442–57.

68. Kuru T, Olcar HA. Effects of early mobilization and weight bearing on postoperative walking ability and pain in geriatric patients operated due to hip fracture: A retrospective analysis. *Turk J Med Sci.* 2020;50(1):117–25.
69. Encke A, Haas S, Kopp I. S3-Leitlinie “Prophylaxe der venösen Thromboembolie (VTE).” AWMF online. 2015;
70. Currie CT, Tierney A, Closs S, Fairtlough H. Early supported discharge for elderly trauma patients: A report on a preliminary study. *Clin Rehabil.* 1994;8(3):207–12.
71. Prestmo A, Hagen G, Sletvold O, Helbostad JL, Thingstad P, Taraldsen K, et al. Comprehensive geriatric care for patients with hip fractures: A prospective, randomised, controlled trial. *The Lancet.* 2015;385(9978):1623–33.
72. Cameron ID, Handoll HH, Finnegan TP, Madhok R, Langhorne P. Co-ordinated multidisciplinary approaches for inpatient rehabilitation of older patients with proximal femoral fractures. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2001;(3).
73. Schliemann B, Seybold D, Gessmann J, Fehmer T, Schildhauer TA, Muhr G. Bipolar hemiarthroplasty in femoral neck fractures-impact of duration of surgery, time of day and the surgeon’s experience on the complication rate. *Z Orthop Unfall.* 2009;147(6):689–93.
74. Müller CA, Bayer J, Szarzynski E, Südkamp NP. Duokopfprothesenimplantation bei medialer Schenkelhalsfraktur im hohen Lebensalter - Klinische und radiologische Ergebnisse. *Zentralblatt für Chirurgie - Zeitschrift für Allgemeine, Viszeral- und Gefäßchirurgie.* 2008;133(6):590–6.
75. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. AE-Manual der Endoprothetik, Hüfte und Hüftrevision. 2012. 325–352 p.
76. Berry DJ. Management of periprosthetic fractures: The hip. *Journal of Arthroplasty.* 2002;17(4):11–3.
77. Berggren M, Stenvall M, Englund U, Olofsson B, Gustafson Y. Co-morbidities, complications and causes of death among people with femoral neck fracture - A three-year follow-up study. *BMC Geriatr.* 2016;16(1):1–10.
78. Raunest J, Engelman R, Jonas M, Derra E. Morbidität und Letalität bei hüftgelenknahen Femurfrakturen im höheren Lebensalter. *Unfallchirurg.* 2001;104(4):325–32.
79. Blanco JF, da Casa C, Fidalgo H. Effect of hip hemiarthroplasty dislocation on mortality after hip fracture surgery. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2022;1888–4415(22):00229–6.
80. Ninh CC, Sethi A, Hatahet M, Les C, Morandi M, Vaidya R. Hip Dislocation After Modular Unipolar Hemiarthroplasty. *Journal of Arthroplasty.* 2009;24(5):768–74.

81. Sierra RJ, Schleck CD, Cabanela ME. Dislocation of bipolar hemiarthroplasty: Rate, contributing factors, and outcome. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;442(442):230–8.
82. Salem KMI, Shannak OA, Scammell BE, Moran CG. Predictors and outcomes of treatment in hip hemiarthroplasty dislocation. *Ann R Coll Surg Engl*. 2014;96(6):446–51.
83. Staeheli JW, Frassica FJ, Sim FH. Prosthetic replacement of the femoral head for fracture of the femoral neck in patients who have Parkinson disease. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*. 1988;70(4):565–8.
84. Madanat R, Mäkinen TJ, Ovaska MT, Soiva M, Vahlberg T, Haapala J. Dislocation of hip hemiarthroplasty following posterolateral surgical approach: A nested case-control study. *Int Orthop*. 2012;36(5):935–40.
85. Kizkapan TB, Misir A, Uzun E, Oguzkaya S, Ozcamdalli M. Factors affecting dislocation after bipolar hemiarthroplasty in patients with femoral neck fracture. *Injury*. 2020;51(3):663–9.
86. Fakler JKM, Rositzka M, Schopow N, Roth A, Zajonz D, Ghanem M, et al. Factors associated with dislocation after bipolar hemiarthroplasty through an (antero-)lateral approach in elderly patients with a femoral neck fracture: a retrospective cohort study with a nested case–control subanalysis of radiographic parameters. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2022;48(5):3981–7.
87. Graulich T, Graeff P, Jaiman A, Nicolaidis S, Omar Pacha T, Örgel M, et al. Risk factors for dislocation after bipolar hemiarthroplasty: a retrospective case–control study of patients with CT data. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2021;31(4):627–33.
88. Clement RC, Strassle PD, Ostrum RF. Should all orthopaedists perform hemiarthroplasty for femoral neck fractures? a volume–outcome analysis. *J Orthop Trauma*. 2018;32(7):354–60.
89. Annan J, Clement N, Macpherson GJ, Brenkel IJ, Ballantyne JA, Dunstan E. Body mass index, hip function and surgeon volume are independent predictors of dislocation: an analysis of 4334 total hip replacements. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2018;28(5):899–905.
90. Rogmark C, Fenstad AM, Leonardsson O, Engesæter LB, Kärrholm J, Furnes O, et al. Posterior approach and uncemented stems increases the risk of reoperation after hemiarthroplasties in elderly hip fracture patients. *Acta Orthop*. 2014;85(1):18–25.
91. Li L, Ren J, Liu J, Wang H, Sang Q, Liu Z, et al. What Are the Risk Factors for Dislocation of Hip Bipolar Hemiarthroplasty Through the Anterolateral Approach? A Nested Case-control Study. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(12):2622–9.

92. Mukka S, Lindqvist J, Peyda S, Brodén C, Mahmood S, Hassany H, et al. Dislocation of bipolar hip hemiarthroplasty through a postero-lateral approach for femoral neck fractures: A cohort study. *Int Orthop*. 2015;39(7):1277–82.
93. Zhang Y, Yao Z, Shi P, Wang C, Liu J, Yang Y, et al. Morphological risk factors associated with dislocation after bipolar hemiarthroplasty of the hip in patients with femoral neck fractures - a nested case-control study. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):1–7.
94. Merle C, Waldstein W, Pegg E, Streit MR, Gotterbarm T, Aldinger PR, et al. Femoral offset is underestimated on anteroposterior radiographs of the pelvis but accurately assessed on anteroposterior radiographs of the hip. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B*. 2012;94 B(4):477–82.
95. Biesheuvel CJ, Vergouwe Y, Oudega R, Hoes AW, Grobbee DE, Moons KGM. Advantages of the nested case-control design in diagnostic research. *BMC Med Res Methodol*. 2008;8:1–7.
96. Pajarinen J, Savolainen V, Tulikoura I, Lindahl J, Hirvensalo E. Factors predisposing to dislocation of the thompson hemiarthroplasty: 22 Dislocations in 338 patients. *Acta Orthop Scand*. 2003;74(1):45–8.
97. Wang B, Liu H, Zhu Y, Yan L, Li JJ, Zhao B. Risk Factors with Multilevel Evidence for Dislocation in Patients with Femoral Neck Fractures After Hip Hemiarthroplasty: A Systematic Review. *Indian J Orthop*. 2020;54(6):795–804.
98. Ko CK, Law SW, Chiu KH. Enhanced soft tissue repair using locking loop stitch after posterior approach for hip hemiarthroplasty. *Journal of Arthroplasty*. 2001;16(2):207–11.
99. Bevölkerungsforschung B für. Altersstruktur der Bevölkerung 1950-2060 [Internet]. 2022. Available from: <https://www.demografie-portal.de/DE/Fakten/bevoelkerung-altersstruktur.html>
100. Dietz HG. Oberschenkelhalsfrakturen (proximale Femurfrakturen) BT - Tscherne Unfallchirurgie: Hüfte und Oberschenkel. In: Haas NP, Krettek C, editors. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. p. 171–7.
101. Hubert J, Beil FT, Ries C. Hemiprothese bei geriatrischer Schenkelhalsfraktur. *Oper Orthop Traumatol*. 2021;33(3):245–61.
102. Aigner D, Bliemel C, Braun T. Alterstraumatologie. 1. Auflage. Ruchholtz Benjamin; Schulz, Ralf-Joachim SB, editor. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2016.
103. Braun KF, Hanschen M, Biberthaler P. Frakturotoprothetik der medialen Schenkelhalsfraktur. *Unfallchirurg*. 2016;119(4):331–45.
104. Totalendoprothese: taperloc-complete-hip-system [Internet]. Available from: <https://www.zimmerbiomet.eu/en/products/taperloc-complete-hip-system>
105. Pfeil J, Frank J, Gumpert NM. Hüftchirurgie. Darmstadt: Steinkopff Verlag; 2008. 34 p.

7 Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Altersstruktur der deutschen Bevölkerung 1950-2060 (99).....	1
Abbildung 2 Arterielle Versorgung des Caput femoris (100).....	4
Abbildung 3 Frontalschnitt durch ein rechtes Hüftgelenk (11).....	5
Abbildung 4 Horizontalschnitt durch ein linkes Hüftgelenk (11).....	5
Abbildung 5 Vereinfachte Darstellung der wichtigsten Kräfte am Hüftgelenk (13).....	7
Abbildung 6 Vereinfachte Darstellung der wichtigsten Kräfte am Hüftgelenk im Einbeinstand (14).....	7
Abbildung 7 Einfluss des CCD-Winkels auf die Beanspruchung des proximalen Femurs (mod. nach Pauwels 1973) (13).....	9
Abbildung 8 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Pauwels (101).....	10
Abbildung 9 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Garden (102).....	11
Abbildung 10 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme: mediale Schenkelhalsfraktur links.....	14
Abbildung 11 Algorithmus Versorgung einer Schenkelhalsfraktur (8).....	16
Abbildung 12 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme - Osteosynthese einer Schenkelhalsfraktur links.....	18
Abbildung 13 Zementpflichtige bipolare Hemiendoprothese (103).....	20
Abbildung 14 Zementfreie Totalendoprothese von Zimmer Biomet (104).....	20
Abbildung 15 Sernbo Score (57).....	21
Abbildung 16 Parker Mobility Score (59).....	21
Abbildung 17 RingLoc® Bi-Polar Hüftsystem von der Firma Zimmer Biomet.....	22
Abbildung 18 Lagerung zur operativen Versorgung einer Hüftprothese.....	23
Abbildung 19 Operative Zugangswege bei Hüftendoprothetik (105).....	24
Abbildung 20 Extraktor mit dem geborgenen Hüftkopf.....	25
Abbildung 21 Blick auf das Acetabulum nach Extraktion des Hüftkopfes.....	25
Abbildung 22 Präparation des Femurschaftes mit Formraspeln.....	26
Abbildung 23 Schaftkomponente nach regelrechter Implantation.....	26
Abbildung 24 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme nach Implantation einer Duokopfprothese.....	27
Abbildung 25 Röntgen Beckenübersichtsaufnahme - Luxation einer Duokopfprothese rechts.....	30
Abbildung 26 Morphologische Parameter: CEA, FOK, FOi, FNSA, RFN und LLD.....	36
Abbildung 27 Morphologische Parameter: FHEI und BHEI.....	36
Abbildung 28 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Alter - Kontrolle vs. Luxation.....	40
Abbildung 29 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Geschlecht - Kontrolle vs. Luxation.....	41
Abbildung 30 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Demenz - Kontrolle vs. Luxation.....	41
Abbildung 31 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Morbus Parkinson - Kontrolle vs. Luxation.....	42
Abbildung 32 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Zeit bis OP - Kontrolle vs. Luxation.....	43
Abbildung 33 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: Operationsdauer - Kontrolle vs. Luxation.....	44
Abbildung 34 Kreisdiagramme Ergebnisse Gesamtkollektiv: Zeitpunkt OP - Kontrolle vs. Luxation.....	45
Abbildung 35 Boxplot Ergebnisse Gesamtkollektiv: CEA - Kontrolle vs. Luxation.....	46
Abbildung 36 ROC-Kurve der unterschiedlichen CE-Winkel Schwellenwerte.....	48
Abbildung 37 PPV in Abhängigkeit zu Cut-off-Winkel.....	49
Abbildung 38 Tabelle Patientendaten mit CE-Winkel <25°.....	49
Abbildung 39 ROC-Kurve der logistischen Regression.....	50
Abbildung 40 PPV in Abhängigkeit zu Cut-off-Winkel.....	51

Abbildung 41 Tabelle Patientendaten nach Vorhersagemodell	51
Abbildung 42 Kreisdiagramme Ergebnisse Subanalyse: Operativer Zugangsweg - Kontrolle vs. Luxation	52
Abbildung 43 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: CEA - Kontrolle vs. Luxation	53
Abbildung 44 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FNSA - Kontrolle vs. Luxation	54
Abbildung 45 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FOi - Kontrolle vs. Luxation	55
Abbildung 46 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FOk - Kontrolle vs. Luxation	56
Abbildung 47 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: RFN - Kontrolle vs. Luxation	56
Abbildung 48 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: LLD - Kontrolle vs. Luxation	57
Abbildung 49 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: BHEI - Kontrolle vs. Luxation	58
Abbildung 50 Boxplot Ergebnisse Subanalyse: FHEI - Kontrolle vs. Luxation	59

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ergebnisse Gesamtkollektiv Alter - Kontrolle vs. Luxation	40
Tabelle 2 Ergebnisse Gesamtkollektiv Geschlecht - Kontrolle vs. Luxation	40
Tabelle 3 Ergebnisse Gesamtkollektiv Demenz - Kontrolle vs. Luxation	41
Tabelle 4 Ergebnisse Gesamtkollektiv Morbus Parkinson - Kontrolle vs. Luxation	42
Tabelle 5 Ergebnisse Gesamtkollektiv Zeitlicher Abstand zwischen Diagnose und Operation - Kontrolle vs. Luxation	43
Tabelle 6 Ergebnisse Gesamtkollektiv Operationsdauer - Kontrolle vs. Luxation	43
Tabelle 7 Ergebnisse Gesamtkollektiv Zeitpunkt der Operation	44
Tabelle 8 Ergebnisse Gesamtkollektiv Center-Edge Winkel - Kontrolle vs. Luxation	45
Tabelle 9 Übersicht Ergebnisse Gesamtkollektiv	46
Tabelle 10 Übersicht Ergebnisse Nested Case-Control Studie	59

8 Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name Céline Stahn
Geburtsdaten 30. April 1998 in Mainz

Ausbildung

Seit 07/2024 **Diakonie Krankenhaus Bad-Kreuznach**
Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin
Assistenzärztin

10/2019 – 04/2024 **Johannes-Gutenberg-Universität Mainz**
Studium der Humanmedizin
3. Staatsexamen 05/2024
2. Staatsexamen 04/2023

10/2017 – 10/2019 **Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**
Studium der Humanmedizin
1. Staatsexamen 09/2019

03/2017 **Gymnasium am Römerkastell Alzey**
Abitur

Forschungsarbeit

Seit 04/2021 **Universitätsmedizin Mainz: Zentrum für Orthopädie & Unfallchirurgie**
Tätigkeit als Doktorandin