

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Zusammenhang des ossären und muskulären Defizits
in der Revisionsendoprothetik der Hüfte

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Johann Felix Finke

aus Berlin

Datum der Promotion: 02.03.2018

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | 5 |
| Abstract | 6 |
| | |
| 1. Einleitung | 7 |
| 1.1 Primäre Implantation einer Hüfttotalendoprothese | 7 |
| 1.2 Revision einer Hüfttotalendoprothese | 8 |
| 1.3 Ossäre Defekte in der Hüfttotalendoprothetik | 9 |
| 1.3.1 Diagnostik des azetabulären Knochendefekts..... | 9 |
| 1.3.2 Klassifikationen des azetabulären Knochendefekts | 10 |
| 1.3.3 Operative Versorgungsmöglichkeiten des azetabulären Knochendefekts | 14 |
| 1.4 Muskuläre Schädigung in der Hüfttotalendoprothetik | 17 |
| 1.5 Hypothesen und Ziele | 20 |
| | |
| 2. Methodik | 22 |
| 2.1 Studienprotokoll | 22 |
| 2.2 Patientenkollektiv | 23 |
| 2.3 Präoperative Datenerhebung | 24 |
| 2.3.1 Anamnese und körperliche Untersuchung | 24 |
| 2.3.2 Radiologische Auswertung..... | 24 |
| 2.3.3 Auswertung der Magnetresonanztomographie..... | 25 |
| 2.4 Operative Durchführung | 27 |
| 2.5 Postoperative Datenerhebung und Verlauf | 27 |
| 2.6 Statistische Auswertung | 28 |
| | |
| 3. Ergebnisse | 29 |
| 3.1 Demographie der Kohorte | 29 |
| 3.2 Ossärer Defekt des Azetabulums | 30 |
| 3.3 Degeneration des Musculus gluteus medius | 32 |
| 3.3.1 Muskuläre Degeneration in der Magnetresonanztomographie | 32 |
| 3.3.2 Funktionelle Untersuchung | 33 |
| 3.4 Zusammenhang zwischen ossärem und muskulärem Defekt | 34 |
| 3.4.1 Varianzanalysen der präoperativen Muskeldegeneration zwischen den Paprosky-Subgruppen..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2 Varianzanalyse des präoperativ erhobenen Trendelenburg-Zeichens zwischen den Paprosky-Subgruppen | 36 |
| 4. Diskussion | 37 |
| 4.1 Demographie der Kohorte | 38 |
| 4.2 Ossärer Defekt des Azetabulums | 39 |
| 4.3 Muskuläre Degeneration des Musculus gluteus medius..... | 40 |
| 4.4 Funktionelle Untersuchung | 42 |
| 4.5 Zusammenhang zwischen ossärem und muskulärem Defekt..... | 43 |
| 4.5.1 Analyse der präoperativen Muskeldegeneration | 43 |
| 4.5.2 Analyse des präoperativen Trendelenburg-Zeichens | 46 |
| 4.6 Limitationen | 47 |
| 4.7 Fazit..... | 48 |
| | |
| Literaturverzeichnis | 50 |
| Abbildungsverzeichnis | 57 |
| Tabellenverzeichnis | 58 |
| Abkürzungsverzeichnis | 60 |
| Eidesstattliche Versicherung | 61 |
| Lebenslauf..... | 62 |
| Danksagung | 62 |

Zusammenfassung

Einleitung: Der Zusammenhang zwischen ossärem und muskulärem Defizit in der Revisionsendoprothetik der Hüfte ist bisher unbekannt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Evaluation des ossären und muskulären Status vor und nach der Revision einer Hüfttotalendoprothese.

Methoden: Prospektive Kohortenstudie. 22 Patienten zur geplanten Pfannenrevision mittels direkt lateralem Zugang. Alter $70,3 \pm 10,4$ Jahre, *Body-Mass-Index* $27,3 \pm 3,3$ kg/m². Es erfolgte präoperativ eine Klassifizierung des azetabulären Defekts nach Paprosky. Präoperativ und sechs Monate postoperativ wurde die Schädigung des Musculus gluteus medius mittels Magnetresonanztomographie quantifiziert.

Anschließend erfolgten die Analysen des ossären und muskulären Schadens und die Varianzanalyse der Muskelschädigung in Abhängigkeit vom Schweregrad des azetabulären Knochendefekts.

Ergebnisse: Die vorliegende Arbeit umfasst gemäß der Paprosky-Klassifikation vier Patienten mit einem Defekt Typ 1, zwölf Patienten mit Defekten des Typs 2A, 2B und 2C und sechs Patienten mit Defekten des Typs 3A und 3B.

In der Kohorte kann ein signifikanter Anstieg der muskulären Verfettung des Musculus gluteus medius nachgewiesen werden (präoperativ $30\% \pm 28,6$; postoperativ $40\% \pm 30,7$; $p = 0,002$). Patienten mit Erstrevision weisen präoperativ einen signifikant kleineren Muskelschaden auf als Patienten mit Mehrfachrevision (fettige Degeneration in Prozent: Erstrevision $20\% \pm 22,6$; Mehrfachrevision $45\% \pm 31,0$; $p = 0,045\%$).

Ein präoperativ bestehender hochgradiger ossärer Defekt des Azetabulums geht mit einer signifikant größeren Schädigung des Musculus gluteus medius einher als ein geringgradiger Knochendefekt ($p = 0,006$).

Schlussfolgerung: Die vorliegende Arbeit zeigt, dass ein präoperativ bestehender ausgeprägter Knochenschaden im Bereich des Azetabulums mit einer signifikant höheren Muskeldegeneration verbunden ist. Mit Patienten mit Mehrfachrevision und/oder einem höhergradigen knöchernen Defizit müssen die möglichen funktionellen Defizite diskutiert werden und intraoperativ Implantate zur Reduktion des Luxationsrisikos zur Verfügung stehen. Hierfür kommen große Prothesenköpfe, *Dual Mobility Cups* und Schnappinlays in Frage.

Abstract

Introduction: The relationship between osseous and muscular deficit in revision of total hip replacement is unknown so far. Therefore, the aim of this study is the evaluation of the osseous and muscular status before and after revision of total hip replacement.

Methods: Prospective cohort study. 22 patients scheduled for acetabular revision using the direct lateral approach. Age $70,3 \pm 10,4$ years, body-mass-index $27,3 \pm 3,3$ kg/m².

Preoperatively, the Paprosky classification of the acetabular defect was used. In addition, preoperatively and six months postoperatively, the fatty degeneration of gluteus medius muscle was quantified using magnetic resonance tomography. Subsequently, the analysis of the osseous and muscular damage and the varianceanalysis of the muscle damage as a function of severity of the acetabular bone defect were performed.

Results: The present study includes four patients with defect type 1, twelve patients with defekts type 2A, 2B and 2C and six patients with defects typ 3A and 3B according to the Paprosky classification.

In the cohort, a significant increase in the muscular fatty degeneration of the gluteus medius muscle can be demonstrated (preoperatively $30\% \pm 28,6$; postoperatively $40\% \pm 30,7$; $p = 0,002$). Preoperatively, patients with first revision manifest a significantly lower extend of muscle damage compared to patients with multiple revisions (fatty degeneration: first revision $20\% \pm 22,6$; multiple revisions $45\% \pm 31,0$; $p = 0,045\%$).

A preoperative high-grade osseous defect of the acetabulum is associated with significantly higher damage of gluteus medius muscle than low-grade osseous defects ($p = 0,006$).

Conclusion: The present study shows that a preoperative high-grade bone damage of the acetabulum is associated with significantly higher muscle degeneration. With patients with multiple revision and/or higher osseous deficits, the possible functional deficits have to be reasoned and implants for reduction of the risk of dislocation have to be available intraoperatively. Large femoral heads, dual mobility cups and constrained liner represent possible options.

1. Einleitung

1.1 Primäre Implantation einer Hüfttotalendoprothese

Die Osteoarthrose ist eine der häufigsten Gelenkerkrankungen (1). Sie führt an den betroffenen Gelenken zu Schmerzen und Funktionseinschränkungen (1). Am Hüftgelenk wird die Osteoarthrose als Koxarthrose bezeichnet. Vor allem das Alter gilt als entscheidender Risikofaktor für die Osteoarthrose, sodass die Prävalenz mit zunehmendem Alter der Bevölkerung ansteigt (2). In der westlichen Bevölkerung beträgt die Prävalenz der Koxarthrose etwa 5% (2). Hierbei tritt die Koxarthrose vermehrt beim weiblichen Geschlecht auf (3).

Ursächlich für die Koxarthrose sind Knochennekrose, Sepsis, rheumatoide Arthritis, Traumata oder auch anatomische Abweichungen wie die kongenitale Hüft dysplasie. Auch idiopathisch kann die Koxarthrose auftreten (1). Führende Symptome der Koxarthrose sind die Gelenksteifigkeit und belastungsabhängige Schmerzen (3). Zur Sicherung der Diagnose dient das konventionelle Röntgen. Radiologisch kann die Koxarthrose nach Kellgren und Lawrence klassifiziert werden (1). Eine Verschmälerung des Gelenkspalts, subchondrale Zysten, subchondrale Sklerosierung, osteophytäre Anbauten und eine Formveränderung des Femurkopfes sind die typischen Zeichen der Koxarthrose im Röntgenbild (4).

Die initiale konservative Behandlung schließt die Gewichtsreduktion, Lebensstiländerung, Gehhilfen und angepasstes Schuhwerk ein und dient der Symptomlinderung. Des Weiteren werden nicht-steroidale, antientzündliche Medikamente und intraartikulär injizierte Steroide und Hyaluronsäuren angewendet (5). Bei unzureichender Symptomkontrolle kann als kausale Behandlungsoption einer Koxarthrose der operative Gelenkersatz in Erwägung gezogen werden (5).

Die Indikation zur Implantation einer Hüfttotalendoprothese variiert weltweit stark durch unterschiedliche Richtlinien unter Berücksichtigung radiologischer und klinischer Parameter (6).

Für die Implantation des totalen Gelenkersatzes bestehen verschiedene Möglichkeiten. Diese ergeben sich durch die Auswahl des Prothesentyps, dessen Fixation (zementiert oder zementfrei), durch die vorliegenden Gleitpaarungen und den operativen Zugangsweg. Bewährte Gleitpaarungen sind die Polyethylen/Keramik-,

Polyethylen/Metall- und die Keramik/Keramik-Paarung (7, 8). Unter den Zugangswegen werden minimalinvasive Zugangswege und die Standardzugangswege unterschieden. Standardzugangswege sind der anterolaterale Zugang nach Watson-Jones, transgluteal nach Bauer, dorsal nach Moor, anterior nach Smith-Peters und direkt lateral nach Hardinge (9).

Die Hüfttotalendoprothetik gilt als eine der erfolgreichsten Operationsverfahren weltweit und wurde von Learmonth et al. als „Operation des Jahrhunderts“ bezeichnet (10, 11).

In den 1990er Jahren wurden in den Staaten der *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD) zwischen 50 und 130 primäre Hüfttotalendoprothesen pro 100.000 Einwohnern implantiert. Allein in Deutschland waren es in diesem Zeitraum 145 bis 183 Implantationen der Hüfttotalendoprothesen auf 100.000 Einwohner (12). Im Jahr 2011 veröffentlichte das Deutsche Ärzteblatt, dass in Deutschland etwa 200.000 primäre Hüfttotalendoprothesen pro Jahr implantiert werden (13). Der Qualitätsreport 2015 des Instituts für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen verzeichnet zwar aktuell eine Stagnation der Primärimplantationsanzahl (14). Nach Patel et al. muss jedoch mittelfristig ausgehend von der demographischen Entwicklung mit einem Anstieg der Primärimplantationsanzahl von Hüfttotalendoprothesen bis zum Jahr 2030 gerechnet werden (15).

Dies gilt auch für die Anzahl der Revisionsoperationen (15).

1.2 Revision einer Hüfttotalendoprothese

In Deutschland wurden im Jahr 2015 fast 24.000 Hüfttotalendoprothesen revidiert (14). Patel et al. vermuten aufgrund der demographischen Entwicklung einen Anstieg der Revisionsoperationen (15).

Hauptursache für die Revision ist mit über 70% die aseptische Lockerung (16). Weitere Ursachen sind Dislokation, Infekt, periprothetische Frakturen und Implantatbruch (17). Die Implantatlockerung kann dabei mit Substanzverlust des Knochens einhergehen (18). Eine frühzeitige Diagnose der Lockerung ist wichtig, um die Progredienz des Knochendefekts frühestmöglich zu vermeiden. Eine verzögerte Diagnosestellung könnte andernfalls eine komplexere Revisionsoperation zur Folge haben (18).

Die Prothesenstandzeit und Ergebnisse der Revisionendoprothese sind vom präoperativen Knochendefekt abhängig. Iwase et. al. untersuchten 66

Azetabulumrevisionen, wobei sie die Kohorte anhand von der maximalen azetabulären Defektdistanz in schwere und leichte azetabuläre Defekte einteilten und anschließend die Standzeit der Prothese beobachteten. Es zeigte sich, dass geringgradige Knochendefekte eine höhere Überlebensrate aufweisen als schwerwiegende Knochendefekte (19).

Im „Central Scientific and Research Institute“ in Moskau wurden 664 Azetabulumrevisionen untersucht. Das Ergebnis war, dass 91% der Patienten mit geringem Knochendefekt (Paprosky-Typ 1, 2A und 2B) ein gutes Resultat nach der Revision aufwiesen. Patienten mit schwerem azetabulärem Knochendefekt (Paprosky-Typ 3B und 2C) wiesen zu 25% ein schlechtes Ergebnis nach der Revision auf. Das Ergebnis wurde in der Studie anhand von chronischem Schmerz, Lockerung und tiefer Infektion bewertet (20). Zusammenfassend erzielten geringgradige Knochendefekte am Azetabulum bessere Ergebnisse als schwerwiegende Knochendefekte.

1.3 Ossäre Defekte in der Hüfttotalendoprothetik

Knochendefekte können im Rahmen der Hüfttotalendoprothetik am Schaft, am Azetabulum oder kombiniert auftreten.

Im Folgenden werden die Diagnostik, Klassifikation und Therapie des azetabulären Knochendefekts beschrieben.

1.3.1 Diagnostik des azetabulären Knochendefekts

Die Implantatlockerung geht meist mit einem Knochendefekt einher (18). Für eine Implantatlockerung sind anamnestisch neu aufgetretene, belastungsabhängige Schmerzen wegweisend (18). Bei der Pfannenlockerung kann sich in der körperlichen Untersuchung ein inguinaler Schmerz zeigen (18). Viele Patienten sind anfangs beschwerdefrei. Nur 60-80% der Patienten mit Lockerung sind im weiteren Verlauf symptomatisch (18). Durch den asymptomatischen Verlauf kann es zu einer verzögerten Diagnose einer Implantatlockerung kommen. Eine Verzögerung der Diagnose kann zum Fortschreiten des knöchernen Defekts führen. Dadurch wird wiederum ein komplexeres Operationsmanagement nötig. Folglich ist eine frühzeitige Diagnosestellung wichtig.

Basis der Lockerungsdiagnostik ist das konventionelle Röntgen (21). Mithilfe des Röntgens können Kriterien beurteilt werden, die auf eine Prothesenlockerung deuten.

Zeichen einer Lockerung sind im Röntgen Saumbildung um die Prothese, Osteolysen, zunehmende Sklerosierung, Bruch des Zements, Implantatbruch oder -bewegung (18). Insbesondere die Kriterien Osteolyse, Pfannenmigration oder Saumbildung über 2mm innerhalb von zwei Jahren postoperativ deuten auf eine Implantatlockerung hin (22). Brand et al. konnten allerdings zeigen, dass eine einheitliche Diagnosestellung aufgrund der geringen Interobserverreliabilität nicht immer gelingt (23).

Zur erweiterten Diagnostik kann die Drei-Phasen-Szintigraphie angewendet werden (21). Auch Laborwerte wie Osteocalcin, Cross-link-vernetzte N-Telopeptide und Hyaluronsäure können bei einer Implantatlockerung ansteigen (24, 25). In der Computertomographie ist das Knochen-Implantat-Interface aufgrund von Artefakten meist eingeschränkt zu beurteilen. Zur primären Diagnostik einer Implantatlockerung wird die Computertomographie daher nicht angewendet. Sie kann allerdings als Hilfsmittel zur Planung komplexer Revisionseingriffe genutzt werden (18).

Das Röntgen als Lockerungsdiagnostik erfolgt in zwei Ebenen: in der Beckenübersichtsaufnahme (anterior-posterior) und seitlich (axial) (26). Es ist dabei in Relation zu Nebenwirkungen und Risiken anderer Verfahren in Sensitivität und Spezifität für die Lockerungsdiagnostik vorzuziehen (21).

Gleichzeitig können auch einhergehende Knochendefekte durch das konventionelle Röntgen beurteilt und klassifiziert werden.

1.3.2 Klassifikationen des azetabulären Knochendefekts

Mithilfe von konventionellen Röntgenaufnahmen können ossäre Defekte des Azetabulums klassifiziert werden. Entsprechend der Klassifizierung kann spezifisch auf bestimmte Knochendefekte in der Revision reagiert werden.

Saleh et al. entwickelten 2001 eine Klassifikation, in der der azetabuläre Defekt in fünf verschiedene Schweregrade des azetabulären Defekts eingeteilt wird (27). Typ 1 beschreibt keinen signifikanten Knochenverlust und Typ 2 einen azetabulären Knochendefekt ohne Wallddefekt. Der Typ 3 liegt vor, wenn ein segmentaler Defekt unter 50% der anterioren oder posterioren Säule vorliegt, Typ 4 bei über 50% Knochenverlust an anteriorer und posteriorer Säule. Typ 5 liegt bei einem azetabulären Defekt, der mit pelvischer Diskontinuität assoziiert ist, vor. Ziel dieser Einteilung ist es, präoperativ das

Therapieverfahren festlegen zu können. In Abhängigkeit des Defekttyps werden folglich Empfehlungen für das Defektmanagement ausgesprochen (28).

Die Klassifikation nach D'Antonio, auch bekannt als Klassifikation der *American Academy of Orthopaedic Surgeons* (AAOS), unterteilt den azetabulären Defekt in fünf Hauptkategorien (29). Beim Typ 1 handelt es sich um einen segmentalen Defekt. Darunter wird der Verlust von Knochen direkt am Azetabulum verstanden. Der Typ 2 ist ein kavitärer Defekt. Im Unterschied zum Typ 1 ist der knöcherne Rand des Azetabulums intakt, es fehlt aber der Knochenanteil an der azetabulären Höhle. Der Typ 3 ist eine Defektkombination der beiden letztgenannten Typen. Des Weiteren unterscheidet man Typ 4 mit Beckendiskontinuität und Typ 5 mit Arthrodesen. Typ 1 und Typ 2 werden durch weitere Kategorien spezifiziert. Operationsempfehlungen werden in dieser Klassifikation nicht gegeben, sodass diese Einteilung eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine weitere Klassifikation für azetabuläre Defekte ist die Paprosky-Klassifikation (30). Im Vordergrund dieser Klassifikation steht das operative Management des Knochendefekts. Das knöcherne Defizit am Azetabulum wird in Typen von 1 bis 3 klassifiziert, wobei weitere Unterteilungen beim Typ 2 von A bis C und beim Typ 3 zwischen A und B getroffen werden. Die Abbildung (Abb.) 1 veranschaulicht den azetabulären Defekt aufsteigend der Klassifikation nach Paprosky (31).

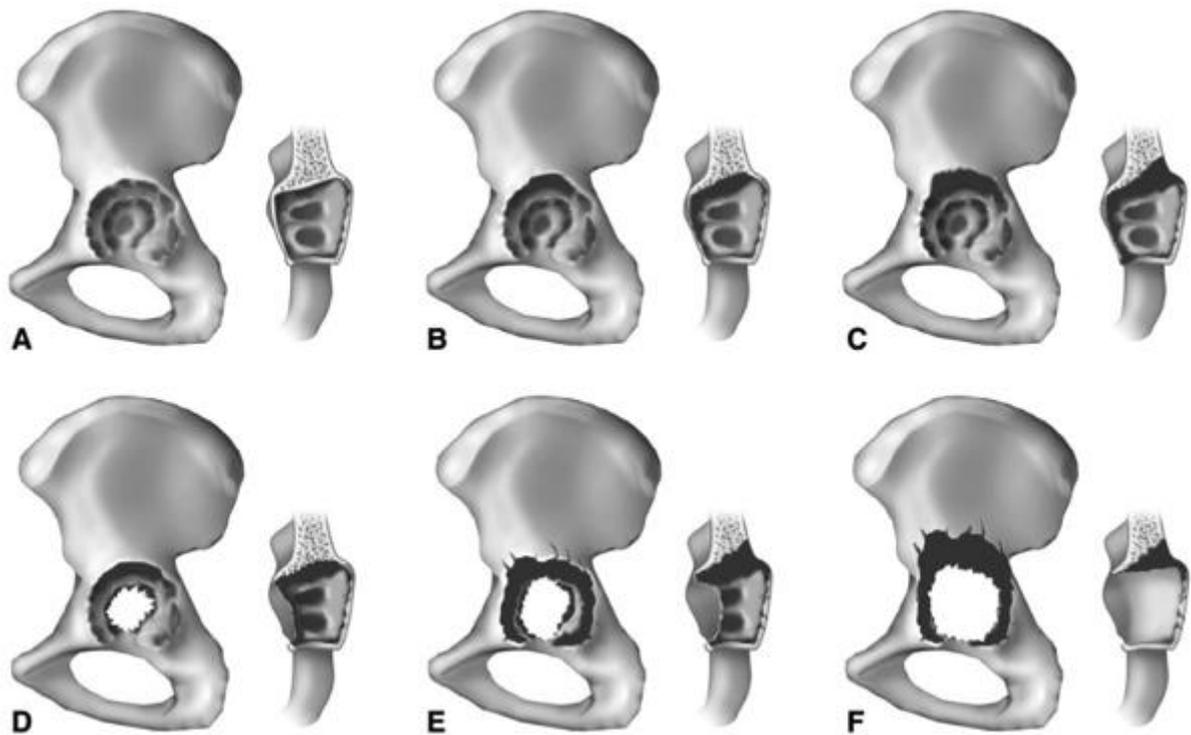


Abb. 1: Darstellung des azatabulären Defekts nach Paprosky. **A** Typ 1. **B** Typ 2A. **C** Typ 2B. **D** Typ 2C. **E** Typ 3A. **F** Typ 3B (31). (Mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags)

Die Klassifikation nach Paprosky beruht auf vier grundlegenden Kriterien, die in der Beckenübersichtsaufnahme beurteilt werden: Migration des Drehzentrums des Hüftgelenks in Beziehung zur Linie, die die Oberkanten der Foramina obturatoria verbindet (Obturator-Linie), Destruktion der Tränenfigur, ischiale Osteolysen und Kontinuität der Köhler-Linie wie in Abb. 2, entnommen von Telleria und Gee, gezeigt ist (31).

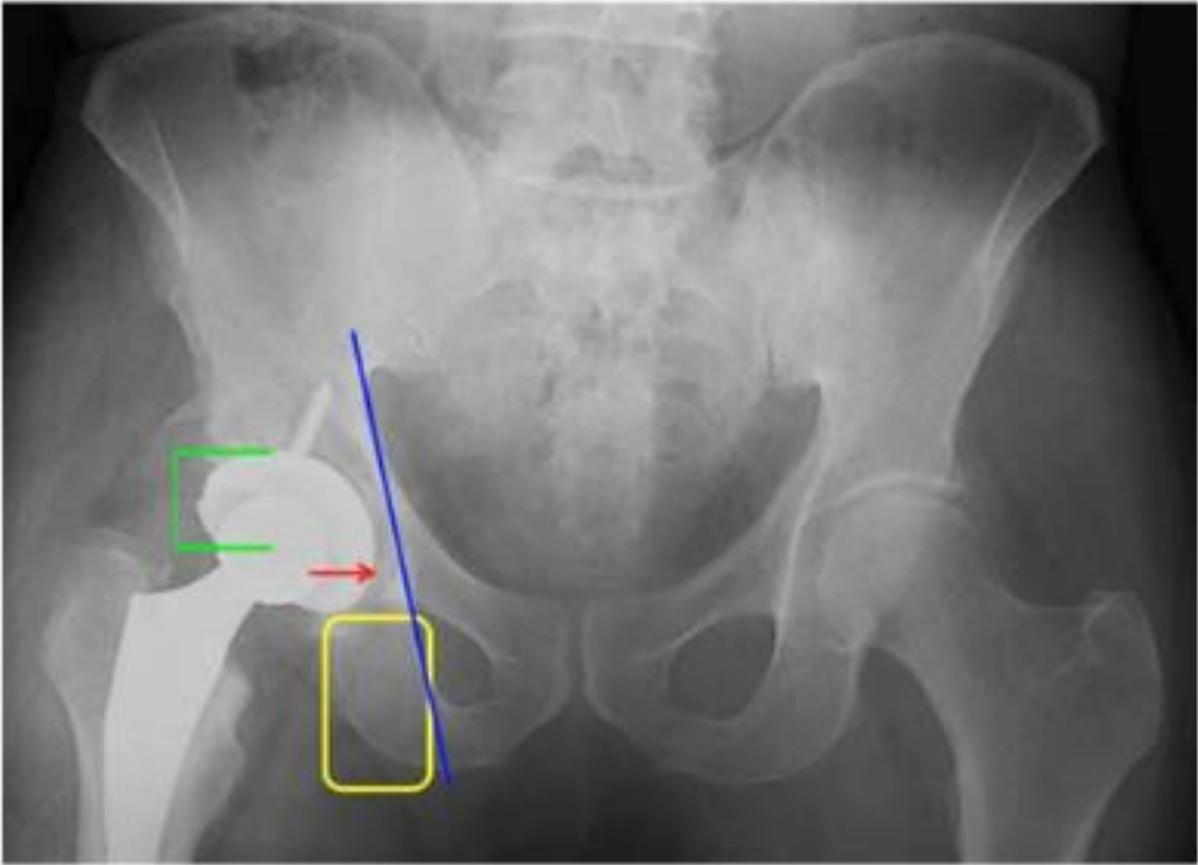


Abb. 2: Zu beurteilende Strukturen in der Paprosky-Klassifikation. Migration des Drehzentrums (grüne Klammer), Tränenfigur (roter Pfeil), ischiale Osteolysen (gelb umrandet), Köhler-Linie (blauer Strich). Abb. entnommen von Telleria und Gee (31). (Mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags)

Unterschieden werden sechs möglichen Defekttypen am Azetabulum, wie sie in Tabelle (Tab.) 1, einer Text-Tabellenbeschreibung adaptiert nach Sheth et al., dargestellt sind (30).

| Typ | Migration | Ischiale Osteolysen | Köhler-Linie | Tränenfigur |
|-----|-------------------|---------------------|--------------|---------------|
| 1 | Keine | Keine | Intakt | Intakt |
| 2A | Milde (< 3 cm) | Keine | Intakt | Intakt |
| 2B | Moderate (< 3 cm) | Milde | Intakt | Intakt |
| 2C | Milde (< 3 cm) | Milde | Unterbrochen | Moderate Lyse |
| 3A | Schwere (> 3 cm) | Moderate | Intakt | Moderate Lyse |
| 3B | Schwere (> 3 cm) | Schwere | Unterbrochen | Schwere Lyse |

Tab. 1: Paprosky-Klassifikation des azetabulären Knochendefekts (30).

Beim Typ 1 gibt es keine Migration des Drehzentrums, keine ischiale Osteolysen, keine Unterbrechung der Köhler-Linie oder einen Defekt der Tränenfigur. Beim Typ 2A liegt eine milde Migration (< 3 cm) vor. Das Drehzentrum ist beim Typ 2A zur Obturator-Linie nach kranial migriert. Eine geringe Migration liegt auch beim Typ 2B und 2C vor. Typ 2B besitzt zusätzlich zum Typ 2A eine milde ischiale Osteolyse, Tränenfigur und Köhler-Linie sind intakt. Beim Typ 2C kommt es durch eine zusätzliche mediale Migration zu einer Unterbrechung der Köhler-Linie. Typ 3A und B liegen bei einer schweren Migration nach kranial von über 3 cm vor. Beim Typ 3A treten moderate ischiale Osteolysen und eine moderate Lyse der Tränenfigur auf. Beim Typ 3B ist im Unterschied zum Typ 3A die Köhler-Linie unterbrochen (30).

Mithilfe der verschiedenen Klassifikationen kann die Planung der Revisionsoperation zur Behebung der Prothesenlockerung und Rekonstruktion des Knochendefekts erfolgen.

1.3.3 Operative Versorgungsmöglichkeiten des azetabulären Knochendefekts

Mithilfe von der genannten Klassifikationen kann der vorliegende Knochendefekt am Azetabulum eingeteilt werden. Davon ausgehend können folgende operative Maßnahmen, wie im „AE-Manual der Endoprothetik“ (Manual der Deutschen Gesellschaft für Endoprothetik) beschrieben, für die Revisionsoperation in Erwägung gezogen werden (32):

Zur Defektversorgung stehen zementierte und zementfreie Pfannen zur Verfügung. Des Weiteren können Pfannendach- und Pfannenstützschalen verwendet werden. In speziellen Fällen werden außerdem Sonderimplantate angewendet.

Zementierten Pfannen werden vor allem bei kleinen Knochendefekten eingesetzt. Die Knochendefizite können dabei durch autologe oder homologe Spongiosaimplantation ausgeglichen werden. Vorteile der zementierten Pfanne sind die sofortige Belastbarkeit und die mögliche Durchführung bei weniger stabilem Knochen. Für die Implantation muss allerdings ausreichend Spongiosa vorhanden sein, damit sich der Zement darin verankern kann (32).

Häufiger in Gebrauch sind die zementfreien Pfannen. Man unterscheidet Press-fit-Pfannen, Pfannen mit differentem Längs- und Querdurchmesser und Schraubpfannen. Die Press-fit-Pfannen werden im Becken zementfrei verklemmt. Zusätzlich kann die Pfanne durch Schrauben fixiert werden (32).

Die biradiäre Pfanne zählt zu den Pfannen mit differentem Längs- und Querdurchmesser. Sie sieht aus wie zwei mit einander verschmolzene hemisphärische Pfannen. Auf diese Weise kann die kraniale Pfanne in den Defekt eingebracht werden, während die kaudale Pfanne gleichzeitig im Azetabulum fixiert wird (32).

Schraubpfannen werden bei kavitären und kleinen segmentalen Defekten angewendet, wenn der Wirtsknochen ausreichend stabil ist (32).

Des Weiteren gibt es die Pfannendach- und Pfannenstützschalen, die mittels Hybridtechnik implantiert werden. Zuerst wird eine Schale zementfrei ins Azetabulum eingebracht und über das Ilium und Os pubis fixiert. Danach wird eine Polyethylenpfanne in die erste Schale einzementiert. Verschiedene Typen dieser Kategorie sind die Typ-Müller-Pfannendachschale, die Typ-Hakendachschale und die Abstützschalen wie der Burch-Schneider-Ring (Zimmer Biomet Holdings, Warsaw, Vereinigte Staaten von Amerika) und der Reko-Ring (Smith & Nephew, London, Vereinigtes Königreich) (32).

Für spezielle Indikationen gibt es Sonderimplantate. Dazu zählen die *Custom-made*-Prothesen. *Custom-made*-Prothesen werden individuell mittels Computertomographie-Planung an die Defektsituation des Patienten angepasst. Dadurch ist ein größtmöglicher Kontakt zum Wirtsknochen möglich. Verwendet wird sie bei großen segmentalen Pfannendefekten und Beckendiskontinuität (32).

Eine weitere Versorgungsmöglichkeit bieten Metallaugmente aus hochporösem Metall, zum Beispiel das *Trabecular Metal Technology* (TMT) - System (Zimmer Biomet Holdings, Warsaw, Vereinigte Staaten von Amerika), durch die auch größere Defekte mit Hilfe von Augmenten ausgeglichen werden können. Diese Systeme bestehen aus einem Kohlefasergerüst, das mit Tantal bedampft wurde (32).

Des Weiteren gibt es biologische, knöcherne Implantate. Unterschieden werden autologe (körpereigene) und allogene (von Spendern stammende) Transplantate. Autografts haben im Gegensatz zu Allografts osteoinduktive Eigenschaften. Dafür sind Allografts in einer höheren Anzahl vorhanden und werden daher häufiger verwendet. Autologe Transplantate sind zum Beispiel autologe Knochenchips, mit denen knöcherne Defizite aufgefüllt werden können. Sie besitzen eine sehr hohe osteogenetische und osteokonduktive Wirkung: Sie stoßen den Prozess der Osteogenese an und fördern ihn. Außerdem dienen die Knochenchips dabei als Leitstruktur für den sich neu bildenden Knochen. Sie können allerdings nicht direkt für mechanische Stabilität sorgen. Deshalb versucht man sie beim Einbringen in Defekthöhlen zu komprimieren und zu verdichten. Neben den autologen gibt es auch allogene Knochenchips, die ähnliche Wirkung haben und genauso verwendet werden (32).

Ein Beispiel für ein allogenes Transplantat ist der allogene, demineralisierte Knochen. Dieser ist in hohem Maße osteokonduktiv, hat im Gegenzug aber keine osteoinduktive Wirkung und kann nur begrenzt belastet werden. Des Weiteren gibt es allogene kortikospongiöse Transplantate. Oft werden diese im Vorfeld aus Femurköpfen gewonnen. Durch ihren großen kortikalen Anteil, sorgen sie für eine gute Stabilität (32).

Während die knöchernen Transplantate überwiegend den Knochendefekt beheben können, werden metallene Implantate vorwiegend für die Sicherstellung der Stabilität verwendet. Knochentransplantate eignen sich überwiegend für das Auffüllen von kavitären Defekten, metallene Implantate für das Ausgleichen von Defiziten in kranialen oder kraniodorsalen Pfeilern am Azetabulum. Aus diesem Grund werden bei großen und schwerwiegenden Defekten häufig beide Transplantate miteinander kombiniert (32).

Neben der festen Verankerung der Prothese und dem Ausgleich knöcherner Defekte ist für die Prothesenstandzeit und die Funktion auch der Erhalt der Muskulatur von entscheidender Bedeutung.

1.4 Muskuläre Schädigung in der Hüfttotalendoprothetik

Der *Musculus gluteus medius* und *Musculus gluteus minimus*, funktionell zusammengefasst als „kleine Gluteen“, sind für die Stabilisierung des Beckens im Einbeinstand verantwortlich (33). Diese beiden Muskeln sind allerdings durch die verschiedenen Zugänge in der Hüfttotalendoprothetik gefährdet (34). Minimalinvasive Zugangswege wie die minimalinvasive Zwei-Schnitt-Technik gelten im Vergleich zu den Standardzugangswegen als muskelschonender (35). Doch führen auch minimalinvasive Zugangswege zu Muskelschäden: Der kleinere Hautschnitt führt zur Einschränkung der Übersicht für den Operateur im Operationsgebiet, sodass es infolgedessen zu Quetschungstraumata an der pelvitrochantären Muskulatur kommt (36-38). Die Schädigung der „kleinen Gluteen“ führt ab einem bestimmten Grad zur Insuffizienz, die sich in einer Funktionseinschränkung manifestieren und sich durch das Trendelenburg-Zeichen erheben lassen kann (39). Mit dem Funktionsverlust der Abduktoren ist das Risiko für die Dislokationsrate erhöht, insbesondere wenn es zu keinem operativen Versuch kommt, diese Muskelschwäche auszugleichen (40, 41). Für den Patienten könnten sich demnach weitere Operationen und Re-Revisionen ergeben.

Klinisch lässt sich eine gluteale Insuffizienz durch das Trendelenburg-Zeichen wie in Abb. 3 dargestellt erfassen. Das Trendelenburg-Zeichen wird erhoben, indem sich der Untersucher hinter den Patienten stellt, der sich auf das zu untersuchende Bein im Einbeinstand stellt. Untersucht wird nun, ob das Becken zum unbelasteten Bein absinkt. Dies spricht für eine Insuffizienz des *Musculus gluteus medius* und *minimus* des belasteten Beins. Das Trendelenburg-Zeichen ist in diesem Fall positiv. Sinkt das Becken nicht zum unbelasteten Bein ab, sondern bleibt in der Waagerechten, ist das Trendelenburg-Zeichen negativ (42). Wie in Abb. 3 gezeigt ist, kann es beim positiven Trendelenburg-Zeichen außerdem zu einer Verlagerung des Oberkörpers zum Standbein kommen. Dies ist das sogenannte Duchenne-Zeichen, das kompensatorisch zum Erhalt des Gleichgewichts auftritt (43).

Das Trendelenburg-Zeichen kann bei bis zu 20% der Patienten nach einer Primärimplantation der Hüfttotalendoprothese positiv sein (44).

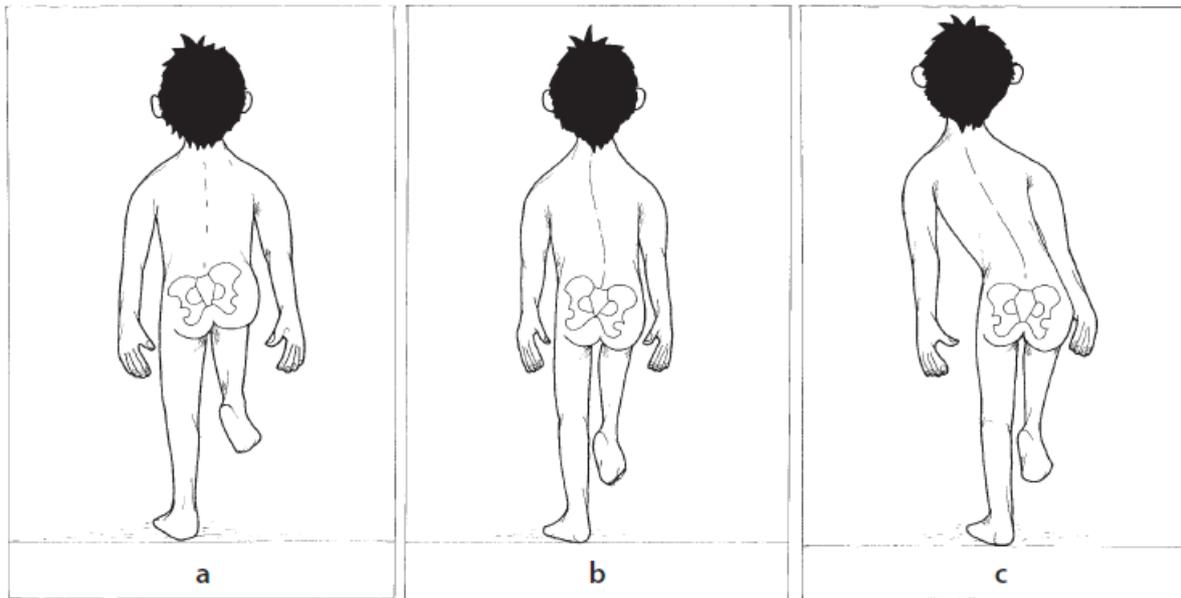


Abb. 3: Darstellung des Trendelenburg-Zeichens. **a** negatives Trendelenburg-Zeichen: stabilisiertes Becken durch suffiziente „kleine Gluteen“ auf der Seite des Standbeins, **b** positives Trendelenburg-Zeichen: Absinken des Beckens zur unbelasteten Seite durch insuffiziente „kleine Gluteen“ auf der Seite des Standbeins, **c** positives Trendelenburg-Zeichen mit kompensatorischer Verlagerung des Körperschwerpunkts zum belasteten Bein (Duchenne-Zeichen) (43). (Mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags)

Eine Möglichkeit zur apparativen Diagnostik der muskulären Schädigung ist die Ultraschalluntersuchung. Durch diese kann eine Muskelatrophie und Muskelverfettung an oberflächlichen Muskeln wie der Rotatorenmanschette des Schultergelenks diagnostiziert werden (45). Auch für die Detektion muskulärer Schäden an tiefer gelegener Muskulatur wie am Hüftgelenk kann die Ultraschalluntersuchung eingesetzt werden (46).

Des Weiteren hat sich die Magnetresonanztomographie als geeignete Diagnostik hervorgetan. Müller et al. konnten in ihrer Studie von 2010 durch die Magnetresonanztomographie die Muskelatrophie im anterioren Bereich des Musculus gluteus medius bei Patienten mit einem modifizierten direkt lateralen Zugang bei der Primärimplantation einer Hüfttotalendoprothese nachweisen (47). Auch Pfirrmann et al. untersuchten mittels Magnetresonanztomographie die fettige Degeneration und den Sehnenabriss des Musculus gluteus medius und minimus nach der Primärimplantation (48). Von Roth et al. und Engelken et al. quantifizierten den Muskelschaden mittels Magnetresonanztomographie, indem sie die Häufigkeit der unterschiedlichen

Graustufenwerte von Muskel- und Fettgewebe im geschädigten Muskel analysierten (39, 49).

Operative Versorgungsmöglichkeiten des Muskeldefekts sind resorbierbare und nichtresorbierbare Muskelnähte. Auch der Transfer des Musculus gluteus maximus und des Tensor fascia lata wurden hierfür verwendet (50, 51). Doch erweisen sich die operativen Verfahren als komplex und die Versagensrate ist hoch (50-52).

Durch die Schädigung der „kleinen Gluteen“ und der resultierenden pelvitrochantären Insuffizienz folgt auch eine erhöhte Dislokationsrate der Hüfttotalendoprothesen (40, 41). Eine Möglichkeit der Reduktion der Dislokationsrate ist die Verwendung von großen Prothesenköpfen. Diese führen allerdings aufgrund des erhöhten mechanischen Stresses zu einer erhöhten Fehlerrate der Prothese (53).

Bewährt haben sich als Prothesenmodell die *Dual Mobility Cups* wie in Abb. 4 dargestellt (41). Es handelt sich hierbei um ein Prothesenmodell mit erhöhtem Kopplungsgrad (41). Das Funktionsprinzip der *Dual Mobility Cups* beruht auf der Verwendung eines kleinen Prothesenkopfes, der selbst zu mehr als 50% von einer Polyethylen-Schale umschlossen ist, die wiederum in der Metallpfanne artikuliert (41). Zwischen Polyethylen-Inlay und Pfanne treten erst Gleitbewegungen bei großen, weniger alltäglichen Bewegungsumfängen auf, sodass die Luxationsrate bei insuffizienter Glutealmuskulatur reduziert wird (41).

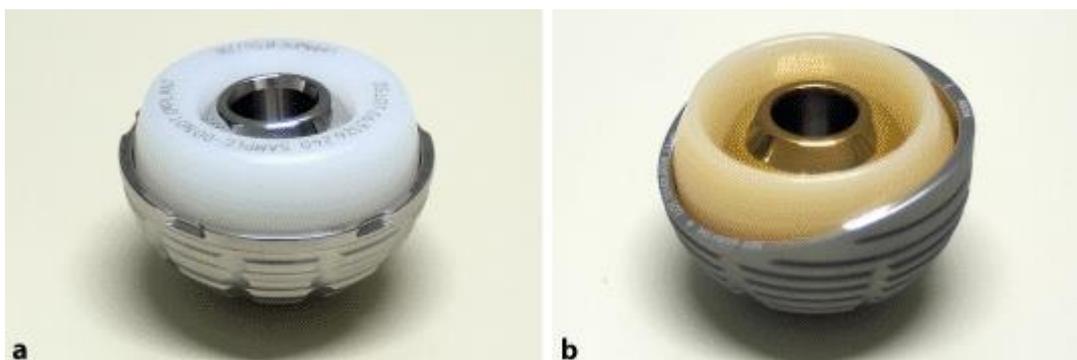


Abb. 4: Die *Dual Mobility Cup*. **a** zementierbare *Dual Mobility Cup* mit neutraler Pfanne, **b** zementierbare *Dual Mobility Cup* mit Pfannenranderhöhung (41). (Mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags)

Eine weitere Option zur operativen Vorbeugung erhöhter Dislokationsraten aufgrund von pelvitrochantärer Insuffizienz ist die Verwendung von Schnappinlays (*constrained liner*), zum Beispiel dem *Constained Tripolar Implant* (Stryker Howmedica Osteonics, Rutherford, New Jersey, Vereinigte Staaten von Amerika) (53). In Abhängigkeit der verschiedenen Modelle verhindert der jeweilige Aufbau des Implantats die Luxation und kompensiert eine vorliegende muskuläre Instabilität (53). Daraus resultieren aber auch ein geringerer Bewegungsumfang und ein mögliches Impingement, das wiederum zu Prothesenlockerung führen kann (53).

Aufgrund erhöhter Fehlerraten durch die Versorgung mit Schnappinlays ist vor allem die Verwendung der *Dual Mobility Cups* sehr gebräuchlich (53).

1.5 Hypothesen und Ziele

Bisher sind in der Literatur ossäre und muskuläre Einflussfaktoren auf die endoprothetische Versorgung der Hüfte ausführlich untersucht worden. Sowohl Knochendefekte am Azetabulum als auch gluteale Muskelschäden können mittels vielfältiger Diagnostik analysiert und durch verschiedene Klassifikationen kategorisiert werden. Dadurch ergeben sich gezielte operative Versorgungsmöglichkeiten, um die Prothesenstandzeit zu verlängern, entsprechenden Komplikationen vorzubeugen und weitere Operationen zu vermeiden.

Bisher sind die azetabuläre Knochenschädigung und der gluteale Muskeldefekt separat voneinander in der Revisionsendoprothetik der Hüfte untersucht worden. Es gibt bisher keine Studie, die deren Zusammenhang untersucht.

Ziel dieser klinisch-prospektiven Studie ist es daher, den ossären und muskulären Defekt im Rahmen der Revisionendoprothetik der Hüfte darzustellen und erstmals deren präoperativen Zusammenhang zu untersuchen. Dazu dienen die prä- und postoperativ angefertigte radiologische Diagnostik und die funktionelle Untersuchung des Hüftgelenks.

Bisher ist unklar, wie sich der muskuläre Schaden vor und nach einer Revision der Hüfttotalendoprothese und in Abhängigkeit von der Revisionsanzahl verhält. Es ist nicht bekannt, wie der präoperative Knochendefekt des Azetabulums mit der muskulären Schädigung des *Musculus gluteus medius* zusammenhängt.

Ergebnisse dieser Studie könnten zukünftig Einfluss auf die Implantationstechnik in der Hüfttotalendoprothetik nehmen. Verbesserungen in der operativen Zugangswahl, in der Prothesenauswahl und in der ossären und muskulären Defektbehandlung wären möglich.

Für die vorliegende Studie ergeben sich folgende Hypothesen:

1. Die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius wird im Rahmen einer Revisionsoperation der Hüfttotalendoprothese von präoperativ zu postoperativ signifikant größer.
2. Die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius steigt mit der Anzahl der Revisionsoperationen an.
3. Mit zunehmendem Schweregrad des präoperativen Knochendefekts am Azetabulum steigen die muskuläre Verfettung des Musculus gluteus medius und dessen funktionelles Defizit an.

Primäre Zielparameter sind der azetabuläre Knochendefekt im konventionellen Röntgen und die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius in der Magnetresonanztomographie.

Als sekundärer Zielparameter dienen demographische Parameter und das Trendelenburg-Zeichen zur funktionellen Untersuchung.

2. Methodik

2.1 Studienprotokoll

Die vorliegende prospektive Kohortenstudie erfolgte am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin. Während der gesamten Bearbeitung der Studie im Rahmen der Promotion wurde die Satzung der Charité zur Sicherung „Guter Wissenschaftlicher Praxis“ berücksichtigt und eingehalten.

Der Studienbeginn erfolgte nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Charité (Antragsnummer EA2 057 10).

Durchgeführt wurde die vorliegende Studie anhand von Patienten, die sich einer aseptischen Pfannenrevision ihrer Hüfttotalendoprothese unterzogen.

Die Behandlung und Datenerhebung der Probanden erfolgte an der Klinik für Orthopädie am Campus Charité Mitte der medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin. Das Studienprotokoll sah für die Probanden nach mündlicher und schriftlicher Einwilligung der Patienten zur Studie zwei Visiten vor (Tab. 2). Die erste Visite erfolgte präoperativ am Tag der stationären Aufnahme des Patienten zur Revisionsoperation. Zu diesem Zeitpunkt erfolgten eine Anamnese und eine körperliche Untersuchung. Der Schwerpunkt der körperlichen Untersuchung lag auf der Erfassung der Funktionalität des Hüftgelenks mithilfe des Trendelenburg-Zeichens. Des Weiteren erfolgten präoperativ eine Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie und eine Beckenübersichtsaufnahme mittels Röntgen.

Die zweite Visite erfolgte sechs Monate postoperativ. Die Probanden wurden erneut analog zur präoperativen Visite einer Anamnese, einer körperlichen Untersuchung und einer Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie unterzogen.

| Visite | präoperativ (am Tag der stationären Aufnahme) | postoperativ (nach sechs Monaten) |
|---------------------------|---|---|
| Anamnese | X | X |
| Körperliche Untersuchung | X | X |
| Röntgen | X | |
| Magnetresonanztomographie | X | X |

Tab. 2: Studienprotokoll. Die Datenerhebung erfolgte in einer präoperativen und einer postoperativen Visite.

2.2 Patientenkollektiv

Der Probandeneinschluss dieser Studie erfolgte im Zeitraum von Mai 2011 bis März 2014. In diesem Zeitraum wurde eine Kohorte aus 40 Patienten in die vorliegende klinisch-prospektive Studie eingeschlossen. Einschlusskriterien waren die Diagnose einer aseptischen Lockerung der Hüfttotalendoprothese als Grund für die Revision und der durchgeführte direkt laterale Zugangsweg bei der Implantation der zu revidierenden Hüfttotalendoprothese.

Zum Ausschluss führten das Vorliegen eines anderen operativen Zugangs als der direkt laterale Zugang bei der Erstoperation, Muskelerkrankungen, ein positiver Erregernachweis in der präoperativen Punktion, andere Operationen am betroffenen Hüftgelenk oder im Bereich des Beckens im Zeitraum der Studienteilnahme, neurologische Erkrankungen, eine immunsupprimierende Therapie, Kontraindikationen für die Durchführung einer Magnetresonanztomographie (Schrittmacher, Defibrillator, ferromagnetische intrazerebrale Clips), die Teilnahme an einer anderen Studie, Schwangerschaft oder eine eingeschränkte Geschäftsfähigkeit. Weitere, definitive Abbruchkriterien bei der Studiendurchführung waren Protokollverletzungen und Tod des Patienten. Die eingeschlossenen Patienten konnten zu jeder Zeit aus beliebigem Grund von der Studie zurücktreten.

Aus ursprünglich 40 Patienten wurden 22 Patienten identifiziert, die einer aseptischen Pfannenrevision unterzogen wurden. Die verbliebenen 18 Patienten fanden aufgrund fehlender azetabulärer Lockerung oder unzureichender Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie in der Auswertung dieser Studie keine Verwendung.

Die Auswertung zur Beantwortung der Hypothesen dieser klinisch-prospektiven Studie erfolgte schließlich anhand von 22 Patienten.

Dieses Patientenkollektiv wurde in Abhängigkeit von der Anzahl der vorherigen Revisionen in zwei Revisionsgruppen unterteilt. Patienten mit der ersten Revision der Hüfttotalendoprothese wurden der Erstrevisionsgruppe zugeteilt, Patienten mit der mindestens zweiten Revision wurden der Mehrfachrevisionsgruppe zugeteilt.

2.3 Präoperative Datenerhebung

2.3.1 Anamnese und körperliche Untersuchung

In der Anamnese wurden die anthropometrischen Daten Alter, Größe, Gewicht und *Body-Mass-Index* bestimmt. Der *Body-Mass-Index* ergibt sich aus der Division von Körpermasse in Kilogramm (kg) durch die Körperlänge in Meter (m) zum Quadrat: *Body-Mass-Index* = $[\text{kg}/\text{m}^2]$ (54). Gemäß der Deutschen Gesellschaft für Adipositas wurden die Probanden vom *Body-Mass-Index* ausgehend in Unter-, Normal-, Übergewicht und Adipositas unterschieden (54).

Außerdem wurden die Anzahl der vorherigen Revisionen der betroffenen Hüfte und der aktuelle Revisionsgrund, die aseptische Lockerung der Pfannenkomponente, kontrolliert. In der körperlichen Untersuchung wurde das Trendelenburg-Zeichen erhoben. Bewegungsumfang, Leistendruck-, Fersenklopf- und Trochanterklopfeschmerz, Beinlängendifferenz und Zustand der Narbe, inklusive Narbenlänge der vorherigen prothetischen Versorgung wurden erhoben.

2.3.2 Radiologische Auswertung

Von jedem Patienten wurde präoperativ durch konventionelles Röntgen eine Beckenübersichtsaufnahme angefertigt. Die Bildgebung erfolgte mithilfe des Generators „Polydoros LX“ verbunden mit dem Rastertisch „Multix PRO“, Rasterwandgerät „Vertex PRO“ (Siemens Healthineers, Erlangen Deutschland) und dem „DirectView Langformat Imaging CR System“ (Carestream Health Deutschland GmbH, Stuttgart, Deutschland). Die Aufnahmen wurden mit „CR Speicherfolien“ angefertigt. Speicherfolientyp „PQ“ und Speicherfolienlesegerät „Elite CR“ fanden Verwendung (Carestream Health Deutschland GmbH, Stuttgart, Deutschland).

Die Beckenübersichtsaufnahme wurde in dieser Studie verwendet, um den knöchernen Status der Probanden hinsichtlich eines acetabulären Defekts mithilfe der Klassifikation nach Paprosky zu klassifizieren (30). Die Auswertung erfolgte mithilfe des Programms Centricity (General Electric Healthcare, Little Chalfont, Großbritannien).

Da die Paprosky-Klassifikation eine deskriptive Klassifikation ist, die keine Kontinuität im Schweregrad schafft, wurden die Patienten ausgehend von der Paprosky-Klassifikation anschließend einer Subgruppe aufsteigend nach dem Schweregrad ihres Defekts in Anlehnung an Zagorodniy et al. zugeteilt (20). Subgruppe 1 umfasste den Knochendefekt 1 nach Paprosky, Subgruppe 2 die Typen 2A und 2B und die Subgruppe 3 die Typen 2C, 3A und 3B nach Paprosky. Die Subgruppe 3 stellt somit den schwerwiegendsten Grad des Knochendefekts dar (siehe Tab. 3).

| Subgruppe | 1 | 2 | 3 |
|---------------------|----------|----------|--------------|
| Paprosky-Typ | 1 | 2A / 2B | 2C / 3A / 3B |

Tab. 3: Einteilung der Paprosky-Typen in die drei Subgruppen aufsteigend nach dem Schweregrad des ossären Defizits.

2.3.3 Auswertung der Magnetresonanztomographie

Präoperativ und postoperativ erfolgte für die Beurteilung des muskulären Defizits die Anfertigung einer Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie. Deren Auswertung zur Quantifizierung des Muskelschadens des Musculus gluteus medius erfolgte nach der etablierten Methode wie bei von Roth et al. und Engelken et al. beschrieben (39, 49).

Die Bildgebung wurde mithilfe eines 1,5-Tesla-Scanners mit Standard-Oberflächenspule (Symphony, Siemens Medical Systems, Erlangen, Deutschland) angefertigt. Speziell der Bereich zwischen Crista iliaca und dem proximalen Femur musste als Datensatz der Magnetresonanztomographie für die morphologische Auswertung vorliegen. Für die Planungssequenz wurde eine T1-gewichtete koronare Sequenz angefertigt. Es folgte daraufhin eine T1-gewichtete axiale Sequenz, die für die morphologische Beurteilung genutzt wurde. Die dabei verwendeten Scan- und Pulssequenzparameter waren im Axial T1-Turbospinecho und der Koronar T1-Turbospinecho folgende:

1) Axial T1-Turbospinecho:

Repetitionszeit / Echozeit / Flipwinkel = 667ms / 12ms / 150°, Schichtdicke = 6mm, *Field of view* = 420 x 275,52 mm², Punktmatrix = 512 x 168, Bandbreite = 195 Hertz/Pixel, Bildauflösung = 0,8 x 1,6 x 6,0 mm³, 12 *Echo Train Length*, Akquisitionszeit = 2:32 min:s, Anzahl der Schnitte = 28

2) Koronar T1- Turbospinecho:

Repetitionszeit / Echozeit / Flipwinkel = 667ms / 12ms / 150°, Schichtdicke = 5mm, *Field of view* = 400 x 400 mm², Punktmatrix = 512 x 256, Bandbreite = 195 Hertz/Pixel, Bildauflösung = 0,8 x 1,6 x 5,0 mm³, 12 *Echo Train Length*, Akquisitionszeit = 3:51 min:s, Anzahl der Schnitte = 27

Die Datensätze der Magnetresonanztomographie wurden zur Auswahl der auszuwertenden Bilder in das DICOM-Bearbeitungsprogramm OsiriX (Version 5.0.2; Los Angeles, Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika) für Mac OS X (Version 10.6.8; Apple Inc., Cupertino, Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika) importiert. Es erfolgte die Auswahl der Magnetresonanztomographie-Bilder zur Auswertung der fettigen Degeneration des Musculus gluteus medius. Verwendet wurden das siebte, achte und neunte axiale Magnetresonanztomographie-Bild über dem Trochanter major. Um den Anteil von Fett- und Muskelgewebe zu bestimmen, wurden die ausgewählten Bilder exportiert und im Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop (Version 10.0; Adobe Systems, San José, Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika) ausgewertet.

Für die Auswertung der fettigen Muskeldegeneration wurden zuerst die Graustufen für Fettgewebe und Muskelgewebe definiert. Um den Mittelwert der Graustufen für das entsprechende Gewebe zu bestimmen, wurde ein etwa 1 cm² großes ROI (*region of interest*) in den Musculus iliacus (Standardwert für Muskel) und das subkutane Fettgewebe der zu überprüfenden Seite (Standardwert für Fett) eingefügt. In diesen Bereichen konnten anschließend der Mittelwert der Graustufen und die Standardabweichung für jeweils Fett- und Muskelgewebe bestimmt werden. Der Graustufenmittelwert ± 2 Standardabweichungen definierte die Graustufenwerte für Fett- beziehungsweise Muskelgewebe.

Anschließend konnten die Pixelanzahl der Graustufen entsprechend für Muskel- und Fettgewebe im Musculus gluteus medius bestimmt werden. Um auf den prozentualen

Anteil der fettigen Degeneration zu schließen, wurde der Quotient aus Fettpixelanzahl zu Fett- und Muskelpixelanzahl gebildet (siehe Abb. 5).

$$\text{Fettige Muskeldegeneration in Prozent} = \frac{\text{Anzahl der "Fettpixel"}}{(\text{Anzahl der "Muskel-" + "Fettpixel"})} \times 100$$

Abb. 5: Berechnung zur Bestimmung der fettigen Muskeldegeneration in Prozent

Auf diese Weise wurde für jeden Patienten die fettige Muskeldegeneration in den drei Magnetresonanztomographie-Bildern über dem Trochanter major ermittelt. Als Mittelwert dieser drei Werte resultierte schließlich die fettige Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius für den entsprechenden Patienten.

2.4 Operative Durchführung

In dieser Studie wurden alle Revisionen vom gleichen und erfahrenen Operateur (C. P.) durchgeführt. Der operative Zugang war bei allen Revisionseingriffen der direkt laterale Zugang nach Bauer und Hardinge (55, 56).

Vier Patienten erhielten eine Revision der femoral und azetabulär gelockerten Hüfttotalendoprothese, bei 18 Patienten wurde isoliert die gelockerte Pfannenkomponente revidiert.

2.5 Postoperative Datenerhebung und Verlauf

Postoperativ erfolgte für alle Patienten das gleiche Pflege- und Rehabilitationsprogramm. Die Physiotherapie wurde für die frühestmögliche Mobilisation am ersten postoperativen Tag begonnen. Im Verlauf wurde unter anderem geübt, mit zwei Gehstützen zu laufen und Treppenstufen auf- und abzugehen. Es schloss sich eine dreiwöchige Rehabilitation in einer entsprechenden Einrichtung an, um die Selbstständigkeit des Patienten und die Funktionsfähigkeit des Hüftgelenks und der unteren Extremität zu verbessern. Die Gehstützen wurden von allen Patienten nach spätestens sechs Wochen abgelegt. Ein halbes Jahr postoperativ (+/- zwei Wochen) wurden die Patienten erneut einbestellt.

Wie in Tab. 2 dargestellt erfolgten erneut Anamnese, körperliche Untersuchung und eine Magnetresonanztomographie zur Bestimmung des muskulären Schadens.

2.6 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde das Programm IBM SPSS Statistics (Version 24; IBM, Armonk, New York, Vereinigte Staaten von Amerika) verwendet.

Die erhobenen Daten sind nachfolgend in der deskriptiven Statistik als Mittelwert oder Median mit Standardabweichung angegeben.

Die Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit ordinalskalierten Variablen für unabhängige, nicht parametrisch verteilte Stichproben erfolgte mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests. Für die Auswertung der intraindividuellen Unterschiede einer Stichprobe wurde der Wilcoxon-Test für die abhängigen, nicht parametrisch verteilten Stichproben verwendet.

Die Varianzanalyse des muskulären Schadens und des Trendelenburg-Zeichens wurde mittels Kruskal-Wallis-H-Test für ordinalskalierte Daten und den Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben (drei Paprosky-Subgruppen) durchgeführt. Anschließend erfolgte die Analyse der Muskeldegeneration zwischen je zwei Paprosky-Subgruppen mittels Mann-Whitney-U-Test als Test für ordinalskalierte Variablen zwischen zwei unabhängigen, nicht parametrisch verteilten Stichproben.

Ein Signifikanzniveau von 0,05 wurde allen Berechnungen zugrunde gelegt. Ein Untersuchungsergebnis galt somit ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ als signifikant.

3. Ergebnisse

3.1 Demographie der Kohorte

Die Auswertung dieser Studie erfolgte ausgehend von der Kohorte aus 22 Patienten. Die Demographie der Patientenkohorte ist in Tab. 4 dargestellt.

| Demographischer Parameter | Kohorte |
|---|-------------|
| Geschlecht (männlich / weiblich) | 7 / 15 |
| Alter in Jahren | 70,3 ± 10,4 |
| Körperlänge in cm | 163,9 ± 9,1 |
| Körpergewicht in kg | 73,5 ± 11,6 |
| <i>Body-Mass-Index</i> in kg/m ² | 27,3 ± 3,3 |

Tab. 4: Demographische Parameter der Kohorte. Dargestellt sind Mittelwert ± Standardabweichung.

Sieben Patienten der Kohorte sind männlich und 15 Patienten weiblich. Es ergibt sich ein Geschlechterverhältnis von 1:2,1 von Männern zu Frauen.

Die Altersverteilung der Kohorte zum Zeitpunkt des Studieneinschlusses ist in Tab. 5 dargestellt. Mit 68% liegt der Großteil der eingeschlossenen Patienten in der Altersspanne 70 bis 79 Jahren.

| Altersspanne in Jahren | Probandenanzahl |
|------------------------|-----------------|
| 0 - 49 | 3 |
| 50 - 59 | 0 |
| 60 - 69 | 3 |
| 70 - 79 | 15 |
| 80 - 89 | 1 |

Tab. 5: Altersverteilung der Kohorte zum Zeitpunkt des Studieneinschlusses.

Der durchschnittliche Wert für den *Body-Mass-Index* beträgt 27,3 kg/m². Gemäß der Einteilung der Gesellschaft für Adipositas liegen 73% aller Probanden der Kohorte über dem Normalgewicht (Tab. 6).

| Kategorie | Anteil der Kohorte |
|--|--------------------|
| Untergewicht (<18,5 kg/m ²) | 0% |
| Normalgewicht (18,5 – 24,9 kg/m ²) | 27% |
| Übergewicht (25 – 29,9 kg/m ²) | 50% |
| Adipositas (ab 30 kg/m ²) | 23% |

Tab. 6: BMI-Verteilung der Kohorte nach der Einteilung der Gesellschaft für Adipositas in Prozent (%).

Der Pfannenwechsel erfolgte bei sechs Patienten an der linken Hüfte und bei 16 Patienten an der rechten Hüfte.

Die Unterteilung der Kohorte in die zwei Revisionsgruppen in Abhängigkeit von der Revisionsanzahl des betroffenen Hüftgelenks ergibt die zwei Gruppen mit jeweiliger Probandenanzahl wie in Tab. 7 dargestellt.

| Revisionsgruppe | Probandenanzahl | Anteil der Kohorte |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| Erstrevisionsgruppe | 13 | 59% |
| Mehrfachrevisionsgruppe | 9 | 41% |

Tab. 7: Probandenanzahl in den zwei Revisionsgruppen und deren Anteil an der gesamten Studienkohorte in Prozent (%).

3.2 Ossärer Defekt des Azetabulums

Die Probandenanzahl je präoperativ erhobenen azetabuärem Defekttyp gemäß der Paprosky-Klassifikation ist in Tab. 8 dargestellt.

| Paprosky-Typ | Probandenanzahl |
|---------------------|------------------------|
| 1 | 4 |
| 2A | 2 |
| 2B | 3 |
| 2C | 7 |
| 3A | 1 |
| 3B | 5 |

Tab. 8: Probandenanzahl je Paprosky-Typ.

Das Auftreten der ossären Defekttypen nach Paprosky in Abhängigkeit von der Revisionsanzahl ist in Tab. 9 dargestellt.

| Revisionsgruppe | 1 | 2A | 2B | 2C | 3A | 3B |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Erstrevisionsgruppe | 4 | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 |
| Mehrfachrevisionsgruppe | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 4 |

Tab. 9: Darstellung der Probandenanzahl je Paprosky-Typ in den zwei Revisionsgruppen.

Die Verteilung der 22 Probanden entsprechend ihres Paprosky-Typs auf die drei Subgruppen ist in Tab. 10 dargestellt.

| Paprosky-Subgruppe (Paprosky-Typ) | Probandenanzahl | Anteil der Kohorte |
|--|------------------------|---------------------------|
| 1 (1) | 4 | 18% |
| 2 (2A, 2B) | 5 | 23% |
| 3 (2C, 3A, 3B) | 13 | 59% |

Tab. 10: Probandenanzahl je Paprosky-Subgruppe und deren Anteil an der gesamten Studienkohorte in Prozent (%).

Der Vergleich der Probandenverteilung auf die Paprosky-Subgruppen zwischen den Revisionsgruppen ist in Tab. 11 dargestellt.

| Revisionsgruppen | Probandenanzahl in den Subgruppen (prozentualer Anteil an Revisionsgruppe) | | | p-Wert* |
|-------------------------|---|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Erstrevisionsgruppe | 4 (31%) | 4 (31%) | 5 (38%) | 0,036 |
| Mehrfachrevisionsgruppe | 0 (0%) | 1 (11%) | 8 (89%) | |

Tab. 11: Vergleich der Probandenverteilung auf die Paprosky-Subgruppen zwischen den zwei Revisionsgruppen. Die Patienten sind gemäß ihrer Paprosky-Subgruppe ungleich zwischen den Revisionsgruppen verteilt. Die Mehrfachrevisionsgruppe umfasst eine signifikant höhere Patientenzahl in der Subgruppe 3 als die Erstrevisionsgruppe. *Mann-Whitney-U-Test

3.3 Degeneration des Musculus gluteus medius

3.3.1 Muskuläre Degeneration in der Magnetresonanztomographie

In Tab. 12 und 13 werden die präoperative und die postoperative Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Revisionsgruppen verglichen.

Es zeigt sich, dass präoperativ ein signifikanter Unterschied in der Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration für den Musculus gluteus medius zwischen der Erstrevisionsgruppe und der Mehrfachrevisionsgruppe besteht (Tab. 12). Die muskuläre Degeneration ist präoperativ im Mittel in der Mehrfachrevisionsgruppe um 25% größer als in der Erstrevisionsgruppe.

Postoperativ liegt die Differenz der beiden Revisionsgruppen für die prozentuale Muskeldegeneration bei 16%. Dieser Unterschied ist nicht signifikant (Tab. 13).

| Revisionsgruppe | Prozentuale Muskeldegeneration |
|-------------------------|--------------------------------|
| Erstrevisionsgruppe | 20% ± 22,6 |
| Mehrfachrevisionsgruppe | 45% ± 31,0 |
| p-Wert* | 0,045 |

Tab. 12: Vergleich der **präoperativ** erhobenen Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Revisionsgruppen. Dargestellt ist der Mittelwert in Prozent (%) ± Standardabweichung. Die Mehrfachrevisionsgruppe weist einen signifikant höheren Wert auf. *Mann-Whitney-U-Test

| Revisionsgruppe | Prozentuale Muskeldegeneration |
|-------------------------|--------------------------------|
| Erstrevisionsgruppe | 34% ± 30,6 |
| Mehrfachrevisionsgruppe | 50% ± 29,8 |
| p-Wert* | 0,316 |

Tab. 13: Vergleich der **postoperativ** erhobenen Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Revisionsgruppen. Dargestellt ist der Mittelwert in Prozent (%) ± Standardabweichung. Die Mehrfachrevisionsgruppe weist keinen signifikant höheren Wert auf. *Mann-Whitney-U-Test

Die durchschnittliche Veränderung der prozentualen muskulären Verfettung des Musculus gluteus medius von präoperativ zu postoperativ in der gesamten Patientenkohorte wird in Tab. 14 dargestellt.

Es zeigt sich, dass es zu einem Anstieg der fettigen Degeneration von präoperativ zu postoperativ im Musculus gluteus medius um 10% kommt. Dieser Anstieg der Muskeldegeneration von präoperativ zu postoperativ ist signifikant.

| Musculus gluteus medius | präoperativ | postoperativ | p-Wert* |
|---------------------------------------|-------------|--------------|---------|
| Prozentuale Muskeldegeneration | 30% ± 28,6 | 40% ± 30,7 | 0,002 |

Tab. 14: Veränderung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius von präoperativ zu postoperativ. Dargestellt ist der Mittelwert in Prozent (%) ± Standardabweichung. Der Anstieg der Muskeldegeneration von präoperativ zu postoperativ ist signifikant. *Wilcoxon-Test

3.3.2 Funktionelle Untersuchung

Die präoperativen und postoperativen Ergebnisse für das Trendelenburg-Zeichen als funktionelle Untersuchung der Kohorte sind in Tab. 15 dargestellt.

Es zeigt sich eine Zunahme des positiven Trendelenburg-Zeichens um 3 Patienten von präoperativ zu postoperativ.

| Trendelenburg-Zeichen | präoperativ | postoperativ |
|-----------------------|-------------|--------------|
| negativ | 10 | 7 |
| positiv | 12 | 15 |

Tab. 15: Ergebnisse des Trendelenburg-Zeichens präoperativ und postoperativ in der Kohorte.

3.4 Zusammenhang zwischen ossärem und muskulärem Defekt

3.4.1 Varianzanalysen der präoperativen Muskeldegeneration zwischen den Paprosky-Subgruppen

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zur präoperativ aufgetretenen Degeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Paprosky-Subgruppen sind in Abb. 6 dargestellt. Es zeigt sich, dass mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,016$ zwischen den drei Paprosky-Subgruppen präoperativ ein signifikanter Unterschied in der fettigen Degeneration des Musculus gluteus medius vorliegt.

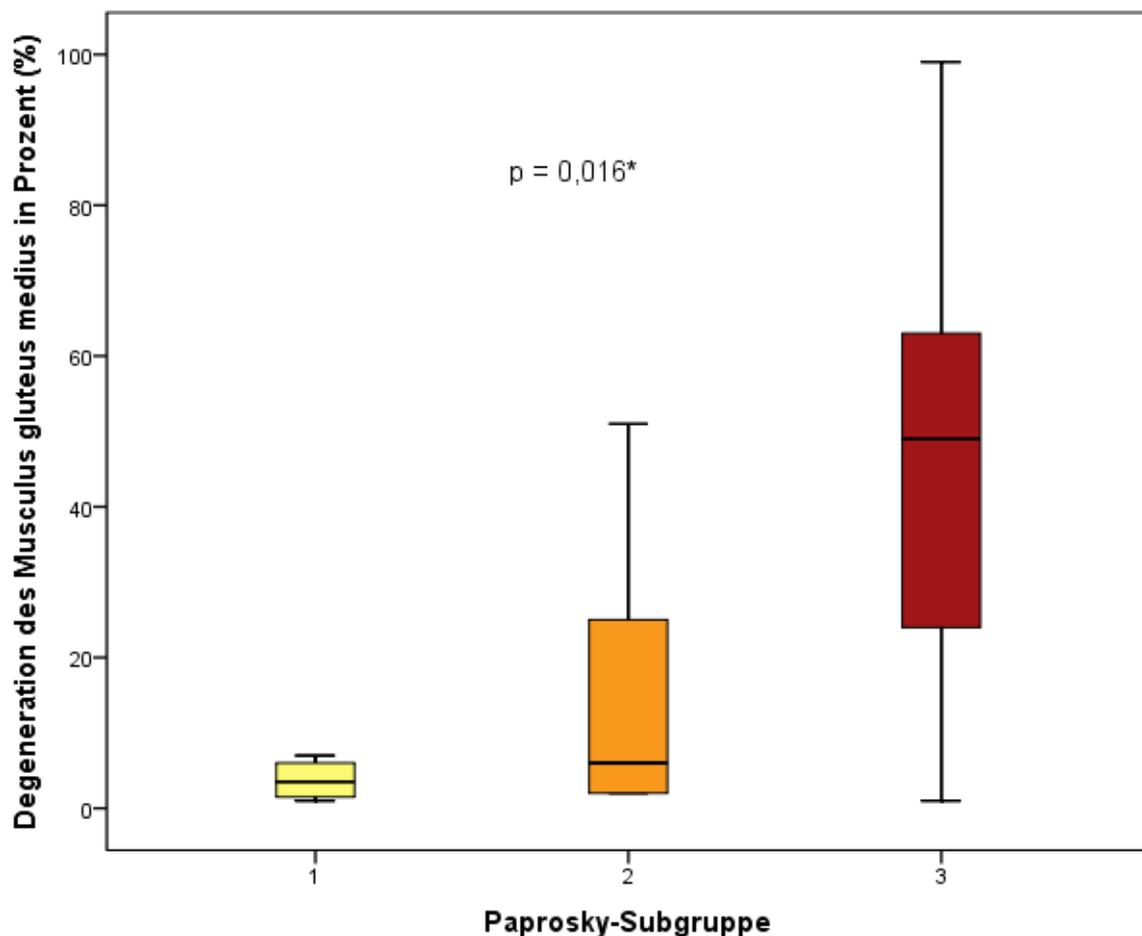


Abb. 6: Darstellung der präoperativ erhobenen prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius in Abhängigkeit der Paprosky-Subgruppen. Boxplot-Diagramm. Zwischen den Werten der Muskeldegeneration in den drei Paprosky-Subgruppen besteht ein signifikanter Unterschied. *Kruskal-Wallis-H-Test

Die Ergebnisse der präoperativ erhobenen prozentualen Muskeldegeneration je Paprosky-Subgruppe sind in Tab. 16 dargestellt.

| Paprosky-Subgruppe | Degeneration des Musculus gluteus medius |
|---------------------------|---|
| 1 | 3,5% ± 2,8 |
| 2 | 6% ± 21,2 |
| 3 | 49% ± 28 |

Tab. 16: Präoperative Degeneration des Musculus gluteus medius je Paprosky-Subgruppe. Dargestellt ist der Median in Prozent (%) ± Standardabweichung.

Die Ergebnisse der Varianzanalysen der präoperativ erhobenen Muskeldegeneration im Musculus gluteus medius zwischen den einzelnen Paprosky-Subgruppen sind in Tab. 17 aufgeführt.

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied im Auftreten der Muskeldegeneration zwischen Paprosky-Subgruppe 1 und 3. Zwischen den Subgruppen 1 und 2 und den Subgruppen 2 und 3 ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der fettigen Degeneration des Musculus gluteus medius.

Es ist zu folgern, dass sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,006$ die prozentuale Muskeldegeneration mit einem Median von 3,5% in der Paprosky-Subgruppe 1 signifikant von der prozentualen Muskeldegeneration der Paprosky-Subgruppe 3 mit einem Median von 49% unterscheidet (Tab.16 und 17).

| Subgruppen-Analyse | p-Wert |
|---------------------------|---------------|
| Subgruppe 1 zu 2 | $p = 0,413$ |
| Subgruppe 2 zu 3 | $p = 0,075$ |
| Subgruppe 1 zu 3 | $p = 0,006^*$ |

Tab. 17: Irrtumswahrscheinlichkeiten der Varianzanalysen der präoperativ erhobenen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den einzelnen Paprosky-Subgruppen. *Mann-Whitney-U-Test

3.4.2 Varianzanalyse des präoperativ erhobenen Trendelenburg-Zeichens zwischen den Paprosky-Subgruppen

Die Ergebnisse für das Auftreten von positivem und negativem Trendelenburg-Zeichen je Paprosky-Subgruppe sind in Tab. 18 dargestellt.

| Paprosky-Subgruppe | Trendelenburg-Zeichen: negativ | Trendelenburg-Zeichen: positiv |
|---------------------------|---|---|
| 1 | 1 | 3 |
| 2 | 3 | 2 |
| 3 | 6 | 7 |

Tab. 18: Ergebnisse des präoperativ erhobenen Trendelenburg-Zeichens für die Paprosky-Subgruppen. Dargestellt ist die Probandenanzahl je positivem und negativem Trendelenburg-Zeichen für die drei Paprosky-Subgruppen.

Die Varianzanalyse auf einen Unterschied in der Ausprägung des Trendelenburg-Zeichens übergreifend für alle Paprosky-Subgruppen mittels Kruskal-Wallis-H-Test ergibt, dass mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,59$ kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Paprosky-Subgruppen vorliegt.

4. Diskussion

Ziel dieser Studie war es, den ossären und muskulären Defekt im Rahmen der Revisionsendoprothetik der Hüfte darzustellen und erstmals deren Zusammenhang zu untersuchen.

Sowohl ossärer als auch muskulärer Zustand in der Hüftendoprothetik nehmen entscheidenden Einfluss auf die Prothesenstandzeit und Funktion der operativen Versorgung (19, 20, 40, 41). Es ist daher von hoher Bedeutung, ossäre und muskuläre Schädigungen im Rahmen der Operation zu vermeiden oder in der Hüftrevision wieder auszugleichen und zu beheben.

In der Hüfttotalendoprothetik wird der Musculus gluteus medius je nach gewähltem Zugang unterschiedlich stark geschädigt (34, 36-38). Diese Schädigung führt ab einem bestimmten Grad zur Insuffizienz, die sich durch das Trendelenburg-Zeichen erheben lassen kann (39). In der Magnetresonanztomographie kann diese Schädigung, die als fettige Degeneration auftritt, quantifiziert werden (39, 49).

Der ossäre Defekt am Acetabulum kann mittels Paprosky-Klassifikation eingeteilt werden (30).

Die vorliegende Studie untersuchte drei Hypothesen und konnte folgende Ergebnisse aufzeigen:

1. Die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius wird im Rahmen der Revision von präoperativ zu postoperativ signifikant größer.
2. Die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius steigt mit zunehmender Anzahl der Revisionsoperationen an der Hüfte an. Patienten, die erst eine Revision erhalten haben, haben eine signifikant niedrigere muskuläre Verfettung als Patienten mit einer Mehrzahl an Revisionen.
3. Präoperativ erhobene, schwerwiegende Knochendefekte am Acetabulum gehen mit signifikant höherer muskulärer Verfettung des Musculus gluteus medius einher als leichte Knochendefekte. Es kommt zu keinem funktionellen Korrelat in der Erhebung des Trendelenburg-Zeichens.

Im Folgenden werden die möglichen Ursachen und Einflussfaktoren, die zu den Ergebnissen dieser Studie geführt haben diskutiert.

4.1 Demographie der Kohorte

Der Altersdurchschnitt zum Zeitpunkt des Studieneinschlusses lag in der Patientenkohorte bei 70 Jahren. Lübbecke et al. wiesen in ihrer Studie von 2007 einen ähnlichen Altersdurchschnitt mit 72 Jahren innerhalb eines Patientenkollektivs, das sich einer Revisionsoperation der Hüfte unterzog, auf (57). Auch im Qualitätsreport 2015 wird angegeben, dass der Großteil aller Patienten in Deutschland in der Hüfttotalendoprothetik in der Altersspanne von 70 bis 79 Jahren liegt (14).

Die Kohorte dieser Studie entspricht folglich dem angegebenen Patientenalter in der Literatur zur Revisionsendoprothetik der Hüfte (14, 57).

Das Geschlechterverhältnis von Männern zu Frauen betrug 1:2. In der Studie von Khatod et al. liegt ein ähnliches Geschlechterverhältnis innerhalb einer Kohorte mit Revisionsoperation der Hüfttotalendoprothese vor. Dieses lag bei ihnen bei 1:1,8. Auch Zagorodny schlossen mit einem Geschlechterverhältnis von 1:2,4 mehr Frauen in ihre Studie ein (20).

Kathod et al. gehen davon aus, dass für den erhöhten Frauenanteil in der Revisionsendoprothetik die durchschnittlich kleinere Implantatgröße der Revisionsprothese verantwortlich ist. Die Autoren vermuten, dass es bei kleineren Prothesen schneller zu Verschleiß der Prothesenkomponenten komme, wodurch folglich schneller eine Revisionsoperation nötig würde (58).

Zudem tritt die Koxarthrose vermehrt beim weiblichen Geschlecht auf (3), was zu einer höheren Revisionsanzahl bei Frauen im Unterschied zu Männern führen könnte. Der etwas höhere Frauenanteil der vorliegenden Studie im Vergleich zu Zagorodny et al. könnte auch in der geringen Fallzahl dieser Studie begründet liegen. Zagorodny et al. schlossen in ihrer Studie 664 Patienten für die Revisionen ein (20). Das größere Patientenkollektiv bei Zagorodny et al. ergibt sich aufgrund des retrospektiven Studiendesigns über einen Zeitraum von 20 Jahren. Zudem erfolgte in deren Studie keine zusätzliche MRT-Bildgebung (20) wie in der vorliegenden Studie.

In der Tendenz des Geschlechterverhältnisses ist die vorliegende Studie mit anderen Publikationen zur Revisionsoperation der Hüfte vergleichbar (20, 58).

Der *Body-Mass-Index* in dieser Studie lag im Durchschnitt bei 27 kg/m². Andere Autoren berichteten übereinstimmend, dass auch ihre Patientenkohorten, die sich einer

Revisionsoperation der Hüfte unterzogen, übergewichtig waren (57, 58). Daher ist die vorliegende Kohorte dieser Studie diesbezüglich mit der genannten Literatur vergleichbar.

Zusammengefasst ist die Demographie der vorliegenden Studienkohorte vergleichbar mit der gängigen Literatur. Im Folgenden können nun die radiologischen Ergebnisse der Studie diskutiert werden.

4.2 Ossärer Defekt des Azetabulums

Die vorliegende Studie verwendet zur Erfassung des ossären Defekts am Azetabulum die Klassifikation nach Paprosky (30). Die etablierte Klassifikation nach Paprosky wurde aufgrund des häufigen Gebrauchs in der klinischen Routine und der in der Literatur nachgewiesenen Validität und Reliabilität angewendet (59).

Die Wertung der Paprosky-Typen in Schweregrade erfolgte bereits bei Zagorodniy et al., sodass in deren Anlehnung die Modifikation der Paprosky-Klassifikation in eine ordinalskalierte Klassifikation erfolgen konnte (20).

In der vorliegenden Studie besaßen 59% aller Patienten einen hochgradigen Knochendefekt des Azetabulums nach Paprosky (Typ 2C, 3A und 3B). Entsprechend wurden diese Patienten der Paprosky-Subgruppe 3 zugeordnet. Der geringgradige Knochendefekt war in dieser Studie mit 18% aller Patienten am wenigsten vertreten. Dieser Patientenanteil wurde entsprechend der Paprosky-Subgruppe 1 zugeordnet. In der Studie von Zagorodniy et al. von 2014 wurden 664 Patienten eingeschlossen und entsprechend der Paprosky-Klassifikation eingeteilt. Es zeigte sich, dass auch in deren Studie die Mehrzahl der Patienten einen schwerwiegenden Knochendefekt gemäß dem Typ 2C, 3A und 3B nach Paprosky hatte. Die Verteilung der vorliegenden Studie entspricht darin der Studie von Zagorodniy et al. (20).

In der vorliegenden Studie zeigt sich, dass 90% der Patienten in der Mehrfachrevisionsgruppe einen schweren knöchernen Defekt (Paprosky-Typ 2C, 3A und 3B) hatten. Im Gegensatz hatten nur 40% der Patienten mit nur einer Revision einen solchen schweren Knochendefekt. Die Mehrfachrevisionsgruppe wies entsprechend

signifikant höhere Knochendefekte auf als die Erstrevisionsgruppe ($p=0,036$). Es lässt sich daraus folgern, dass der Anstieg der Revisionsanzahl mit einem vermehrten Knochenschaden einhergeht.

Dass hochgradige Knochendefekte deutlich mehr in dieser Studie vertreten sind, könnte darin begründet sein, dass anfängliche Implantatlockerungen häufig beschwerdefrei sind und daher nicht rechtzeitig erkannt werden (18). Zwar gibt es einheitliche Kriterien zur Lockerungsdiagnostik (60, 61), doch konnten Brand et al. zeigen, dass eine einheitliche Diagnosestellung aufgrund der geringen Interobserverreliabilität nicht immer gelingt (23). Daraus lässt sich schließen, dass eine Verzögerung der Diagnose zum Fortschreiten des knöchernen Defekts führt, weswegen es in dieser Studie mehr hochgradige Knochendefekte gibt. Diese Studie zeigt zudem, dass Mehrfachrevisionen zu einem erhöhten azetabulären Knochenschaden führen.

4.3 Muskuläre Degeneration des Musculus gluteus medius

Der muskuläre Schaden wurde in dieser Studie durch die Magnetresonanztomographie diagnostiziert. Zur Analyse eines muskulären Defizits zeigten Studien, dass auch die Ultraschalluntersuchung Verwendung finden kann. Garcia et al. untersuchten mit Hilfe des Ultraschalls die Qualität der Abduktoren des Hüftgelenks nach primärer Implantation der Hüfttotalendoprothesen (46). Auch Kong et al. und Connell et al. nutzten den Ultraschall zur Diagnostik glutealer Tendinopathien (62, 63). Es konnte gezeigt werden, dass die Magnetresonanztomographie und der Ultraschall vergleichbare Sensitivität und Spezifität in der Detektion von Atrophie und fettiger Infiltration aufweisen (64). Für die quantitative Analyse einer Muskeldegeneration mittels Ultraschall gibt es allerdings kein validiertes Verfahren. Insbesondere für die Untersuchung der glutealen Muskulatur mittels Ultraschall ist die Diagnostik bisher wenig erprobt.

Zur quantitativen Detektion der muskulären Verfettung wurde daher in dieser Studie ein etabliertes und bereits publiziertes Verfahren mittels Magnetresonanztomographie angewendet (39, 49). Die Magnetresonanztomographie ist dabei zur Analyse der Muskelatrophie hinsichtlich der Inter- und Intraobserver-Variabilität geeignet (65).

In dieser Studie besteht ein signifikanter Unterschied in der Ausprägung der postoperativ aufgetretenen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius im Vergleich zum präoperativ erhobenen Muskelstatus.

Die degenerative Muskelverfettung des Musculus gluteus medius stieg von präoperativ zu postoperativ um 10% an.

In der Literatur ist beschrieben, dass es von präoperativ zu postoperativ im Rahmen der Hüftendoprothetik zur Muskeldegeneration kommt. Diese betrifft vor allem den anterioren und zentralen Anteil des Musculus gluteus medius (39, 47). Müller et al. konnten in ihrer Studie zeigen, dass es zur ausgeprägten Muskeldegeneration infolge der Primärimplantation der Hüfttotalendoprothese im anterioren und zentralen Anteil des Musculus gluteus medius kommt. Auch Revisionsoperationen der Hüfttotalendoprothese führen von präoperativ zu postoperativ zu einem signifikanten Anstieg der Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius (39).

Studien untersuchten auch die Auswirkung spezifischer Zugangswege auf die Muskeldegeneration. Bremer et al. konnten zeigen, dass es nach einer primären Hüfttotalendoprothese unter Verwendung des direkt lateralen Zugangsweg zur Schädigung der Glutealmuskulatur kommt (66). Weitere Studien indentifizierten den größten Muskelschaden unter der Verwendung des direkt lateralen Zugangs im anterioren und zentralen Muskelanteil (48, 49, 67).

Die vorliegende Studie bestätigt diese in der Literatur angegebene gluteale Schädigung und quantifiziert außerdem den Schaden am Musculus gluteus medius. Auch minimalinvasive Zugangswege in der Hüfttotalendoprothetik führen zu Muskelschädigung (37, 38). An welchem Muskel oder welchem Muskelanteil und in welchem Ausmaß bei diesen Zugangswegen Schädigungen auftreten und zur fettigen Degeneration führen, könnten zukünftige Studien untersuchen. Dadurch könnte der quantitative Schaden durch minimalinvasive Zugänge den Standardzugangswegen gegenübergestellt werden.

In dieser Studie besteht präoperativ zwischen den zwei Revisionsgruppen ein signifikanter Unterschied in der Ausprägung des muskulären Schadens für den Musculus gluteus medius. Die Patienten der Mehrfachrevisionsgruppe hatten ein im Durchschnitt um 25% größeres muskuläres Defizit als die Patienten der Erstrevisionsgruppe. Dieses Ergebnis deckt sich mit publizierten Ergebnissen aktueller Literatur (39, 48). Es konnte

bereits spezifiziert werden, dass der Musculus gluteus medius vor allem im anterioren Anteil geschädigt wird (39, 48).

Vermehrte Revisionen unter Verwendung des direkt lateralen Zugangs schädigen folglich den Musculus gluteus medius und insbesondere seinen anterioren Muskelanteil.

Es lässt sich schließen, dass sowohl das Verfahren zur Quantifizierung der fettigen Muskeldegeneration als auch die Ergebnisse der Muskeldegeneration in dieser Studie vergleichbar mit Ergebnissen vorangegangener Publikationen sind.

Ausgehend von dieser Studie sollte in zukünftigen Studien untersucht werden, wie sich der muskuläre Schaden quantitativ in Abhängigkeit von unterschiedlichen Zugangswegen der Revisionen verhält. Es könnte zukünftig untersucht werden, in welchem Ausmaß der Musculus gluteus medius und seine verschiedenen Anteile zum Beispiel durch die Verwendung des posterioren Zugangswegs als Standardzugangsweg oder durch minimalinvasive Zugangswege geschädigt werden.

4.4 Funktionelle Untersuchung

In dieser Studie hatten präoperativ zwölf Patienten ein positives Trendelenburg-Zeichen, 15 Patienten hatten nach sechs Monaten postoperativ einen positiven Befund.

Eine mögliche Ursache für das präoperativ positive Trendelenburg-Zeichen ist, dass es neben den Schmerzen und damit eingeschränkter Belastbarkeit bei der aseptischen Implantatlockerung zur Migration der Pfannenkomponente kommen kann. Diese Migration führt zur Veränderung des Gelenkdrehzentrums und dadurch zu einer Veränderung des Hebelarms der Glutealmuskulatur (68). Jerosch et al. konnten zeigen, dass die Proximalisierung des Drehzentrums in einer Insuffizienz der „kleinen Gluteen“ münden kann (69). Dies kann zu einem positiven Trendelenburg-Zeichen führen. Auch das iatrogene Trauma durch die operative Implantation führt zu einer Schädigung der Glutealmuskulatur. Das wiederum führt auch zu einem vermehrten Auftreten des Trendelenburg-Zeichens nach der Revision der Hüfttotalendoprothese (39).

Die entstandene Insuffizienz kann klinisch durch das Trendelenburg-Zeichen in der körperlichen Untersuchung unter Berücksichtigung verschiedener Fehlermöglichkeiten,

wie sie bei Hardcastle und Nade 1985 aufgeführt sind, nachgewiesen werden (70). Für die genaue Erhebung des Trendelenburg-Zeichens ist es wichtig auf Einflussfaktoren, die zu falsch-positiven und falsch-negativen Ergebnisse führen können, zu achten und diese zu berücksichtigen. Schmerz, fehlende Kooperation und Impingement zwischen Rippen und Becken können so zu einem falsch-positivem Resultat führen, zusätzlich eingesetzte Muskulatur und die Verschiebung des Oberkörpers zum Standbein können zu einem falsch-negativen Ergebnis führen (70).

4.5 Zusammenhang zwischen ossärem und muskulärem Defekt

4.5.1 Analyse der präoperativen Muskeldegeneration

In der Varianzanalyse der fettigen Degeneration des Musculus gluteus medius in Abhängigkeit zum ossären Defekt am Azetabulum zeigte sich, dass ein sehr schwerer Knochendefekt (Paprosky-Typ 2C, 3A und 3B) mit einer signifikant höheren muskulären Verfettung des Musculus gluteus medius einhergeht als ein geringer Knochendefekt (Paprosky-Typ 1). Es lässt sich folgern, dass ein schwerer Knochendefekt am Azetabulum der Wahrscheinlichkeit nach eher mit einer ausgeprägten Muskelschädigung am Musculus gluteus medius einhergeht als ein geringer Knochendefekt.

Dieser Zusammenhang zwischen muskulärem und knöchernem Defizit könnte im Folgenden begründet sein:

Der azetabuläre Knochendefekt könnte zu einer Insuffizienz des Musculus gluteus medius geführt haben. In der vorliegenden Studie haben 13 Patienten einen schweren knöchernen Defekt am Azetabulum und entsprechen den Paprosky-Typen 2C, 3A oder 3B. Dieser geht mit einer ausgeprägten Proximalisierung des Drehzentrums am Hüftgelenk einher (30). Jerosch et al. und Lengsfeld et al. zeigten, dass die Proximalisierung des Drehzentrums am Hüftgelenk zu einer Insuffizienz der glutealen Muskulatur führt (68, 69). Es folgen der unzureichende Gebrauch der Muskulatur und dadurch die Atrophie und fettige Degeneration (68, 69).

Bereits 2004 konnten Meyer et al. an der Schulter zeigen, dass eine Retraktion der Sehne des Musculus supraspinatus zur fettigen Degeneration und zum Verlust von Muskelgewebe führt (71). Es kam zum signifikanten Anstieg des interstitiellen Fettgehalts im untersuchten Muskel von 4% auf 46% des gesamten Muskelvolumens (71).

Zum einen könnte folglich der acetabuläre Knochendefekt zur muskulären Verfettung geführt haben. Zum anderen könnten auch Schmerzen des Patienten aufgrund seiner Implantatlockerung zur Immobilisation geführt haben, die wiederum in Muskeldegeneration resultierte. Eine Immobilisation könnte auch zur Schädigung des Acetabulums beitragen. Dass sie zu Resorption von Knochenmasse führt, ist in der Literatur ausführlich beschrieben (72-74). Sie könnte folglich die Atrophie des Musculus gluteus medius und den ausgeprägten acetabulären Defekt verursachen, sodass beides zusammen in hochgradiger Ausprägung auftritt.

Zu beachten ist, dass das Patientenkollektiv dieser Studie zu mehr als 40% aus Patienten besteht, die mehrfach revidiert wurden. Diese Patienten haben präoperativ durchschnittlich eine um 25% größere muskuläre Degeneration als Patienten mit Erstrevision. Die Mehrfachrevisionsgruppe bestand zudem aus fast 90% der Probanden, die den schwersten ossären Defekt aufwiesen. Die Mehrfachrevisionsgruppe verband somit Patienten mit ausgeprägtem muskulärem und ossärem Defizit. Zukünftige Studien könnten nur Erstrevisionen oder Kohorten mit genau definierter Anzahl an Mehrfachrevisionen analysieren, anstatt wie in dieser Studie ein Patientenkollektiv aus Erst- und Mehrfachrevisionen zu untersuchen, um erneut den Zusammenhang zwischen knöchernem und muskulärem Defizit darzustellen.

Dennoch besteht letztlich der nachgewiesene Zusammenhang, dass ein sehr schwerer Knochendefekt mit einer signifikant höheren muskulären Verfettung des Musculus gluteus medius einhergeht als ein geringer Knochendefekt.

Die Studie zeigt, dass präoperativ vom knöchernen Status auf den muskulären Status des Musculus gluteus medius geschlossen werden kann. In der Konsequenz sollten Überlegungen angestellt werden, wie die muskulären Defizite und deren Folgen in der Revisionsendoprothetik behoben werden können.

Die Insuffizienz der pelvitrochantären Muskulatur führt zur vermehrten Dislokation der Hüfttotalendoprothesen (41). Es existiert keine Studie, die von der prozentualen Schädigung des Musculus gluteus medius auf die Dislokationswahrscheinlichkeit der Hüfttotalendoprothese schließt. Zukünftige Studien sollten diesen Zusammenhang untersuchen, sodass ausgehend von der quantifizierten glutealen Insuffizienz eine Prognose der Dislokationswahrscheinlichkeit gestellt werden kann. Davon ausgehend

kann die Implantatauswahl gezielt getroffen werden, um Dislokationen und weitere Wechseloperationen zu vermeiden.

Bei ausgeprägter Muskelschädigung werden als Prothesenmodelle die *Dual Mobility Cups* und die Schnappinlays (*constrained liner*) angewendet (41, 53).

Beim *Dual Mobility Cup* handelt es sich um ein Prothesenmodell mit erhöhtem Kopplungsgrad, das dadurch das Luxationsrisiko senkt (41).

Bei den Schnappinlays werden verschiedene Modelle unterschieden, die durch ihren jeweiligen komplexen Implantataufbau durch Blockierung der Prothesenartikulation das Luxationsrisiko senken (53). Nachteile der Schnappinlays sind dadurch der verminderte Bewegungsumfang und ein mögliches femorales Impingement, das wiederum zu Prothesenlockerung führen kann (53). Verschiedene Autoren beschreiben je nach Prothesenmodell eine langfristige Fehlerrate von 40% bis 100% (53, 75, 76). In der Literatur wird eine durchschnittliche Fehlerrate nach 28 Monaten angegeben (77).

Im Gegensatz hierzu zeigen *Dual Mobility Cups* Prothesenstandzeiten über 15 Jahre hinaus (78). Auch geringe Verschleißraten konnten nachgewiesen werden (79).

Den *Dual Mobility Cups* wird daher zukünftig ein höherer Stellenwert in der Versorgung glutealer Insuffizienzen zur Reduktion der Dislokationsrate beigemessen (53).

Es besteht folglich die Möglichkeit ein geeignetes Implantat zu wählen. Außerdem sollte die muskuläre Schädigung reduziert werden. Es ist bekannt, dass verschiedene Zugangswege in der Hüfttotalendoprothetik die gluteale Muskulatur unterschiedlich stark schädigen (34-38). Es sollten weitere Studien folgen, die den Muskelschaden dieser Zugangswege quantifizieren. Es sollte auch untersucht werden, in welchem Ausmaß sich die Muskeldegeneration bei mehrfacher Verwendung eines Zugangswegs verändert. Dadurch könnten Muskelschädigungen schon vor der Revision prognostiziert werden. In Abhängigkeit von bereits angewendeten Zugangswegen könnte anschließend ein anderer operativer Zugang gewählt werden, um die muskuläre Degeneration möglichst gering zu halten. Zum Beispiel könnte nach Verwendung des direkt lateralen Zugangswegs nach Hardinge in der Primärversorgung ein Wechsel auf den posterioren Zugang während der Revision erfolgen.

Des Weiteren sollte auch an die Verbesserung konservativer Therapieoptionen der glutealen Insuffizienz gedacht werden. Es sollten im Rahmen der Revisionsendoprothetik

gezielte rehabilitative Maßnahmen ergriffen werden, um bei den betroffenen Patienten postoperativ Dislokationen, Hinken, Gangunsicherheit und Stürze zu vermindern. Es könnte zukünftig unter Verwendung der quantitativen Erhebung der Muskeldegeneration untersucht werden, welche therapeutischen Maßnahmen dazu den größten Nutzen haben und wie diese Maßnahmen optimal anzuwenden sind. Zukünftig könnten Studien durchgeführt werden, die analysieren, in welchem Ausmaß der quantitative Muskelschaden durch adäquate Rehabilitation verbessert wird und wie sich dadurch die Revisionsrate verändert.

4.5.2 Analyse des präoperativen Trendelenburg-Zeichens

Präoperativ gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung des Trendelenburg-Zeichens zwischen den einzelnen Subgruppen nach Paprosky. Es besteht somit kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten des Trendelenburg-Zeichens und dem Schweregrad des knöchernen Defizits.

Präoperativ bestand allerdings ein Zusammenhang zwischen Muskelschaden und dem azetabulären Defekt. Trotz dieses aufgezeigten Zusammenhangs scheint die Klinik gemessen durch das Auftreten des Trendelenburg-Zeichens nur eine Tendenz aufzuweisen, die kongruent zum vorhandenen quantitativen Muskelschaden innerhalb der drei Paprosky-Subgruppen ist. Es besteht kein signifikanter Unterschied. Auch in aktueller Literatur konnte gezeigt werden, dass es keine Korrelation zwischen Muskeldegeneration und Trendelenburg-Zeichen gibt (39). Dies deutet darauf hin, dass das Trendelenburg-Zeichen ein zu ungenauer Test ist, um auf den prozentual vorhandenen Muskelschaden zu schließen.

In zukünftigen Studien sollte dieser Zusammenhang näher untersucht werden. Ein mögliches Ziel wäre es, einen Wert der prozentualen Muskelverfettung herauszufinden, der besagt, ab wie viel Prozent der glutealen Muskeldegeneration das Trendelenburg-Zeichen positiv ist.

Hilfreich wären für zukünftige Studien klinische Parameter, die eine detailliertere Quantifizierung als das Trendelenburg-Zeichen zulassen. Möglichkeiten wären isometrische und dynamische Kraftmessungen der Abduktion. Quantitative Ergebnisse der aufgewendeten Kraft wären in Newton möglich. Die Funktionalität und die Lebensqualität wären auch durch Fragebögen zu erfassen.

Zur weiteren Untersuchung der glutealen Schädigung könnte auch eine histologische Untersuchung intraoperativ gewonnener Muskelbiopsien erfolgen wie es bereits in anderen Studien erfolgte (52). Auch die Anwendung der Elektromyographie zur Erfassung der elektrischen Aktivität der Muskulatur ist zu überlegen.

4.6 Limitationen

Die vorliegende Studie hat folgende Limitationen:

Erstens erfolgte die Studie an einer kleinen Patientenzahl. Durch die kleine Studienpopulation könnte es zu einem nicht repräsentativen Einschluss der Probanden gekommen sein, sodass die Ergebnisse keine Aussage zur tatsächlichen Population zulassen, die sich einer Revisionsoperation der Hüfttotalendoprothese unterziehen. Hinsichtlich der demographischen Daten Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht und *Body-Mass-Index* ist die vorliegende Studie allerdings mit der aktuellen Literatur vergleichbar (14, 20, 57, 58)

Zweitens existieren in der quantitativen Analyse des muskulären Defizits große Standardabweichungen der prozentualen muskulären Verfettung. Dies gilt als Limitation, da es anhand von großen Standardabweichungen schwierig ist, spezifische Rückschlüsse auf einen individuellen Patienten zu ziehen. Sie sind durch die unterschiedliche Anzahl vorheriger Revisionsoperationen der einzelnen Patienten zu erklären. Dennoch sind die Ergebnisse vergleichbar mit der vorliegenden Literatur (39, 49).

Drittens sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie auf den direkt lateralen Zugang nach Bauer und Hardinge begrenzt. Da es allerdings verschiedene operative Zugänge für die Implantation einer Hüfttotalendoprothese gibt, die mit unterschiedlichen Mustern der Muskelschädigung einhergehen (80), lassen sich die vorliegenden Ergebnisse nur auf den direkt lateralen Zugang beziehen.

Viertens wurde zur funktionellen Untersuchung nur das Trendelenburg-Zeichen erhoben. Diese Untersuchung unterliegt verschiedenen Fehlermöglichkeiten und kann zu einer ungenauen Erhebung führen (70). Zur Beurteilung der klinischen Relevanz sollten weitere Parameter neben dem Trendelenburg-Zeichen verwendet werden, um den Zustand des Patienten genauer zu erfassen und weitere Rückschlüsse ziehen zu können. Eine quantitative Kraftmessung wäre denkbar.

Fünftens ist die Paprosky-Klassifikation durch die Untergruppen in A, B und C nicht ordinalskaliert. Für die statistische Auswertung mussten die Werte in ordinalskalierte Daten transformiert werden. Es erfolgte daher die Neuordnung der Paprosky-Typen als ordinalskalierte Klassifikation in Anlehnung an Zagorodniy et al. (20).

4.7 Fazit

Die vorliegende klinisch-prospektive Studie untersuchte den ossären und muskulären Defekt in der Revisionsendoprothetik der Hüfte. Erstmals wurde auch der präoperative Zusammenhang zwischen dem azetabulären Knochendefekt und der quantitativen Muskelschädigung des Musculus gluteus medius untersucht. Zusätzlich erfolgte die Analyse, ob auch ein präoperativer Zusammenhang zwischen dem knöchernen Defizit und dem Auftreten des Trendelenburg-Zeichens besteht.

Es konnte bereits der Anstieg des muskulären Defizits am Musculus gluteus medius von präoperativ zu postoperativ nachgewiesen werden (39, 47). Es zeigte sich in dieser Studie, dass es mit dem Anstieg der Revisionsanzahl zu einer Zunahme des muskulären Defizits kommt.

Zudem konnte erstmals festgestellt werden, dass ein präoperativ erhobener, schwerwiegender Knochendefekt am Azetabulum mit einer prozentual höheren Muskeldegeneration einhergeht. Dieser sollte in der Revisionsendoprothetik berücksichtigt werden.

Ausgehend von den Studienergebnissen sollte zukünftig das Insuffizienzhinken und die Dislokationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Muskelschadens untersucht werden. Daraus könnten Empfehlungen abgeleitet werden, wann spezielle Prothesentypen angewendet werden könnten, die die muskuläre Insuffizienz der Glutealmuskulatur ausgleichen. Bei Vorliegen eines ausgeprägten Muskelschadens sollte die Verwendung von *Dual Mobility Cups* oder Schnappinlays in Erwägung gezogen werden, die aufgrund ihres erhöhten Kopplungsgrades Dislokationsraten reduzieren (41).

Außerdem finden sich in der Literatur bereits Blutparameter, die durch die knöchernen Schädigung bei der Implantatlockerung ansteigen. Laborwerte wie Osteocalcin, Cross-link-vernetzte N-Telopeptide und Hyaluronsäure können bei einer Implantatlockerung ansteigen (24, 25). Zurzeit besteht für diese Laborwerte allerdings keine klinische

Routine. Zukünftig könnten Studien folgen, auf deren Basis auch Blutparameter für die Diagnostik der glutealen Muskelschädigung und deren Schweregrad angewendet werden können. Kosten durch eine aufwendige Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie zur muskulären Beurteilung könnten dadurch reduziert werden.

Des Weiteren ist zu überprüfen, inwieweit auch konservative Maßnahmen wie die postoperativ erfolgende Rehabilitation die gluteale Muskelschädigung günstig beeinflussen und effektiver verbessern könnten.

Die vorliegende Studie liefert Ergebnisse, auf deren grundlegenden Überlegungen weitere Studien konzipiert werden sollten. Zukünftig könnte vom Zusammenhang des azetabulären Knochendefekts und quantifizierter glutealer Muskelschädigung ausgehend das operative Management der Revision optimiert werden. Es könnten operative Zugangswege und Prothesenmodelle in der Revisionsendoprothetik der Hüfte gezielter eingesetzt werden. Dies würde zu einer Verbesserung der Patientenversorgung führen und die Kosten für das Gesundheitssystem reduzieren.

Literaturverzeichnis

1. Arden N, Nevitt MC. Osteoarthritis: epidemiology. Best practice & research Clinical rheumatology. 2006;20(1):3-25.
2. Sun Y, Sturmer T, Gunther KP, Brenner H. [Incidence and prevalence of cox- and gonarthrosis in the general population]. Zeitschrift fur Orthopadie und ihre Grenzgebiete. 1997;135(3):184-92.
3. Cross M, Smith E, Hoy D, Nolte S, Ackerman I, Fransen M, et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. Annals of the rheumatic diseases. 2014;73(7):1323-30.
4. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthrosis. Annals of the rheumatic diseases. 1957;16(4):494-502.
5. Zhang W, Moskowitz RW, Nuki G, Abramson S, Altman RD, Arden N, et al. OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, Part II: OARSI evidence-based, expert consensus guidelines. Osteoarthritis and cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society. 2008;16(2):137-62.
6. Naylor CD, Williams JI. Primary hip and knee replacement surgery: Ontario criteria for case selection and surgical priority. Quality in health care : QHC. 1996;5(1):20-30.
7. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. AE-Maual der Endoprothetik. Hüfte und Hüftrevision. Heidelberg: Springer; 2012. 47-82 p.
8. Mittelmeier W, Plotz W, Gradinger R. [Arthroses of the hip joint and their treatment. Developments and progress in the area of conservative and surgical therapy]. Fortschritte der Medizin. 1997;115(18):34-9.
9. Kelmanovich D, Parks ML, Sinha R, Macaulay W. Surgical approaches to total hip arthroplasty. Journal of the Southern Orthopaedic Association. 2003;12(2):90-4.
10. Shan L, Shan B, Graham D, Saxena A. Total hip replacement: a systematic review and meta-analysis on mid-term quality of life. Osteoarthritis and cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society. 2014;22(3):389-406.
11. Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. Lancet (London, England). 2007;370(9597):1508-19.
12. Merx H, Dreinhofer K, Schrader P, Sturmer T, Puhl W, Gunther KP, et al. International variation in hip replacement rates. Annals of the rheumatic diseases. 2003;62(3):222-6.
13. Wengler A, Nimptsch U, Mansky T. Hip and knee replacement in Germany and the USA: analysis of individual inpatient data from German and US hospitals for the years 2005 to 2011. Deutsches Arzteblatt international. 2014;111(23-24):407-16.

14. Qualitätsreport 2015. Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen, 2015. (02.05.2017, https://www.g-ba.de/downloads/39-261-2699/2016-08-03_QSKH-RL_Freigabe-Q-Report-IQTIG_2015_inkl_Anlage.pdf. 137-41.)
15. Patel A, Pavlou G, Mujica-Mota RE, Toms AD. The epidemiology of revision total knee and hip arthroplasty in England and Wales: a comparative analysis with projections for the United States. A study using the National Joint Registry dataset. *The bone & joint journal*. 2015;97-b(8):1076-81.
16. Herberts P, Malchau H. Long-term registration has improved the quality of hip replacement: a review of the Swedish THR Register comparing 160,000 cases. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2000;71(2):111-21.
17. Clohisy JC, Calvert G, Tull F, McDonald D, Maloney WJ. Reasons for revision hip surgery: a retrospective review. *Clinical orthopaedics and related research*. 2004(429):188-92.
18. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. *AE-Manual der Endoprothetik. Hüfte und Hüftrevision*. Heidelberg: Springer; 2012. Seite 373-400.
19. Iwase T, Ito T, Morita D. Massive bone defect compromises postoperative cup survivorship of acetabular revision hip arthroplasty with impaction bone grafting. *The Journal of arthroplasty*. 2014;29(12):2424-9.
20. Zagorodniy N, Nikolaev I, Nuzhdin V, Kagramanov S. Prospective cohort study of six hundred and sixty four revisions of loose failed acetabular implants. *International orthopaedics*. 2014;38(10):2021-5.
21. Temmerman OP, Raijmakers PG, Berkhof J, Hoekstra OS, Teule GJ, Heyligers IC. Accuracy of diagnostic imaging techniques in the diagnosis of aseptic loosening of the femoral component of a hip prosthesis: a meta-analysis. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2005;87(6):781-5.
22. Katzer A, Löhr JF. Frühlockerung von Hüftgelenkendoprothesen. *Dtsch Arztebl International*. 2003;100(12):784-.
23. Brand RA, Yoder SA, Pedersen DR. Interobserver variability in interpreting radiographic lucencies about total hip reconstructions. *Clinical orthopaedics and related research*. 1985(192):237-9.
24. Schneider U, Termath S, Thomsen M, Brocai DR, Niethard FU. [Use of new biochemical markers in diagnosis of aseptic hip endoprosthesis loosening]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*. 1997;135(4):297-300.
25. Moreschini O, Fiorito S, Magrini L, Margheritini F, Romanini L. Markers of connective tissue activation in aseptic hip prosthetic loosening. *The Journal of arthroplasty*. 1997;12(6):695-703.

26. Ilchmann T. Radiographic assessment of cup migration and wear after hip replacement. *Acta orthopaedica Scandinavica Supplementum*. 1997;276:1-26.
27. Saleh KJ, Holtzman J, Gafni AL, Jaroszynski G, Wong P, Woodgate I, Davis A, Gross AE. Development, test reliability and validation of a classification for revision hip arthroplasty. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2001;19(1):50-6.
28. Saleh KJ, Holtzman J, Gafni A, Saleh L, Davis A, Resig S, Gross AE. Reliability and intraoperative validity of preoperative assessment of standardized plain radiographs in predicting bone loss at revision hip surgery. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2001;83-a(7):1040-6.
29. D'Antonio JA, Capello WN, Borden LS, Bargar WL, Bierbaum BF, Boettcher WG, Steinberg ME, Stulberg SD, Wedge JH. Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research*. 1989(243):126-37.
30. Sheth NP, Nelson CL, Springer BD, Fehring TK, Paprosky WG. Acetabular bone loss in revision total hip arthroplasty: evaluation and management. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2013;21(3):128-39.
31. Telleria JJ, Gee AO. Classifications in brief: Paprosky classification of acetabular bone loss. *Clinical orthopaedics and related research*. 2013;471(11):3725-30.
32. Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M. *AE-Manual der Endoprothetik. Hüfte und Hüftrevision*. Heidelberg: Springer; 2012. Seite 441-587.
33. Kumagai M, Shiba N, Higuchi F, Nishimura H, Inoue A. Functional evaluation of hip abductor muscles with use of magnetic resonance imaging. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 1997;15(6):888-93.
34. Lachiewicz PF. Abductor tendon tears of the hip: evaluation and management. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2011;19(7):385-91.
35. Berger RA, Duwelius PJ. The two-incision minimally invasive total hip arthroplasty: technique and results. *The Orthopedic clinics of North America*. 2004;35(2):163-72.
36. Meneghini RM, Pagnano MW, Trousdale RT, Hozack WJ. Muscle damage during MIS total hip arthroplasty: Smith-Petersen versus posterior approach. *Clinical orthopaedics and related research*. 2006;453:293-8.
37. Meneghini RM, Smits SA, Swinford RR, Bahamonde RE. A randomized, prospective study of 3 minimally invasive surgical approaches in total hip arthroplasty: comprehensive gait analysis. *The Journal of arthroplasty*. 2008;23(6 Suppl 1):68-73.
38. Parratte S, Pagnano MW. Muscle damage during minimally invasive total hip arthroplasty: cadaver-based evidence that it is significant. *Instructional course lectures*. 2008;57:231-4.

39. von Roth P, Abdel MP, Wauer F, Winkler T, Wassilew G, Diederichs G, Perka C. Significant muscle damage after multiple revision total hip replacements through the direct lateral approach. *The bone & joint journal*. 2014;96-b(12):1618-22.
40. Kung PL, Ries MD. Effect of femoral head size and abductors on dislocation after revision THA. *Clinical orthopaedics and related research*. 2007;465:170-4.
41. Rohner E, Matziolis G. [Use of dual mobility cups for revision hip arthroplasty]. *Der Orthopäde*. 2017;46(2):114-20.
42. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007. Seite 530-1.
43. Hefti F. Kinderorthopädie in der Praxis. Heidelberg: Springer; 2006. Seite 164-7.
44. Masonis JL, Bourne RB. Surgical approach, abductor function, and total hip arthroplasty dislocation. *Clinical orthopaedics and related research*. 2002(405):46-53.
45. Strobel K, Hodler J, Meyer DC, Pfirrmann CW, Pirkl C, Zanetti M. Fatty atrophy of supraspinatus and infraspinatus muscles: accuracy of US. *Radiology*. 2005;237(2):584-9.
46. Garcia FL, Picado CH, Nogueira-Barbosa MH. Sonographic evaluation of the abductor mechanism after total hip arthroplasty. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*. 2010;29(3):465-71.
47. Muller M, Tohtz S, Springer I, Dewey M, Perka C. Randomized controlled trial of abductor muscle damage in relation to the surgical approach for primary total hip replacement: minimally invasive anterolateral versus modified direct lateral approach. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2011;131(2):179-89.
48. Pfirrmann CW, Notzli HP, Dora C, Hodler J, Zanetti M. Abductor tendons and muscles assessed at MR imaging after total hip arthroplasty in asymptomatic and symptomatic patients. *Radiology*. 2005;235(3):969-76.
49. Engelken F, Wassilew GI, Kohlitz T, Brockhaus S, Hamm B, Perka C, Diederichs G. Assessment of fatty degeneration of the gluteal muscles in patients with THA using MRI: reliability and accuracy of the Goutallier and quartile classification systems. *The Journal of arthroplasty*. 2014;29(1):149-53.
50. Whiteside LA. Surgical technique: Gluteus maximus and tensor fascia lata transfer for primary deficiency of the abductors of the hip. *Clinical orthopaedics and related research*. 2014;472(2):645-53.
51. Weber M, Berry DJ. Abductor avulsion after primary total hip arthroplasty. Results of repair. *The Journal of arthroplasty*. 1997;12(2):202-6.

52. Lubbeke A, Kampfen S, Stern R, Hoffmeyer P. Results of surgical repair of abductor avulsion after primary total hip arthroplasty. *The Journal of arthroplasty*. 2008;23(5):694-8.
53. Guyen O. Constrained liners, dual mobility or large diameter heads to avoid dislocation in THA. *EFORT open reviews*. 2016;1(5):197-204.
54. Deutsche Adipositas Gesellschaft e. V. Definition; 2012 [cited 2016 Feb 14]. Available from: <http://www.adipositas-gesellschaft.de/index.php?id=39>.
55. Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S, Oberthaler W. The transgluteal approach to the hip joint. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 1979;95(1-2):47-9.
56. Hardinge K. The direct lateral approach to the hip. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1982;64(1):17-9.
57. Lubbeke A, Katz JN, Perneger TV, Hoffmeyer P. Primary and revision hip arthroplasty: 5-year outcomes and influence of age and comorbidity. *The Journal of rheumatology*. 2007;34(2):394-400.
58. Khatod M, Cafri G, Namba RS, Inacio MC, Paxton EW. Risk factors for total hip arthroplasty aseptic revision. *The Journal of arthroplasty*. 2014;29(7):1412-7.
59. Yu R, Hofstaetter JG, Sullivan T, Costi K, Howie DW, Solomon LB. Validity and reliability of the Paprosky acetabular defect classification. *Clinical orthopaedics and related research*. 2013;471(7):2259-65.
60. Massin P, Schmidt L, Engh CA. Evaluation of cementless acetabular component migration. An experimental study. *The Journal of arthroplasty*. 1989;4(3):245-51.
61. Harris WH, McCarthy JC, Jr., O'Neill DA. Femoral component loosening using contemporary techniques of femoral cement fixation. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1982;64(7):1063-7.
62. Kong A, Van der Vliet A, Zadow S. MRI and US of gluteal tendinopathy in greater trochanteric pain syndrome. *European radiology*. 2007;17(7):1772-83.
63. Connell DA, Bass C, Sykes CA, Young D, Edwards E. Sonographic evaluation of gluteus medius and minimus tendinopathy. *European radiology*. 2003;13(6):1339-47.
64. Khoury V, Cardinal E, Brassard P. Atrophy and fatty infiltration of the supraspinatus muscle: sonography versus MRI. *AJR American journal of roentgenology*. 2008;190(4):1105-11.
65. Tingart MJ, Apreleva M, Lehtinen JT, Capell B, Palmer WE, Warner JJ. Magnetic resonance imaging in quantitative analysis of rotator cuff muscle volume. *Clinical orthopaedics and related research*. 2003(415):104-10.
66. Bremer AK, Kalberer F, Pfirrmann CW, Dora C. Soft-tissue changes in hip abductor muscles and tendons after total hip replacement: comparison between the direct anterior

and the transgluteal approaches. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2011;93(7):886-9.

67. Pai VS. A comparison of three lateral approaches in primary total hip replacement. *International orthopaedics*. 1997;21(6):393-8.

68. Lengsfeld M, Bassaly A, Boudriot U, Pressel T, Griss P. Size and direction of hip joint forces associated with various positions of the acetabulum. *The Journal of arthroplasty*. 2000;15(3):314-20.

69. Jerosch J, Steinbeck J, Stechmann J, Guth V. Influence of a high hip center on abductor muscle function. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 1997;116(6-7):385-9.

70. Hardcastle P, Nade S. The significance of the Trendelenburg test. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1985;67(5):741-6.

71. Meyer DC, Hoppeler H, von Rechenberg B, Gerber C. A pathomechanical concept explains muscle loss and fatty muscular changes following surgical tendon release. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*. 2004;22(5):1004-7.

72. Eimori K, Endo N, Uchiyama S, Takahashi Y, Kawashima H, Watanabe K. Disrupted Bone Metabolism in Long-Term Bedridden Patients. *PloS one*. 2016;11(6):e0156991.

73. Ceroni D, Martin X, Delhumeau C, Rizzoli R, Kaelin A, Farpour-Lambert N. Effects of cast-mediated immobilization on bone mineral mass at various sites in adolescents with lower-extremity fracture. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2012;94(3):208-16.

74. Bikle DD, Sakata T, Halloran BP. The impact of skeletal unloading on bone formation. *Gravitational and space biology bulletin : publication of the American Society for Gravitational and Space Biology*. 2003;16(2):45-54.

75. Berend KR, Lombardi AV, Jr., Mallory TH, Adams JB, Russell JH, Groseth KL. The long-term outcome of 755 consecutive constrained acetabular components in total hip arthroplasty examining the successes and failures. *The Journal of arthroplasty*. 2005;20(7 Suppl 3):93-102.

76. Labek G, Brabec E, Frischhut S, Krismer M. High failure rate of the Duraloc Constrained Inlay. *Acta orthopaedica*. 2009;80(5):545-7.

77. Guyen O, Lewallen DG, Cabanela ME. Modes of failure of Osteonics constrained tripolar implants: a retrospective analysis of forty-three failed implants. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2008;90(7):1553-60.

78. Boyer B, Philippot R, Geringer J, Farizon F. Primary total hip arthroplasty with dual mobility socket to prevent dislocation: a 22-year follow-up of 240 hips. *International orthopaedics*. 2012;36(3):511-8.

79. Adam P, Farizon F, Fessy MH. [Dual articulation retentive acetabular liners and wear: surface analysis of 40 retrieved polyethylene implants]. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur*. 2005;91(7):627-36.

80. Palan J, Beard DJ, Murray DW, Andrew JG, Nolan J. Which approach for total hip arthroplasty: anterolateral or posterior? *Clinical orthopaedics and related research*. 2009;467(2):473-7.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Darstellung des azetabulären Defekts nach Paprosky.
- Abbildung 2:** Zu beurteilende Strukturen in der Paprosky-Klassifikation
- Abbildung 3:** Darstellung des Trendelenburg-Zeichens
- Abbildung 4:** Die *Dual Mobility Cup*
- Abbildung 5:** Berechnung zur Bestimmung der fettigen Muskeldegeneration in Prozent
- Abbildung 6:** Darstellung der präoperativ erhobenen prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius in Abhängigkeit der Paprosky-Subgruppen

Tabellenverzeichnis

| | |
|--------------------|---|
| Tabelle 1: | Paprosky-Klassifikation des acetabulären Knochendefekts |
| Tabelle 2: | Studienprotokoll |
| Tabelle 3: | Einteilung der Paprosky-Typen in die drei Subgruppen aufsteigend nach dem Schweregrad des ossären Defizits |
| Tabelle 4: | Demographische Parameter der Kohorte |
| Tabelle 5: | Altersverteilung der Kohorte zum Zeitpunkt des Studieneinschlusses |
| Tabelle 6: | BMI-Verteilung der Kohorte nach der Einteilung der Gesellschaft für Adipositas in Prozent (%) |
| Tabelle 7: | Probandenanzahl in den zwei Revisionsgruppen und deren Anteil an der gesamten Studienkohorte in Prozent (%) |
| Tabelle 8: | Probandenanzahl je Paprosky-Typ |
| Tabelle 9: | Darstellung der Probandenanzahl je Paprosky-Typ in den zwei Revisionsgruppen |
| Tabelle 10: | Probandenanzahl je Paprosky-Subgruppe und deren Anteil an der gesamten Studienkohorte in Prozent (%) |
| Tabelle 11: | Vergleich der Probandenverteilung auf die Paprosky-Subgruppen zwischen den zwei Revisionsgruppen. |
| Tabelle 12: | Vergleich der präoperativ erhobenen Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Revisionsgruppen |
| Tabelle 13: | Vergleich der postoperativ erhobenen Ausprägung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den Revisionsgruppen |
| Tabelle 14: | Veränderung der prozentualen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius von präoperativ zu postoperativ |
| Tabelle 15: | Ergebnisse des Trendelenburg-Zeichens präoperativ und postoperativ in der Kohorte |
| Tabelle 16: | Präoperative Degeneration des Musculus gluteus medius je Paprosky-Subgruppe |
| Tabelle 17: | Irrtumswahrscheinlichkeiten der Varianzanalysen der präoperativ erhobenen Muskeldegeneration des Musculus gluteus medius zwischen den einzelnen Paprosky-Subgruppen |

Tabelle 18: Ergebnisse des präoperativ erhobenen Trendelenburg-Zeichens für die Paprosky-Subgruppen

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------|--|
| AAOS | American Academy of Orthopaedic Surgeons |
| Abb. | Abbildung |
| AE | Deutsche Gesellschaft für Endoprothetik |
| cm | Zentimeter |
| C. P. | Professor Dr. med. Carsten Perka |
| DICOM | Digital Imaging and Communications in Medicine |
| Dr. med. | Doctor medicinae |
| et al. | et alii |
| Inc. | Incorporated |
| OECD | <i>Organisation for Economic Co-Operation and Development</i> |
| p | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| ROI | <i>region of interest</i> |
| s.o. | siehe oben |
| SPSS | Superior Performing Software System |
| Tab. | Tabelle |
| TMT | Trabecular Metal Technology (Zimmer Biomet Holdings, Warsaw, Vereinigte Staaten von Amerika) |

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Johann Felix Finke, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Zusammenhang des ossären und muskulären Defizits in der Revisionsendoprothetik der Hüfte“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s. o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s. o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Danksagung

Sehr herzlich danke ich meinem Doktorvater und Betreuer Herrn Priv. - Doz. Dr. Philipp von Roth, der mir dieses Thema der Doktorarbeit anvertraut hat. Er hat mich mit viel Geduld in der gesamten Zeit der Dissertation mit seinen Ratschlägen unterstützt und stand mir zu jeder Zeit bei all meinen Fragen zur Seite. Für seine Kritik, Korrekturen und uneingeschränkten Hilfestellungen bin ich sehr dankbar. Ohne ihn wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Besonders möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. Carsten Perka bedanken, der mir die Bearbeitung der Studie ermöglicht hat. Vielen Dank für die Unterstützung und Hilfe bei der Bearbeitung der Studie.

Ich möchte mich außerdem bei Matthew P. Abdel bedanken, der mir während seines Deutschlandaufenthalts, die Klassifikationssysteme in der Röntgendiagnostik für diese Studie erläuterte.

Außerdem gilt mein Dank Annette Bowitz, die mich während der gesamten Zeit der Studie begleitete. Sie half mir, mich in der Klinik zurecht zu finden, organisierte für mich Termine und unterstützte mich immer, wenn ich Hilfe benötigte.

Des Weiteren möchte ich mich bei Felix Wauer bedanken, der sich die Zeit nahm, mich in die Datenerhebung und die MRT-Auswertung der Studie einzuweisen.

Großer Dank gilt zudem Charlotte Münch, meiner Familie und meinen Freunden, die mich während der Studie sehr unterstützten. Ohne ihre Hilfe und ihre fortwährenden Ermutigungen wäre die Arbeit nicht möglich gewesen.