

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

DISSERTATION

Evaluation des Muskelschadens in der Primär- und
Revisionsendoprothetik der Hüfte

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Felix Wauer

aus Berlin

Datum der Promotion: 09.12.2016

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Abstract	7
1 Einleitung	8
1.1 Primärimplantation einer Hüfttotalendoprothese	8
1.2 Revisionsoperation einer Hüfttotalendoprothese	9
1.3 Musculus gluteus medius	10
1.4 Operative Zugangswege in der Hüftendoprothetik	13
1.4.1 Minimalinvasive Implantationstechniken im Vergleich mit operativen Standardzugangswegen.....	13
1.4.2 Direkt lateraler Zugang nach Bauer und Hardinge	14
1.5 Diagnostische Verfahren zur Bestimmung von Muskelschäden	17
1.6 Hypothesen und Ziele	20
2 Material und Methoden	22
2.1 Studienprotokoll	22
2.2 Patientenkollektiv	23
2.2.1 Primärgruppe	23
2.2.2 Revisionsgruppe	23
2.3 Operation und postoperativer Verlauf	23
2.4 Primärer Zielparameter-Magnetresonanztomographie	24
2.4.1 Magnetresonanztomographie-Aufnahmetechnik	24
2.4.2 Morphologische Beurteilung	25
2.5 Sekundäre Zielparameter	29
2.5.1 Harris Hip Score.....	30
2.5.2 Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index	30
2.5.3 Short Form 36 Health Survey	31
2.5.4 Visuelle Analogskala.....	32
2.5.5 Klinische Funktionsprüfungen.....	32
2.6 Kovariablen	33
2.7 Statistische Auswertung	34
3 Ergebnisse	35
3.1 Allgemeine Patientendaten	35
3.2 Klinische Parameter	37
3.2.1 Präoperative Parameter.....	38

3.2.2 Postoperative Parameter	40
3.3 Degeneration des Musculus gluteus medius	42
4 Diskussion.....	48
4.1 Allgemeine Patientendaten	48
4.2 Klinische Parameter.....	48
4.2.1 Präoperative Parameter.....	49
4.2.2 Postoperative Parameter	49
4.2.2.1 Harris Hip Score.....	49
4.2.2.2 Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index und Visuelle Analogskala.....	50
4.2.2.3 Short Form 36 Health Survey	50
4.3 Degeneration des Musculus gluteus medius	51
4.4 Limitationen	58
4.5 Fazit.....	58
Literaturverzeichnis	60
Abbildungsverzeichnis	67
Tabellenverzeichnis	68
Abkürzungsverzeichnis	70
Eidesstattliche Versicherung	72
Lebenslauf.....	73
Anteilerklärung an erfolgten Publikationen	75
Publikationsliste	76
Danksagung	77

Zusammenfassung

Einleitung: In der Primärendoprothetik der Hüfte kann es unter Anwendung des direkt lateralen Zugangs zu einem ausgeprägten Substanzverlust der glutealen Muskulatur kommen. Der gluteale Muskelschaden nach einer Revisionsoperation der Hüfttotalendoprothese (HTEP) ist bisher nicht evaluiert worden. Das Ziel dieser Studie war es, die präoperative (präOP) und postoperative (postOP) Morphologie sowie Funktion des Musculus gluteus medius (GM) nach Revision einer HTEP über einen direkt lateralen Zugang zu untersuchen.

Methoden: In der vorliegenden prospektiven klinischen Studie wurden 45 Patienten eingeschlossen. Dreißig Patienten gehörten der Revisionsgruppe an, wobei 15 Patienten einer Erstrevision (Erstrevisionsgruppe) und 15 Patienten einer Mehrfachrevision (Mehrfachrevisionsgruppe) der HTEP unterzogen wurden. Fünfzehn Patienten mit primärer HTEP-Implantation (Primärgruppe) dienten als Kontrollgruppe. Primärgruppe: Anzahl (n) = 15; $62,9 \pm 7,9$ Jahre; Body-Mass-Index (BMI) = $27,9 \pm 4,2$ kg/m². Revisionsgruppe: n = 30; $68,0 \pm 12,1$ Jahre; BMI = $26,6 \pm 3,6$ kg/m². Der direkt laterale Zugang wurde in allen Fällen angewandt. Eine Magnetresonanztomographie (MRT) der pelvitrochantären Muskulatur sowie klinische Funktionsparameter wurden präoperativ sowie sechs Monate postoperativ erhoben.

Ergebnisse: Die Degeneration des M. gluteus medius stieg in der Erstrevisionsgruppe insgesamt von 18,2% präoperativ auf 25,9% postoperativ ($p = 0,006$) an. Der muskuläre Schaden war stärker im anterioren (präOP: 20,2%, postOP: 30,3%, $p < 0,001$) und zentralen (präOP: 15,6%, postOP: 23,0%, $p = 0,021$) Drittel ausgeprägt. Der Schaden des posterioren Drittels zeigte keinen signifikanten Unterschied (präOP: 24,9%, postOP: 27,3%, $p = 0,196$). Ein ähnliches Verteilungsmuster zeigte sich in der Mehrfachrevisionsgruppe (Degeneration insgesamt: präOP: 38,7%, postOP: 45,5%, $p = 0,041$; anteriores Drittel: präOP: 51,6%, postOP: 77,5%, $p = 0,003$; zentrales Drittel: präOP: 35,8%, postOP: 45,6%, $p = 0,015$). Die Degeneration des posterioren Muskeldrittels unterschied sich nicht signifikant (präOP: 25,6%, postOP: 25,6%, $p = 0,878$). In der Kontrollgruppe zeigte sich eine ähnliche Verteilung des Muskelschadens, der deutlich geringer ausgeprägt war. Patienten der Revisionsgruppe präsentierten postoperativ signifikant häufiger ein positives Trendelenburg-Zeichen ($p = 0,006$) sowie ein hinkendes Gangbild ($p = 0,001$).

Schlussfolgerung: Die Studie konnte zeigen, dass es mit einer steigenden Anzahl an Wechseloperationen der HTEP zu einer permanenten Schädigung des Musculus gluteus medius durch den direkt lateralen Zugang kommt. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Muskeltrauma der Hüftabduktoren nach einer primären HTEP-Implantation toleriert werden kann, hingegen der Weichteilverlust nach mehrfachen Revisionseingriffen durch den direkt lateralen Zugang die Muskelfunktion signifikant verschlechtert. Die mehrfache Anwendung dieses Zugangs am Hüftgelenk sollte daher vermieden werden.

Abstract

Introduction: In primary total hip replacement (THR) the abductors of the hip are significantly damaged through the direct lateral approach. To our knowledge, the muscle damage following revision THR using the lateral approach has not been evaluated yet. The aim of this study was to compare the pre-operative (preOP) and post-operative (postOP) morphology and function of the gluteus medius muscle after revision THR through the direct lateral approach.

Methods: Prospective study design, 45 patients (group primary THR: n = 15, 62,9 ± 7,9 years, BMI: 27,9 ± 4,2 kg/m²; group revision THR: n = 30, 68,0 ± 12,1 years, BMI: 26,6 ± 3.6 kg/m²). The direct lateral approach was used in all cases. The revision THR group was separated in 15 patients with first time revision (single revision group) and 15 patients with multiple revisions (multiple revision group). Magnetic resonance imaging (MRI) of the pelvitrochanteric muscles and functional evaluation of the hip were recorded pre- and six month post-operatively.

Results: Overall fatty degeneration of the gluteus medius muscle in the single revision group increases from 18,2% preOP to 25,9% postOP (p = 0,006). Degeneration was more pronounced in the anterior (preOP: 20,2%, postOP: 30,3%, p < 0,001) and central (preOP: 15,6%, postOP: 23,0%, p = 0,021) portion. A similar pattern with an intense increase of overall fatty degeneration was observed in the multiple revision group (overall: preOP: 38,7%, postOP: 45,5%, p = 0,041; anterior portion: preOP: 51,6%, postOP: 77,5%, p = 0,003; central portion: preOP: 35,8%, postOP: 45,6%, p = 0,015). In both groups the posterior portion of the muscle showed no significant difference. In the primary THR group occurred obvious less muscle damage. Patients of the revision THR group showed significantly more often a positive Trendelenburg sign (p = 0,006) and limping (p = 0,001).

Conclusion: The results show progressive muscle damage following multiple revision THRs through direct lateral approach. The extent of fatty degeneration increases significantly after revision surgery in the anterior and central part of the gluteus medius muscle that contributes to an increasing appearance of the Trendelenburg sign. Our results suggest that muscle damage can be tolerated after primary THR whereas soft tissue loss after multiple revisions leads to a significantly decreased abductors function. Surgery related loss of muscle substance associated with other surgical approaches requires further studies.

1 Einleitung

1.1 Primärimplantation einer Hüfttotalendoprothese

Die Osteoarthritis ist eine degenerative Gelenkerkrankung, die etwa 10% der Bevölkerung in Deutschland betrifft (1). Ein Wechsel von akut schmerzhaften und klinisch unauffälligen Phasen kennzeichnet diese Erkrankung. Die Arthritis betrifft den Gelenkknorpel und ist durch Knorpelverlust, die Bildung von Geröllzysten, subchondralen Sklerosierungen und osteophytären Anbauten gekennzeichnet, welche zu einem Funktionsverlust sowie Schmerzen führen können. Ist die Ätiologie der Hüftgelenksarthrose unbekannt, spricht man von einer primären Koxarthrose. Die sekundäre Form ist auf eine Hüftgelenksdysplasie, Osteonekrosen des Femurkopfes, Infektionen oder Traumata zurückzuführen. Durch physiotherapeutische Maßnahmen und physikalische Therapie wird zum einen die Beweglichkeit im betroffenen Gelenk verbessert, zum anderen kann eine Entspannung der pelvitrochantären Muskulatur erzielt werden. Die medikamentöse Therapie ist bei der Koxarthrose auf nichtsteroidale Antiphlogistika und intraartikuläre Injektionen beschränkt (2). Die einzige verbleibende Therapieoption zur Behandlung der Koxarthrose stellt die Implantation einer Hüfttotalendoprothese (HTEP) dar (3, 4). Bei der HTEP-Implantation wird eine Pfanne im Azetabulum und ein Schaft im Femur verankert. Die Fixation kann zementiert oder zementfrei erfolgen. Bei der Wahl der Gleitpaarung, welche das Material der artikulierenden Prothesenteile beschreibt, wird die Kombination Polyethylen/Keramik, Polyethylen/Metall sowie Keramik/Keramik verwendet (2).

In Deutschland wurden im Jahr 2014 160.216 primäre Hüfttotalendoprothesen implantiert (5). Dabei betrug der Anteil der über Sechzigjährigen mit HTEP-Erstimplantation 79,3%. Laut statistischem Bundesamt wird bis zum Jahr 2060 die durchschnittliche Lebenserwartung von neugeborenen Jungen um 7,8 Jahre und bei neugeborenen Mädchen um 6,8 Jahre ansteigen (6). Des Weiteren soll der Anteil der über Fünfundsechzigjährigen von 20% (2008) auf 34% (2060) zunehmen. Folglich wird die Prävalenz der Koxarthrose steigen und der Bedarf an einer primären hüftendoprothetischen Versorgung vermehrt bestehen. In den Vereinigten Staaten von Amerika wird prognostiziert, dass bis zum Jahr 2030 die Zahl der primären hüftendoprothetischen Versorgungen im Vergleich zu 2005 um 174% steigt (7). Mit der steigenden Anzahl an primären HTEP-Implantationen und dem höheren Lebensalter

der Gesamtbevölkerung wird ebenso ein Anstieg der Anzahl an Revisionsoperationen am Hüftgelenk erwartet (7).

1.2 Revisionsoperation einer Hüfttotalendoprothese

Allein in Deutschland wurden im Jahr 2014 26.702 Hüftendoprothesenwechsel und –komponentenwechsel durchgeführt (8). Die Anzahl an revisionsendoprothetischen Eingriffen am Hüftgelenk nahm in den letzten Jahren stetig zu und konnte seit 2005 um 140% gesteigert werden (8-10) (Tab. 1). Obwohl eine Abnahme der Inzidenz von Revisionsoperationen aufgrund der Innovation von Prothesenkomponenten zu erwarten wäre, kann aktuell eine Reduktion der Fallzahlen weder durch die Verbesserung der Abriebeigenschaften der Gleitpaarung (11), noch durch die Modernisierung von Schaff- und Pfannenkomponente gelingen (12, 13).

2005	2011	2012	2013	2014
19.056	25.647	26.400	26.451	26.702

Tab. 1: Entwicklung der jährlichen Fallzahlen an Revisionseingriffen am Hüftgelenk in Deutschland seit 2005.

Die führenden Indikationen für die Revisionsoperation einer HTEP sind die aseptische HTEP-Lockerung, der periprothetische Infekt, die periprothetische Fraktur und die Instabilität. Die aseptische HTEP-Lockerung stellt eine der häufigsten Ursachen für eine Revisionsoperation am Hüftgelenk dar (14).

Bei revisionsendoprothetischen Eingriffen am Hüftgelenk können die Komponenten zementiert oder zementfrei ersetzt werden, wobei die zementfreie Implantation bevorzugt wird. Die Entscheidung hängt u.a. von der patientenspezifischen Konstitution (Knochenstatus, Alter, Anzahl an Voroperationen), von den knöchernen Begebenheiten des Azetabulums und von der Erfahrung des Operateurs ab. Das Ziel der Pfannenimplantation ist eine stabile Primärverankerung des Implantats sowie die Rekonstruktion des anatomischen Hüftgelenkdrehzentrums (15). Als Revisionsysteme stehen Pressfitpfannen, Standardpfannen, Pfannen mit differentem Längs- und Querdurchmesser sowie Schraubpfannen zur Verfügung. Ausgeprägte knöcherne azetabuläre Defekte können zusätzlich mit autologem und allogenen Knochen sowie hoch-porösen Metallimplantaten augmentiert werden. Bei den zementfreien Revisionschäften unterscheidet man zwischen Schäften mit proximaler und distaler Fixation, zwischen modularen und Monoblock-Implantaten sowie Geradschäften und

kurvierten Schäften. Bei den zementierten Schäften werden zumeist verlängerte Standardschaftsysteme mit einem geraden oder kurvierten Verlauf verwendet (16). Revisionseingriffe am Hüftgelenk gehen mit einem höheren Risiko, das heißt einer größeren Anzahl an perioperativen Komplikationen (Instabilität, Infektion, postoperative Thrombembolien) sowie einer erhöhten Mortalität einher (17-20). Der Zugewinn an Lebensqualität nach Revisionsoperationen wird von einigen Autoren im Verhältnis zu den Primäreingriffen als deutlich geringer eingeschätzt (21, 22). Ong et al. haben in einer retrospektiven Studie herausgefunden, dass Patienten nach einer Wechseloperation am Hüftgelenk ein fünffach erhöhtes Risiko für einen erneuten Revisionseingriff im Vergleich zu Primäreingriffen haben (23). Die Komplexität von Revisionseingriffen spiegelt sich auch in höheren Krankenhauskosten, einem längeren Krankenhausaufenthalt sowie einer längeren Operationszeit im Vergleich zu Primäreingriffen wider (24). Der Operationsablauf ist im Vergleich mit der primären HTEP-Implantation technisch anspruchsvoller, benötigt ein besonderes Management des periprothetischen Knochenverlusts (25) und verlangt oft eine größere Übersicht des operativen Situs. Dabei treten gehäuft ausgeprägte Schäden der Muskulatur auf. Insbesondere die ausgeprägte Schwäche der Hüftabduktoren nach Revisionseingriffen am Hüftgelenk stellt nach wie vor ein ungelöstes Problem dar (26, 27).

1.3 Musculus gluteus medius

Das Hüftgelenk ist von einem komplexen Muskelsystem umgeben, welches die Bewegung im Hüftgelenk ermöglicht. Dieses System umfasst die Glutealmuskulatur, den Musculus (M.) piriformis, die Musculi (Mm.) gemelli, die Mm. obturatorii, den M. iliopsoas, die ischiocrurale Muskulatur, den M. rectus femoris, die Hüftadduktoren sowie den M. sartorius. Die Glutealmuskulatur setzt sich aus dem M. gluteus maximus, dem M. gluteus medius (GM) und dem M. gluteus minimus (GMM) zusammen. Der GM entspringt von der Fossa iliaca und wird vom Nervus gluteus superior innerviert. Er hat eine fächerartige Form und überdeckt den Musculus gluteus minimus vollkommen. Die Fasern beider Muskel verlaufen nahezu parallel. Die Sehnen des GM und GMM inserieren an der anterioren sowie lateralen Facette des Trochanter major. Während der GMM größtenteils an der anterioren Facette des Trochanter major inseriert, hat die Sehne des GM eine breitere Insertion an der lateralen Facette und eine sich verschmälernde Insertion an der superolateralen Facette des Trochanter major (28). Die Funktion des GM und GMM liegen in der Stabilisierung des Beckens insbesondere

beim Stehen und Gehen, der Hüftabduktion sowie der Rotation im Hüftgelenk in Abhängigkeit von der Gelenkposition. Des Weiteren assistieren sie bei der Flexion, Innenrotation und sorgen für eine hohe Hüftgelenkstabilität während der Gehbewegung (29). Kumagai et al. (30) konnten in einer durch Magnetresonanztomographie (MRT) gestützten Untersuchung zeigen, dass im Einbeinstand fast ausschließlich der GM und der GMM das Becken stabilisieren, wobei enorme Kräfte, die größer als das dreifache Körpergewicht sind, auf das Hüftgelenk wirken. Dabei scheint der GM aufgrund seiner deutlich höheren Muskelmasse eine etwa doppelt so hohe Abduktionskraft wie der GMM zu besitzen (31). Verschiedenste Ursachen können zu einer Schädigung der Glutealmuskulatur führen. Konsekutiv kommt es dabei oftmals zu einer Degeneration, fettigen Infiltration (englisch: "fatty degeneration" (32)) und Atrophie der Muskelbäuche (33). Die häufigste Ursache, die eine fettige Degeneration von skeletaler Muskulatur verursacht, ist der direkte Muskelschaden durch degenerative Prozesse, durch traumatische Rupturen der Muskelsehnen oder durch eine iatrogene Schädigung bei operativen Eingriffen (34, 35). Auch die Denervierung kann fettige Veränderungen innerhalb der betroffenen Muskulatur hervorrufen (36). Erstmals wurde die fettige Degeneration 1994 als ein degenerativer Prozess der Schultermuskulatur (Rotatorenmanschette) beschrieben (32). Dieser degenerative Prozess führt innerhalb der betroffenen Muskulatur zu einer Atrophie (37, 38), einer Fibrose sowie einer Akkumulation von Fettgewebe (39). Die Menge der fettigen Infiltration ist entscheidend für den Verlust an muskulärer Leistungsfähigkeit (36). Trotz der immensen Bedeutung der fettigen Degeneration für das funktionelle Ergebnis, ist wenig über den molekularen Pathomechanismus bekannt. Eine entscheidende Rolle scheint der Transkriptionsfaktor PPAR γ (peroxisome proliferator activated receptor gamma) zu spielen, welcher die Lipidaufnahme und Fettsäuresynthese in den Adipozyten reguliert (40). Die degenerative Verfettung ist ein irreversibler Prozess und mit einem zunehmenden Funktionsverlust der Muskulatur verbunden (38). Die Beurteilung der fettigen Infiltration wurde ursprünglich anhand von axialen Computertomographie (CT)- sowie MRT-Schnittbildern der Rotatorenmanschette durchgeführt. Pfirrmann et al. (33) haben dieses Messverfahren erstmals für die Beurteilung der glutealen Muskulatur verwendet. Die Analyse fand anhand von T1-gewichteten axialen MRT-Sequenzen statt. In T1-gewichteten Aufnahmen stellt sich Fettgewebe im Gegensatz zu Muskelgewebe hyperintens dar (Abb. 1).

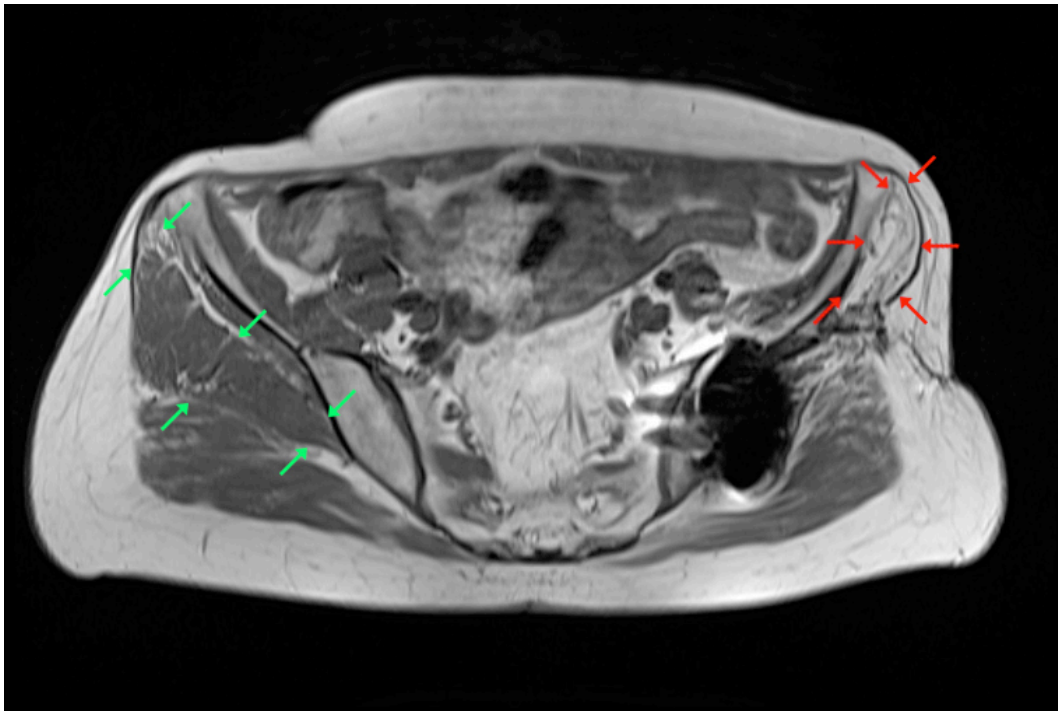


Abb. 1: T1-gewichtete, axiale MRT-Aufnahme eines Patienten mit Hüftabduktoreninsuffizienz links bei Zustand nach fünftem Revisionseingriff am linken Hüftgelenk. Es ist eine ausgeprägte fettige Degeneration des linken GM (rote Pfeile) zu erkennen. Die nichtoperierte Gegenseite (grüne Pfeile) zeigt einen GM im nativen Zustand, welcher voluminöser und hypointens imponiert.

Aufgrund seines Sehnenansatzes am Trochanter major ist der GM in der Hüftendoprothetik in Abhängigkeit des gewählten Zugangs zum Hüftgelenk einem hohen Risiko ausgesetzt, während des operativen Eingriffes geschädigt zu werden. Ab einem kritischen Schwellenwert tritt eine gluteale Insuffizienz auf, die oftmals zum sogenannten Trendelenburg-Zeichen führt. Dabei kommt es zum Absinken des Beckens im Einbeinstand zur Spielbeinseite und einer kompensatorischen Verlagerung des Rumpfes zur Standbeinseite (Duchenne-Hinken) (41). Studien haben ergeben, dass bei bis zu 20% der Patienten nach primärer HTEP-Implantation das Trendelenburg-Zeichen positiv ist (42). Skelettmuskelfasern besitzen kein Regenerationspotential. Ihre Zellen befinden sich in einem postmitotischen Stadium und können nicht repliziert werden (43). Whiteside et al. versuchten geschädigte Hüftabduktoren mit Hilfe eines M. gluteus maximus Transfers zu rekonstruieren (44). Kommt es zu einer Schädigung der Abduktorenmuskulatur am Hüftgelenk, kann sich das Risiko für eine Dislokation der HTEP erhöhen. Nach Kung et al. beträgt die Dislokationsrate einer HTEP bei Funktionseinschränkung der Hüftabduktoren bis zu 40% (45). Perka et al. konnten feststellen, dass der Erhalt von pelvitrochantärem

Muskelgewebe zu einer erhöhten Knochendichte im Bereich des proximalen Femurs führt (46). Dennoch ist eine Evaluierung der operativen Zugangswege in der Revisionsendoprothetik hinsichtlich additiver Muskelschäden bisweilen nicht durchgeführt worden.

1.4 Operative Zugangswege in der Hüftendoprothetik

1.4.1 Minimalinvasive Implantationstechniken im Vergleich mit operativen Standardzugangswegen

In der Endoprothetik kann zwischen minimalinvasiven Zugängen (MIS-Zugängen) und den Standardzugängen (SI-Zugängen) zum Hüftgelenk unterschieden werden. Bei den SI-Zugängen gibt es vier klassische Typen: Smith-Petersen (anteriorer Zugang), Watson-Jones (anterolateraler Zugang), Bauer/Hardinge (direkt lateraler Zugang) und Moore (posterolateraler Zugang) (47). Im Laufe der letzten Jahre wurden die operativen Standardzugangswege modifiziert, woraus sich neue minimalinvasive Verfahren entwickelt haben (48-51).

Während zu Beginn die minimalinvasive Technik in der Hüftendoprothetik über den Hautschnitt definiert wurde (52), werden die Vorteile der MIS-Verfahren heutzutage in der schonenderen Weichteilgewebsbehandlung gesehen (53). Das Thema Muskelschonung wird in der Literatur kontrovers diskutiert. MIS-Verfahren werden oft mit einem kürzeren Hautschnitt kombiniert, wodurch aufgrund der geringen Übersicht im Operationsgebiet zum Teil erheblich iatrogen verursachte Schäden in Form von Quetschungstraumata der pelvitrochantären Muskulatur auftreten (33, 54-57). Welches minimalinvasive Implantationsverfahren hinsichtlich der muskulären Situation zu bevorzugen ist, kann bisher nicht abschließend geklärt werden. Einige Autoren suggerieren, dass die minimalinvasive Zweischnitttechnik innerhalb der MIS-Implantationsverfahren die besten Ergebnisse hinsichtlich minimaler Muskelschäden und postoperativer Regenerationsprozesse erzielt (3, 48, 58). Dieser Sachverhalt wird von anderen Untersuchungsreihen hingegen widerlegt (54, 59). Dennoch geht der Trend weiterhin in Richtung minimalinvasiver Chirurgie. Müller et al. bevorzugen den anterolateralen minimalinvasiven Zugang (ALMI) gegenüber dem direkt lateralen Zugang, da dieser zu geringeren strukturellen Veränderungen im GM und GMM führt (35, 60). Obwohl die MIS-Zugänge den SI-Zugängen bezüglich der strukturellen Schädigung überlegen sein sollen, scheint es bei Primäreingriffen am Hüftgelenk keinen entscheidenden funktionellen Vorteil zu geben (35, 61-64). Einige Autoren konnten

einen signifikanten Anstieg von postoperativen Komplikationen mittels MIS-Technik im Vergleich zu den SI-Zugängen ausmachen (64-66). Woolson et al. zeigten, dass Eingriffe mittels MIS-Zugang im Vergleich zum SI-Zugang signifikant höhere Wundheilungsstörungen und Komponentenfehlstellungen verursachen (64). Außerdem kommt es gehäuft zu intraoperativen sowie postoperativen periprothetischen Frakturen (67). Nach der minimalinvasiven Zweischnitttechnik werden Komplikationsraten von bis zu 42% beschrieben (65, 68). Hube et al. zeigten in einer retrospektiven Studie an 152 Patienten, dass die Luxation als Folge einer Malpositionierung der Pfanne als häufigste Revisionsursache nach MIS-Verfahren auftritt (69). Es liegen einige Studien vor, die Vorteile der MIS-Techniken in der frühen postoperativen Phase gegenüber den SI-Techniken darstellen. Vorteile sind ein reduzierter perioperativer Blutverlust, geringere postoperative Schmerzen, ein selteneres Hinkverhalten, eine schnellere Rehabilitation sowie ein kürzerer Krankenhausaufenthalt (3, 70, 71).

Bei Revisionseingriffen am Hüftgelenk können operative Zugangswege der Primärimplantation verwendet werden. Allerdings ist der operative Ablauf im Revisionsfall nicht so hochstandardisiert wie es bei einer primären HTEP-Implantation der Fall ist. In Abhängigkeit von der Revisionsursache, den anatomischen Gegebenheiten des Patienten, des Implantationsverfahrens bei Erstimplantation, des HTEP-Modells sowie der Lagerung des Patienten muss die Wahl des optimalen Zugangsweiges erfolgen. Dies setzt eine ausführliche präoperative Planung voraus. In Europa ist der direkt laterale Zugang nach Bauer und Hardinge eine der am häufigsten verwendeten Zugangsverfahren in der primären Hüftendoprothetik (72, 73). Der Zugang ist durch eine gute Übersichtlichkeit sowie eine unkomplizierte Erweiterung zum Azetabulum und Femur gekennzeichnet und bietet sich daher für die Verwendung bei Revisionseingriffen am Hüftgelenk an (15).

1.4.2 Direkt lateraler Zugang nach Bauer und Hardinge

Der direkt laterale Zugang wurde initial von Bauer (74) und Hardinge (75) beschrieben. In Norwegen wurden im Jahr 2009 67,1% der primären HTEP-Implantationen mittels direkt lateralen Zugang durchgeführt (76). Während die oben genannten Vorteile dazu beitragen, dass der direkt laterale Zugang sowohl in der Primärendoprothetik als auch in der Revisionsendoprothetik ein sehr häufig angewendetes Operationsverfahren darstellt (33, 77), liegen die Nachteile des Zugangsweiges darin, dass die abgelösten Muskelanteile am Knochen häufig nur eingeschränkt fixiert werden können und dass es

zu einer Schädigung der Glutealmuskulatur, des Musculus tensor fasciae latae (TFL) sowie des Nervus gluteus superior kommen kann.

Vor Operationsbeginn wird der Patient in die Rückenlage gebracht. Die Inzisionslänge beträgt ca. 10-12 cm, wobei zwei Drittel der Inzision kranial und ein Drittel kaudal des Trochanteris major in einer waagerechten Schnitfführung verlaufen sollte (78). Nach Durchführung des Hautschnitts, der Durchtrennung des subkutanen Fettgewebes sowie des Tractus iliotibialis, kommt es zur partiellen Teilung des Musculus gluteus medius im Faserverlauf auf einer Länge von etwa 6 cm. Dieser Schnitt wird meist in den M. vastus lateralis hinein erweitert (Abb. 2).

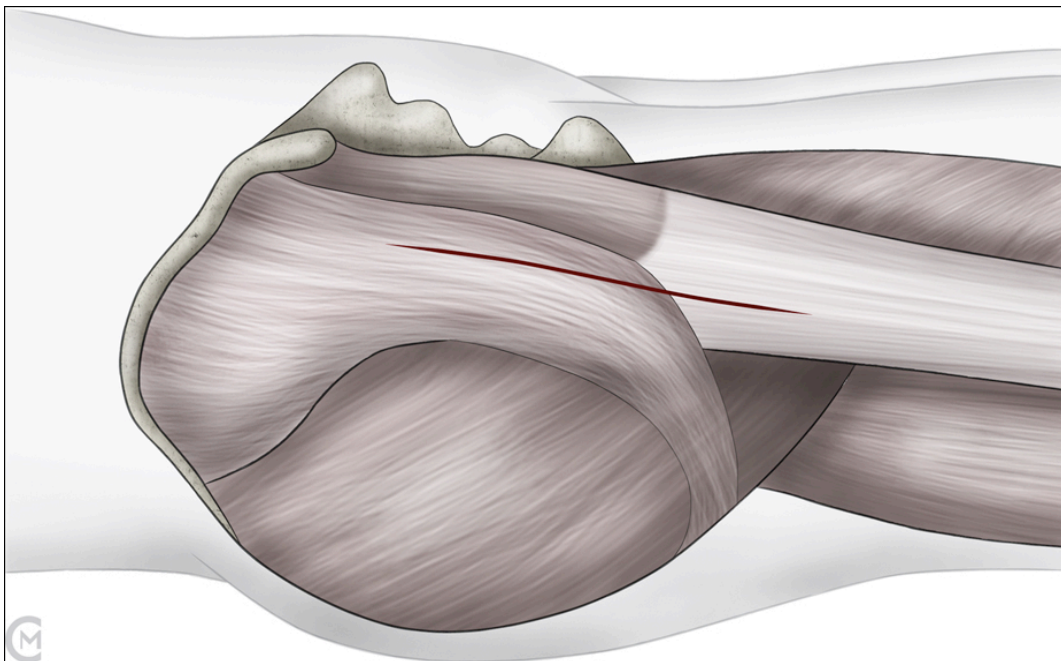


Abb. 2: Operative Schnitfführung entlang des Musculus gluteus medius und Musculus vastus lateralis beim direkt lateralen Zugang (74).

Anschließend kommt es teilweise zur Ablösung des GM vom Trochanter major. Bei der muskulären Schnitfführung muss darauf geachtet werden, dass die Äste der Arteria circumflexa femoris durchtrennt werden könnten und ggf. koaguliert werden müssen. Kommt die Gelenkkapsel mit dem darüber liegenden Fettkörper zum Vorschein, wird diese mit Haken eingestellt. Anschließend erfolgt die Eröffnung der Kapsel sowie die Resektion der ventralen Anteile (Abb. 3).

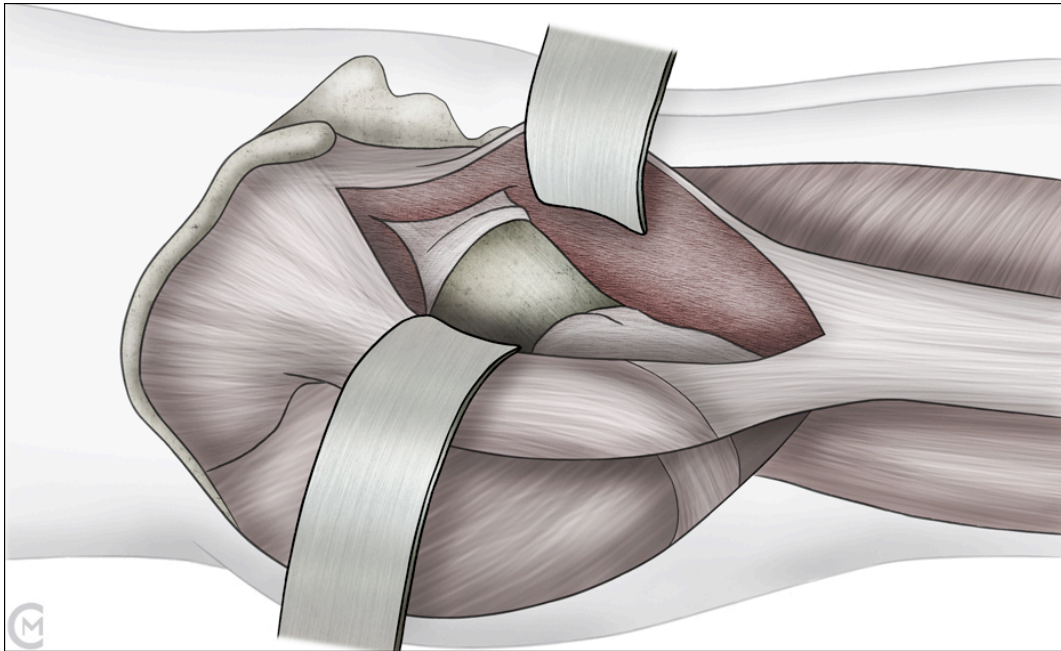


Abb. 3: Eröffnung der Hüftgelenkscapsel und Darstellung des Hüftgelenks beim direkt lateralen Zugang. Nach Durchtrennung von Kutis, Subkutis und Muskulatur erhält man Sicht auf den Femurkopf, den Schenkelhals sowie das proximale Femur (78).

Bei einer Primärimplantation wird im ersten Schritt die Resektion und Entfernung des Gelenkkopfs durchgeführt. Anschließend erfolgen die Präparation des Azetabulums, die Implantation der Prothesenpfanne, die Präparation des Prothesenschafts sowie die Einführung der Schaftkomponente in den Oberschenkelknochen (Femur). Bei Revisionseingriffen erfolgt in Abhängigkeit von der Revisionsursache zunächst die Explantation der zu revidierenden Prothesenkomponente und im Anschluss die Implantation der Revisionsimplantate. Nach der Prothesenimplantation werden die Sehnenansätze mit transperiostalen Nähten an den Trochanter major adaptiert und Faszie, Subkutis und Kutis mit diversem Nahtmaterial verschlossen (78).

Eine ausgeprägte Hüftabduktoreninsuffizienz stellt nach Revisionseingriffen ein ungelöstes Problem dar (26). Es existieren keine Studien, die den perioperativen Muskelstatus unter Anwendung des direkt lateralen Zugangs in der Revisionsendoprothetik beschreiben. Daher ist unklar, inwieweit sich die Verwendung des direkt lateralen Zugangs als die geeignetste Methode für die betroffenen Patienten darstellt. Die Magnetresonanztomographie hat sich in der Primärendoprothetik am Hüftgelenk bisher als nützliches diagnostisches Mittel zur Beurteilung des perioperativen Muskelschadens etabliert (79).

1.5 Diagnostische Verfahren zur Bestimmung von Muskelschäden

In den letzten Jahren wurden viele Studien publiziert, die sich mit der quantitativen und qualitativen Auswertung von skeletalen Muskelschäden beschäftigt haben.

Einige Autoren untersuchten Serummarker, die mit einem muskulären Trauma assoziiert sind, vor und nach einer primären HTEP-Implantation (80, 81). Dabei wurden diverse MIS-Verfahren miteinander verglichen. In allen Gruppen kam es zu einem signifikanten Anstieg der Kreatinphosphokinase, der Kreatinkinase sowie des Myoglobins. Im Vergleich der MIS-Verfahren untereinander konnte kein Verfahren signifikant bessere Ergebnisse aufweisen.

Einige Kadaverstudien belegen ebenfalls, dass es zu einem substantiellen Verlust der periartikulären Muskulatur durch einen MIS-Zugang kommen kann (57, 59, 82). Meneghini et al. führten anhand von sechs Kadavern primäre HTEP-Implantationen am linken und rechten Hüftgelenk durch, wobei pro Kadaver zwei unterschiedliche Implantationstechniken angewendet wurden (55). Sie beurteilten dabei das Ausmaß und die Lokalisation des Muskelschadens. Dazu wurden die zu untersuchenden Muskeln von ihrem Ursprung abgelöst und die Querschnittsfläche der makroskopisch sichtbaren Defektareale gemessen. Sie konnten zeigen, dass der Smith-Petersen-Zugang einen geringeren Schaden im Bereich der Abduktoren verursachte als der minimalinvasive posteriore Zugang.

Klinische Funktionstests wurden ebenfalls zur Beurteilung der Muskelschädigung am Hüftgelenk herangezogen. Dabei ging eine gluteale Insuffizienz mit einem ausgeprägten Hinken sowie positivem Trendelenburg-Zeichen einher. Gore et al. haben bereits 1986 gezeigt, dass Patienten nach einem Revisionseingriff häufiger Gehhilfen benötigen, langsamer gehen und einen geringeren Bewegungsumfang besitzen. Die Autoren schlussfolgerten, dass wiederholte chirurgische Eingriffe am Hüftgelenk zu einer Progredienz der muskulären Defektsituation führen (83).

Eine Vielzahl an prospektiv klinischen Studien hat Ganganalysen zur Beurteilung des funktionellen Ergebnisses nach Primärimplantation durchgeführt. Dabei wurden u.a. Bett- und Stuhltransfer, Treppensteigen, unbegrenzte Gehstrecke und Sportaktivität und ein 6-Minuten-Gehtest beurteilt. Bisher gibt es keine einheitlich Meinung, welches Implantationsverfahren die besten Ergebnisse hinsichtlich einer Ganganalyse zeigt (71, 84).

Elektrophysiologische Untersuchungen wurden ebenfalls mehrfach erfolgreich angewandt, um die Schädigung des Nervus gluteus superior nach primärer HTEP-

Implantation zu detektieren (85, 86). In diesem Zusammenhang konnten Ramesh et al. nach Anwendung des direkt lateralen Zugangs einen Zusammenhang zwischen elektrophysiologisch detektiertem Nervenschaden sowie positivem Trendelenburg-Test zeigen (86).

Untersuchungen an der Rotatorenmanschette haben ergeben, dass die Ultraschalluntersuchung ein zuverlässiges Verfahren zur Beurteilung der fettigen Degeneration an oberflächlich gelegenen Muskeln sein kann. Dabei lag die Sensitivität der Detektion fettig degenerierter Muskulatur zwischen 89% und 100% (87). Garcia et al. untersuchten 2010 inwieweit eine Hüftultraschalluntersuchung nach Primärimplantation einer HTEP eine Sehnenavulsion des GM feststellen kann (88). Dies konnte in vier von acht Fällen mit positivem Trendelenburg-Zeichen detektiert werden. In den letzten Jahren hat sich die Methodik der MRT in vielen Arbeiten als zuverlässiges diagnostisches Mittel zur Beurteilung traumatischer Muskelschäden erwiesen (33, 35, 60, 89). Teratani et al. haben durch die Durchführung eines postoperativen MRT Muskelzerrungsverletzungen der hüftstabilisierenden Muskulatur erkannt (90). Cvitanic et al. erzielten bei der Verwendung der MRT zur Diagnostik eines Abduktorensehnenabrisses eine Sensitivität von 91% (91). Twair et al. untersuchten die Verwendung der MRT zur Bestimmung eines Abrisses der Abduktorenmuskulatur vom Trochanter major (89). Müller et al. analysierten in einer prospektiven klinischen Studie an 38 Patienten den Gebrauch der MRT zur Bestimmung der fettigen Degeneration des GM und GMM nach primärer HTEP-Implantation (60). Das Ausmaß der fettigen Degeneration wurde dabei mit dem vierstufigen Klassifikationssystem nach Goutallier beurteilt (Tab. 2) (32). Eine Zunahme der degenerativen Verfettung konnte bei 25 der 38 Patienten (65,8%) im gesamten GMM dargestellt werden.

Menge von Fett im Muskel	Grad
kein Fettgewebe	0
leichte fettige Streifen	1
mehr Muskel- als Fettgewebe vorhanden	2
Muskel- und Fettgewebe gleich häufig vorhanden	3
weniger Muskel- als Fettgewebe vorhanden	4

Tab. 2: Klassifikationssystem der fettigen Muskelatrophie von Goutallier.

Fünf Jahre zuvor hatten Pfirrmann et al. bereits eine ähnliche Untersuchungsreihe durchgeführt (33). Sie untersuchten ebenfalls die fettige Degeneration sowie den Sehnenabriss des GMM und GM von einer symptomatischen Patientengruppe und einer asymptomatischen Patientengruppe nach primärer HTEP-Implantation. Sie konnten in der asymptomatischen Gruppe signifikante Unterschiede bezüglich des Sehnenabrisses der Abduktoren, der fettigen Degeneration des gesamten GM sowie der fettigen Degeneration des posterioren Segments des GMM feststellen. Aufgrund der vorangegangenen Studien stellt die Magnetresonanztomographie einen vielversprechenden Ansatz zur Detektion von Muskelschäden in der Revisionsendoprothetik dar. Die Untersuchungsmethode beruht auf dem Prinzip, dass Protonen über einen Eigendrehimpuls verfügen, dem sogenannten Spin. Sie induzieren dadurch ein magnetisches Dipolmoment. Mit Hilfe eines MRT-Geräts wird ein Magnetfeld erzeugt, an dessen Feldlinien sich die magnetischen Dipole parallel oder antiparallel ausrichten und eine Kreiselbewegung um die Längsachse vollführen (Präzession). Ein senkrecht zum Magnetfeld eintreffender Hochfrequenzimpuls lenkt die Atomkerne aus ihrer Bahn, wodurch eine Quermagnetisierung induziert und die Präzessionsbewegung synchronisiert wird. Nach Ende des Impulses kehren die Protonen aus der Quer- in die Längsmagnetisierung zurück, wobei Radiosignale abgegeben werden. Diese werden außerhalb des Körpers detektiert und computergestützt in ein Bild umgerechnet. Der Zeitraum, der von den Protonen benötigt wird, um in den Ausgangszustand zurückzukehren, wird als Repetitionszeit beschrieben. In Abhängigkeit vom untersuchten Gewebe treten unterschiedliche Repetitionszeiten auf, wodurch sie voneinander unterschieden werden können (92).

Fettgewebe erscheint bei einer T1-gewichteten Darstellung hyperintens, Muskulatur erscheint hypointens. In einer T2-gewichteten Sequenz verhält sich die Darstellung von Wasser und Muskel umgekehrt. Diesen unterschiedlichen Kontrast bei der Bildentstehung kann man sich zur Beurteilung der fettigen Degeneration als Ausmaß des muskulären Schadens zu Nutze machen.

Schnittbilder, die mittels MRT erzeugt werden, lassen eine detaillierte Darstellung sowie Beurteilung der pelvitrochantären Muskulatur zu. Der Gebrauch einer nichtferromagnetischen Titanprothese erlaubt es außerdem hochqualitative MRT-Aufnahmen zu erzeugen. Die untersuchten Patienten sind im Gegensatz zur Röntgen- sowie CT-Diagnostik keiner zusätzlichen Strahlenbelastung ausgesetzt.

1.6 Hypothesen und Ziele

Ziel der vorgelegten Studie ist es, erstmals prospektiv den prä- und postoperativen Status des GM nach einer Revisionsoperation am Hüftgelenk zu erheben und diesen mit einer Kontrollgruppe, die sich einer primären HTEP-Implantation am Hüftgelenk unterzogen hat, zu vergleichen. Hierzu sollen radiologische sowie funktionelle Analysen vor und nach Primär- sowie Revisionseingriffen untersucht und miteinander verglichen werden.

Bisher existiert kein Wissen darüber, in welchem Zustand der GM vor einer Revisionsoperation ist, inwieweit sich der Zustand des Muskels nach der Operation ändert und ab welchem kritischen Schwellenwert ein klinisch relevanter Muskelschaden entsteht. Die Ergebnisse dieser Studie könnten Einfluss auf die Prothesenwahl bei Revisionsoperationen nehmen. Präoperativ erfasste Muskelschäden würden in einem nächsten Schritt die Implantationstechnik beeinflussen. Über eine modifizierte Implantatpositionierung könnte eine Verbesserung des Hebelarmes im Sinne einer muskeldefektadaptierten Optimierung der Biomechanik erreicht werden. Weiter soll über die Erfassung der muskulären Leistungsfähigkeit dem behandelnden Arzt die Möglichkeit gegeben werden, ein auf den Patienten zugeschnittenes Rehabilitationsregime anwenden zu können.

Aus den genannten Zielen ergeben sich folgende Arbeitshypothesen:

1. Sowohl nach der primären HTEP-Implantation als auch nach der Revisions-HTEP-Implantation kommt es zu einer signifikanten Zunahme der fettigen Degeneration.

2. Der wiederholte Eingriff über den direkt lateralen Zugang führt zu einem Fortschreiten der fettigen Degeneration und des funktionellen Defizites.

Als primären Zielparameter wird die fettige Degeneration des GM im MRT definiert. Sekundäre Zielparameter sind der Harris Hip Score (HHS), der Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), der Short Form 36 Health Survey (SF-36), die visuelle Analogskala (VAS), das Trendelenburg-Zeichen sowie das Hinkverhalten.

2 Material und Methoden

2.1 Studienprotokoll

Die vorliegende prospektive Kohortenstudie wurde anhand von Patienten durchgeführt, die sich einer primären HTEP-Implantation oder Revisions-HTEP-Implantation am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC), Charité-Universitätsmedizin Berlin, unterzogen haben. Das Studienprotokoll umfasste zwei Visiten. Am präoperativen (präOP) Tag fand die erste Visite parallel zur stationären Aufnahme statt. Diese beinhaltete neben einer ausführlichen Anamnese, eine körperliche Untersuchung, eine MRT- und Röntgenuntersuchung sowie die Bearbeitung eines standardisierten Fragebogens. Die klinische und radiologische Nachuntersuchung fand sechs Monate postoperativ (postOP) statt (Tab. 3). Die klinische Untersuchung der Revisionsgruppe wurde sowohl präoperativ am Vortag der Operation als auch sechs Monate postoperativ von demselben Untersucher (Felix Wauer) durchgeführt. Die Primärgruppe wurde von Dr. Tobias Winkler untersucht. Die Erfassung der klinischen Funktionsparameter (Trendelenburg-Zeichen, Hinkverhalten) stand im Zentrum der Untersuchungen.

Visiten	V1	OP	V2
Tag	0	1	180
Klinische Untersuchung	x	-	x
Trendelenburg-Zeichen	x	-	x
Röntgen	x	-	-
MRT	x	-	x
HHS	x	-	x
SF-36	x	-	x
WOMAC	x	-	x
VAS	x	-	x

Tab. 3: Studienprotokoll. Die Datenerhebung erfolgte in beiden Gruppen an zwei verschiedenen Tagen. V1 = präoperative Visite, V2 = postoperative Visite, OP = Tag der Operation

2.2 Patientenkollektiv

2.2.1 Primärgruppe

Die Daten der Primärgruppe stammen aus einer historischen Vergleichsgruppe, welche im Zeitraum Oktober 2008 bis Juni 2009 erhoben wurden. Die Auswertung des Datensatzes war bis dato nicht erfolgt. Ausschlusskriterien waren eine bereits bestehende HTEP auf der Gegenseite, Voroperationen am betroffenen Gelenk sowie knöcherne Frakturen am Femur oder Azetabulum.

2.2.2 Revisionsgruppe

Im Zeitraum von November 2011 bis Januar 2014 konnten 30 Patienten in die vorliegende prospektive klinische Studie eingeschlossen werden, die sich einer Revisionsoperation am Hüftgelenk unterzogen haben. Einschlusskriterien waren die Diagnose einer aseptischen Lockerung als Revisionsursache sowie die Durchführung des direkt lateralen Zugangs bei der Erstimplantation der zu revidierenden Prothese. Als Ausschlusskriterien wurden Muskelerkrankungen, ein positiver Nachweis von Erregern bei der routinemäßigen präoperativen Punktion, weitere Operationen im Bereich des betroffenen Hüftgelenks im Untersuchungszeitraum, neurologische Krankheiten, eine immunsuppressive Therapie, MRT-Kontraindikationen (Schrittmacher, Defibrillator, ferromagnetische intrazerebrale Clips), Teilnahme an anderen Studien, Schwangerschaft sowie eine beschränkte Geschäftsfähigkeit festgelegt. Hinsichtlich der Evaluierung des GM-Status wurde die Revisionsgruppe anhand der Anzahl an Voroperationen untergliedert. Fünfzehn Patienten wurden der Erstrevisionsgruppe (Erstrevison der HTEP), 15 Patienten der Mehrfachrevisionsgruppe (mindestens Zweitrevision der HTEP) zugeordnet. Die Studie wurde von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

2.3 Operation und postoperativer Verlauf

Alle Patienten wurden vom gleichen Operateur (Prof. Dr. Carsten Perka) und mittels direkt lateralen Zugangs operiert. Die Operationen in der Primärgruppe erfolgten in Rückenlage. In der Revisionsgruppe wurden neun Patienten (30%) in Seitenlage und einundzwanzig Patienten (70%) in Rückenlage operiert. Das Anästhesieverfahren in der Revisionsgruppe war stets die totale intravenöse Anästhesie (TIVA). Als Anästhesieverfahren wurde in der Primärgruppe dreimal (20%) die Spinalanästhesie und 12 mal (80%) die TIVA angewandt.

In der Primärgruppe erhielten alle Patienten eine nichtzementierte Pfannenkomponente (Allofit, Zimmer, Warsaw, USA) sowie nichtzementierte Schaftkomponente (SL-Plus Schaft, Smith & Nephew, London, England, Großbritannien). Die Gleitpaarung war stets Keramik (Prothesenkopf) und hochvernetztes Polyethylen (Inlay). Von den dreißig Patienten der Revisionsgruppe wurde bei acht Patienten (26,7%) sowohl die Prothesenpfanne als auch der Prothesenschaft gewechselt, bei sechs Patienten (20%) isoliert der Prothesenschaft und bei 16 Patienten (53,3%) isoliert die Pfannenkomponente ausgetauscht. Von den insgesamt 24 implantierten Azetabulumkomponenten gehörten 19 zum porös strukturierten Trabecular Metal Revisionssystem (Zimmer), vier zum Burch-Schneider-Revisionssystem (Zimmer) und eine zum Bofor-Revisionssystem (Smith & Nephew). Bei der Implantation der 14 Revisionschäfte wurde achtmal eine nichtzementierte Komponente SL-Plus-R (Smith & Nephew), viermal ein nichtzementiertes Revitan Revisionssystem (Zimmer) sowie zweimal eine zementierte Komponente Lubinus SP II (Link, Hamburg, Deutschland) verwendet. In 11 Fällen (36,7%) ist eine Pfannenbodenplastik aufgrund eines ausgeprägten periazetabulären Defekts erfolgt. Fünfmal wurde ein Tantal-Wedge verwendet und bei vier Patienten eine allogene Spongiosaplastik durchgeführt. Eine Spongiosaplastik am Femur erfolgte zweimal (6,7%), ebenfalls musste in zwei Fällen (6,7%) mindestens eine Titancerclage verwendet werden.

Alle Patienten erhielten postoperativ das gleiche standardisierte Pflege- sowie Rehabilitationsprogramm. Physiotherapie wurde ab dem ersten postoperativen Tag durchgeführt. Ziel war es die Patienten schnellstmöglich zu mobilisieren. Dabei wurde unter physiotherapeutischer Kontrolle geübt im stationären Verlauf das operierte Gelenk mit zwei Gehstützen voll zu belasten sowie Treppenstufen zu bewältigen. Alle Patienten haben ein standardisiertes Rehabilitationsprogramm für drei Wochen durchgeführt, bei dem das Training der unteren Extremität bzw. die Wiederherstellung der Selbstständigkeit im Vordergrund stand. Gehhilfen wurden nach spätestens sechs Wochen abgelegt.

2.4 Primärer Zielparameter-Magnetresonanztomographie

2.4.1 Magnetresonanztomographie-Aufnahmetechnik

Die Durchführung der MRT-Aufnahmen erfolgte in Rückenlage unter Verwendung eines 1,5-T-Scanners mit Standard-Oberflächenspule (Symphony, Siemens Medical Systems, Erlangen, Deutschland). Diese wurde mittig über dem zu untersuchenden Hüftgelenk

platziert. Für die Auswertung musste der Bereich zwischen der Crista iliaca und dem proximalen Femur komplett abgebildet sein. Zur morphologischen Beurteilung waren T1-gewichtete axiale Sequenzen notwendig. Als Planungssequenzen dienten T1-gewichtete koronare Sequenzen. Die verwendeten Scan- und Pulssequenzparameter waren wie folgt:

- 1.5 Tesla Symphony:

Axial T1-Turbospinecho (TSE)

Repetitionszeit (TR)/ Echozeit (TE)/ Flipwinkel (FW) = 667 ms/ 12 ms/ 150°, Schichtdicke = 6 mm, field of view (FOV) = 420 x 275,52 mm², Punktmatrix = 512 x 168, Bandbreite (BW) = 195 Hz/Px, Bildauflösung = 0,8 x 1,6 x 6,0 mm³, 12 echo train length (ETL), Akquisitionszeit (AZ) = 2:32 min/s, Anzahl der Schnitte = 28

Koronar T1-TSE

TR/ TE/ FW = 667 ms/ 12 ms/ 150°, Schichtdicke = 5 mm, FOV = 400 x 400 mm², Punktmatrix = 512 x 256, BW = 195 Hz/Px, Bildauflösung = 0,8 x 1,6 x 5,0 mm³, 12 ETL, AZ = 3:51 min/s, Anzahl der Schnitte = 27

2.4.2 Morphologische Beurteilung

Die Analyse der fettigen Degeneration ist eine modifizierte Version des Verfahrens, welches initial von Engelken et al. beschrieben wurde (79). Zunächst wurden die generierten MRT-Sequenzen von jedem Probanden auf eine CD gebrannt. Anschließend sind die Datensätze in das DICOM Verarbeitungsprogramm OsiriX (Version 5.0.2; Los Angeles, Kalifornien, USA) für Mac OS X (Version 10.6.8; Apple Inc., Cupertino, Kalifornien, USA) importiert worden. Sowohl für die Primär- als auch die Revisionsgruppe wurden separate Datenbanken erstellt. Die morphologische Beurteilung des GM wurde jeweils an drei axialen, T1-gewichteten MRT-Aufnahmen durchgeführt. Zur Identifikation der Analyseebenen dienten die koronaren Bildsequenzen. Die Basisebene wurde als die oberste axiale Schicht definiert, auf der die Spitze des Trochanters major noch identifiziert werden konnte. Der Abstand zwischen den Schichten betrug sechs Millimeter. Sechs Schichten proximal der Basisebene wurden verworfen. Die drei folgenden, proximalen Schichten wurden für die Evaluation ausgewählt (Abb. 4).

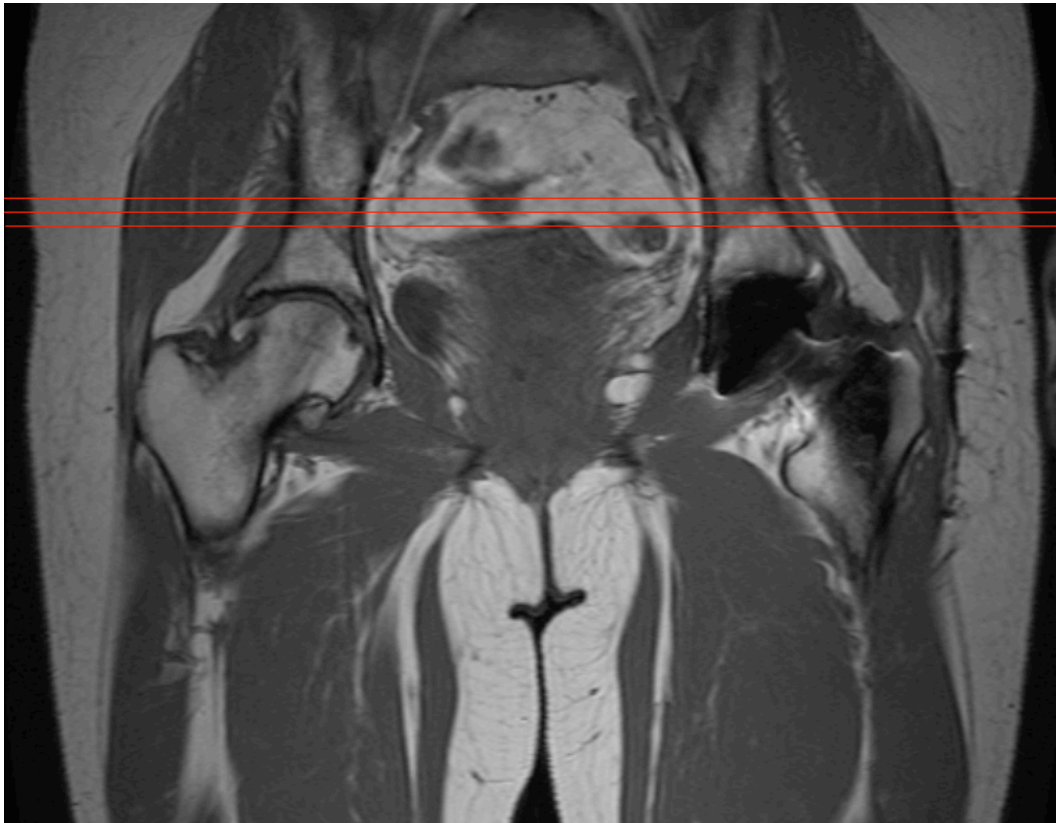


Abb. 4: Auswahl der Analyseebenen zur Graustufenanalyse. Koronare, T1-gewichtete MRT-Aufnahme. Die Spitze des linken Trochanters major lässt sich auf der koronaren Sequenz gut identifizieren. Die drei roten Striche entsprechen der Schichthöhe der axialen Analyseebenen, welche sich sieben bis neun Schichten proximal der Basisebene (Spitze des Trochanters major) befinden.

Diese Bilder wurden als DICOM-Datei exportiert und in Adobe Photoshop (Version 10.0; Adobe Systems, San José, Kalifornien, USA) ausgewertet. Die Farbtiefe der Bilder umfasste acht Bit, was eine maximal mögliche Anzahl von 256 Farbabstufungen innerhalb der Aufnahmen erlaubte. Um den prozentualen Fettgehalt im GM zu bestimmen musste zunächst analysiert werden, welche Graustufenwerte als Muskelgewebe bzw. Fettgewebe betrachtet werden können. Dazu wurden Messungen in homogenem Fett- und Muskelgewebe durchgeführt. Eine 1 cm² umfassende ROI (region of interest) wurde in den ipsilateralen M. iliacus sowie in das subkutane Fettgewebe platziert. Alle Pixel innerhalb der beiden ROIs können als reines Fett- bzw. Muskelgewebe betrachtet werden. Anschließend wurde der Graustufenmittelwert sowie die Standardabweichung innerhalb der ROI ermittelt. Nach Engelken et al. wurde die Spannweite für Fett- und Muskelgewebe über den Graustufenmittelwert innerhalb der jeweiligen ROI \pm zwei Standardabweichungen definiert (Abb. 5) (79).

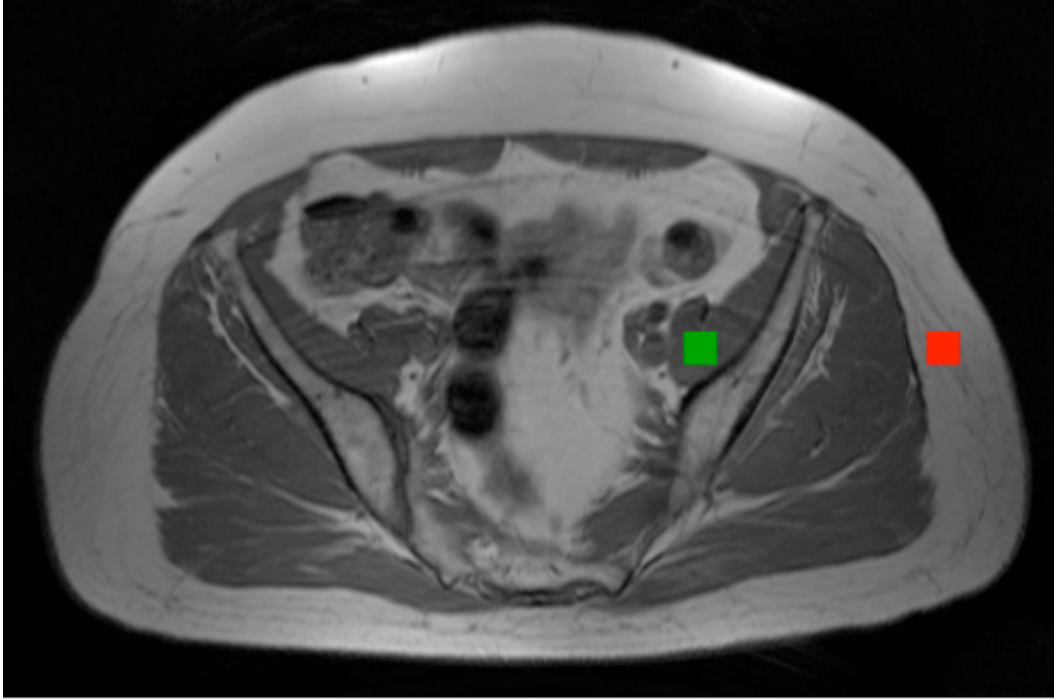


Abb. 5: Auffinden der Untersuchungsregion für die Graustufenmittelwertbestimmung von Fett- und Muskelgewebe. Axiale, T1-gewichtete MRT-Aufnahme. Platzierung einer 1 cm² großen ROI in den ipsilateralen M. iliacus (grün) sowie in das subkutane Fettgewebe (rot). Innerhalb der ROIs wurden zur Bestimmung der Graustufenspannen von Fett- und Muskelgewebe die Graustufenmittelwerte sowie deren Standardabweichungen im Programm Photoshop (Adobe Systems) erfasst.

Im nächsten Schritt wurde der GM in drei gleich große Abschnitte segmentiert, in ein anteriores, ein zentrales und ein posteriores Drittel (Abb. 6). Die zuvor ermittelten Graustufenspannen dienten als Bezugssystem. In jedem Segment wurde die Summe der Pixel in der Graustufenspanne für Muskelgewebe („Muskelpixel“) als auch in der Graustufenspanne für Fettgewebe („Fettpixel“) gezählt. Der prozentuale Fettgehalt konnte anschließend für jedes GM-Segment ermittelt werden. Dieser ergab sich aus dem Quotienten von „Fettpixel“ und der Summe aus „Fettpixel“ und „Muskelpixel“ multipliziert mit 100 (Abb. 7). Der prozentuale Fettgehalt wurde in dieser Weise für jede Ebene, jedes GM-Drittel (anterior, zentral, posterior), als auch für den gesamten GM berechnet. In einem letzten Schritt wurde der Mittelwert aus den prozentualen Werten der drei Untersuchungsebenen für die drei GM-Segmente und den gesamten GM gebildet.

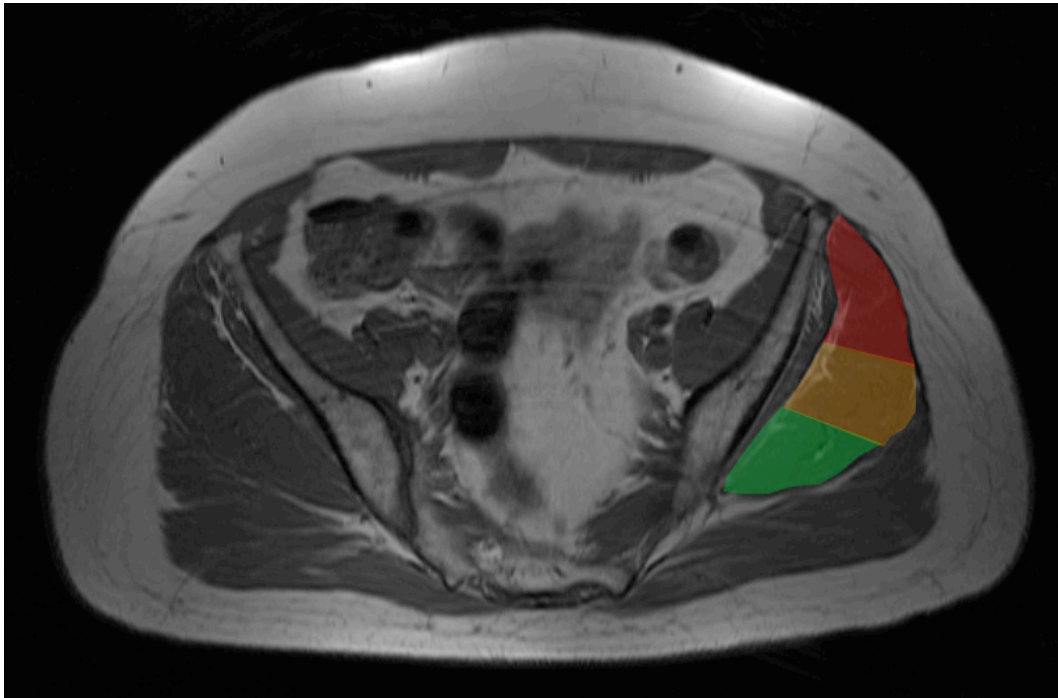


Abb. 6: Segmentierung des Musculus gluteus medius zur Graustufenanalyse. Axiale, T1-gewichtete MRT Aufnahme. Unterteilung des linken GM in ein anteriores (rot), zentrales (gelb) und posteriores (grün) Drittel.

<p>Fettgehalt in Prozent =</p> $\text{Anzahl der „Fettpixel“} / (\text{Anzahl der „Muskel-“} + \text{„Fettpixel“}) \times 100$

Abb. 7: Berechnung des prozentualen Fettgehalts des Musculus gluteus medius. Der Wert ergibt sich aus dem Quotienten aus „Fettpixeln“ und der Summe aus „Muskel-“ und „Fettpixel“ multipliziert mit 100.

Die Werte der fettigen Infiltration des GM wurden anschließend einem fünfstufigen Klassifikationssystem zugeordnet (79). Die Rangstufen wurden anhand des prozentualen Fettgewebsanteils in 25% Stufen unterteilt (Grad 0: normales Muskelgewebe; Grad 1: Fettanteil = 1% - 24,9%; Grad 2: Fettanteil = 25% - 49,9%; Grad 3: Fettanteil = 50% - 74,9%; Grad 4: Fettanteil = 75% - 100%). Die einzelnen Rangstufen der Quartile-Klassifikation sind in Abbildung 8 beispielhaft dargestellt.

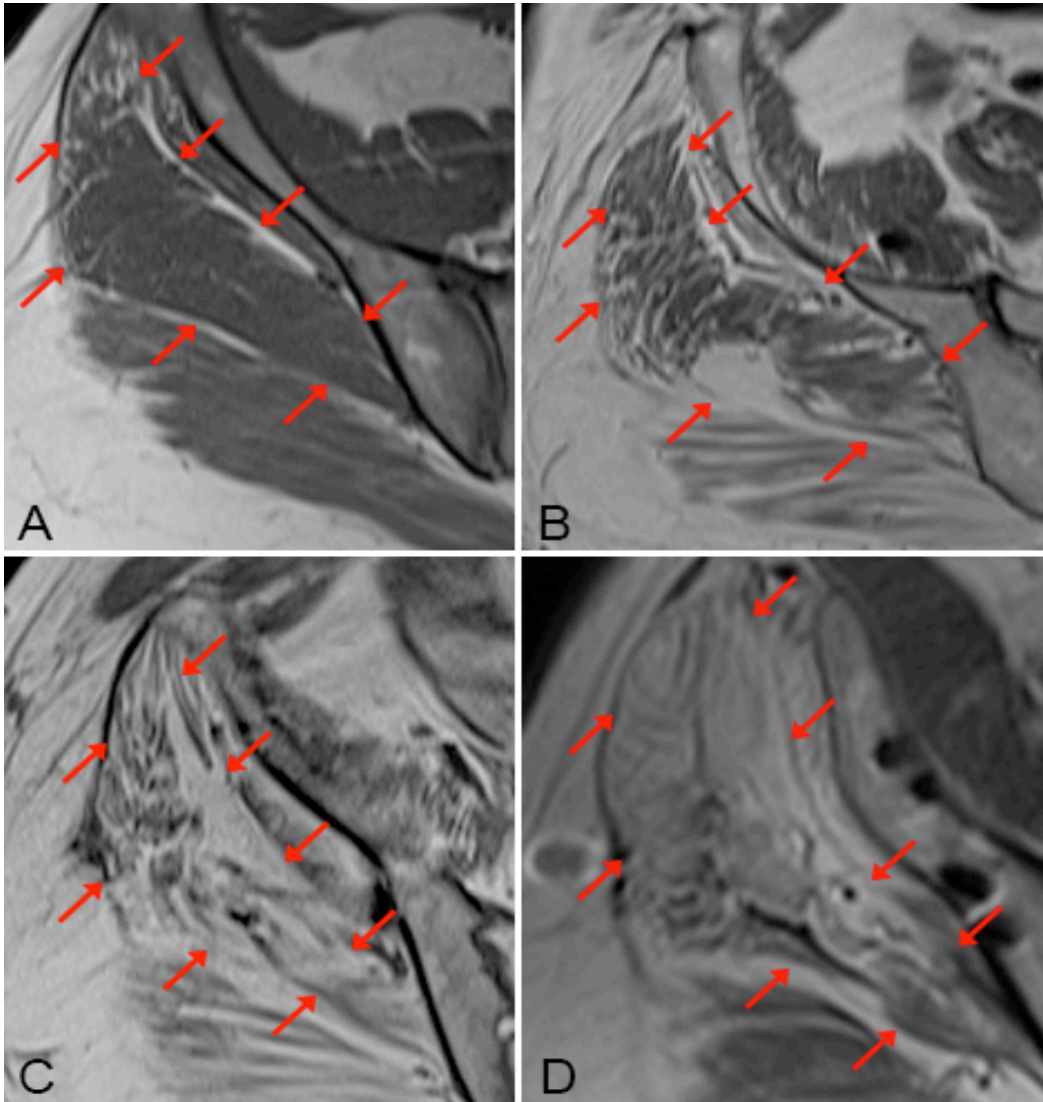


Abb. 8: Vergleich der MRT-Aufnahmen des GM von Patienten mit unterschiedlich stark degeneriertem Muskelgewebe. Axiale, T1-gewichtete MRT-Aufnahmen. Dargestellt ist jeweils der rechte GM von Patienten nach hüftendoprothetischen Eingriffen (rote Pfeile). Nach Bestimmung des Prozentwerts der degenerativen Verfettung, konnten die Aufnahmen mittels Quartile-Klassifikation folgendermaßen graduiert werden: A= Grad 1; B= Grad 2; C= Grad 3; D= Grad 4.

2.5 Sekundäre Zielparameter

Die sekundären Zielparameter waren die krankheitsspezifische Lebensqualität sowie klinische Funktionsparameter, welche jeweils präoperativ sowie sechs Monate postoperativ erhoben wurden. Die Lebensqualität wurde mit folgenden vier Messinstrumenten erfasst: 1. Harris Hip Score, 2. Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, 3. Short Form 36 Health Survey sowie 4. Visuelle Analogskala. Standardisierte Fragebögen zur Erfassung dieser vier gängigen klinischen Messinstrumente wurden angefertigt, und zusammen mit dem jeweiligen Probanden ausgefüllt. Die Fragen der Messinstrumente 1.-3. wurden durch die Probanden im

Multiple-Choice-Verfahren bearbeitet. Es konnte jeweils nur eine Antwortmöglichkeit ausgewählt werden.

2.5.1 Harris Hip Score

Der HHS wurde 1969 erstmals beschrieben und hat das damals gängige Klassifikationssystem nach Larson und Shepherd abgelöst (93). Er ist ein hüftspezifisches Instrument zur Beurteilung von Schmerz, Funktionalität, Aktivität und Bewegung im Hüftgelenk auf einer Skala von 0-100. Der Maximalwert des HHS beträgt 100 Punkte. Liegt der erreichte Wert zwischen 90-100 Punkten wird die Hüftgelenksfunktion als sehr gut bewertet, 80-89 Punkte sind Ausdruck eines guten funktionellen Ergebnisses. Punktwerte unter 70 werden als schlecht gewertet. Folgende Kriterien dienen der Erfassung des Punktwertes:

- | | |
|------------------------------------------|------------------------|
| • Anziehen von Schuhen und Strümpfen | max. 4 Punkte |
| • Treppensteigen | max. 4 Punkte |
| • Einstieg in öffentliche Verkehrsmittel | max. 1 Punkt |
| • Gehhilfen | max. 11 Punkte |
| • Laufstrecke | max. 11 Punkte |
| • Sitzfähigkeit | max. 5 Punkte |
| • Hüftschmerzen | max. 44 Punkte |
| • Hinken | max. 11 Punkte |
| • Kontraktur | max. 3 Punkte |
| • Beinlängendifferenz | max. 1 Punkt |
| • Bewegungsausmaß | max. 5 Punkte |
| Gesamtpunktzahl | max. 100 Punkte |

2.5.2 Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

Der WOMAC-Arthroseindex ist ein weit verbreiteter Fragebogen, der den Allgemeinzustand von Patienten mit Kox- und Gonarthrose beschreibt. Drei Komplexe stehen im Zentrum der Bewertung: Schmerz, Steifigkeit sowie funktionelle Fähigkeit des Gelenks. Folgendermaßen werden die 3 Komplexe bewertet:

Schmerz (Punktespanne: 0-20):

- | | |
|-----------------------|---------------|
| • Beim Gehen | max. 4 Punkte |
| • Beim Treppensteigen | max. 4 Punkte |
| • Nachts | max. 4 Punkte |

- Beim Sitzen oder Liegen max. 4 Punkte
- Beim Stehen max. 4 Punkte

Steifigkeit (Punktespanne: 0-8):

- Morgens nach dem Aufstehen max. 4 Punkte
- Später am Tag max. 4 Punkte

funktionelle Fähigkeit (Punktespanne: 0-68):

- Treppensteigen max. 8 Punkte
- Aufstehen max. 4 Punkte
- Stehen max. 4 Punkte
- Herunterbeugen max. 4 Punkte
- Gehen auf ebenem Boden max. 4 Punkte
- Einsteigen ins Auto max. 4 Punkte
- Einkaufen gehen max. 4 Punkte
- Socken anziehen/ ausziehen max. 8 Punkte
- Aus dem Bett steigen max. 4 Punkte
- Im Bett liegen max. 4 Punkte
- Badewanne ein- oder aussteigen max. 4 Punkte
- Langes Sitzen max. 4 Punkte
- Auf Toilette setzen bzw. davon aufstehen max. 4 Punkte
- Leichte/ schwere Haushaltstätigkeiten max. 8 Punkte

Gesamtpunktzahl

max. 96 Punkte

Die Punktzahl aus den drei Komplexen wird addiert. Der Maximalwert beträgt 96 Punkte. Je mehr Punkte erreicht werden, desto schlechter ist das funktionelle Ergebnis im betroffenen Gelenk.

2.5.3 Short Form 36 Health Survey

Der Short Form 36 Health Survey ist ein standardisierter Fragebogen, der die gesundheitsbezogene Lebensqualität erfasst. Er ist kein krankheitsspezifisches Messinstrument und kann somit auch außerhalb orthopädischer Evaluationen angewendet werden. 1992 wurde der SF-36 von Ware et al. (94) erstmalig beschrieben und im Laufe der Zeit von seiner ursprünglichen Version weiterentwickelt. Der Score setzt sich aus 36 Fragen zusammen. Diese sind in acht Domänen unterteilt. Jede Domäne umfasst einen Wertebereich von 100 Punkten.

Die acht Domänen des SF-36 erfragen folgende Aspekte:

- Körperliche Funktionsfähigkeit
- Körperliche Rollenfunktion
- Körperliche Schmerzen
- Allgemeine Gesundheitswahrnehmung
- Vitalität
- Soziale Funktionsfähigkeit
- Emotionale Rollenfunktion
- Psychisches Wohlbefinden

2.5.4 Visuelle Analogskala

Die visuelle Analogskala (VAS) ist eine Skala, die zur Beurteilung von subjektiven Schmerzen dient (95). Oftmals handelt es sich um eine aufgezeichnete Strecke, dessen Endpunkte „kein Schmerzen“ sowie „stärkste vorstellbare Schmerzen“ darstellen. Nachdem eine Markierung auf dieser Strecke gesetzt wurde, findet eine Quantifizierung des Ergebnisses statt. Der erhaltene Wert liegt zwischen 0 und 10, wobei 0 „kein Schmerz“ und 10 der „stärkste vorstellbare Schmerz“ ist. Der Proband kann den Zahlenwert beim Markieren nicht einsehen.

2.5.5 Klinische Funktionsprüfungen

Die klinisch-funktionelle Beurteilung erfolgte sowohl nach objektiven als auch nach subjektiven Gesichtspunkten. Ein objektives Verfahren zur Beurteilung der Hüftgelenksfunktion ist die Bestimmung des Bewegungsumfangs nach der Neutral-Null-Methode. Mit dieser Methode kann jede Bewegung bzw. Bewegungseinschränkung in Form eines dreiteiligen Index festgestellt werden. Der Index wird in Winkelgraden angegeben und umfasst die klinische Prüfung von Abduktion/ Adduktion, Innenrotation/ Außenrotation sowie Flexion und Extension im Hüftgelenk. Der mittlere Wert entspricht der Neutralstellung, welche im weitesten Sinne der anatomischen Nullstellung entspricht. Der erste und der dritte Wert beschreiben das Bewegungsausmaß in der entsprechenden Bewegungsrichtung, wobei zuerst die Auslenkung in die körperferne Richtung angegeben werden sollte (Bsp.: Flexion/ Extension = 0°/ 0°/ 120°). Des Weiteren wurde der Trochanter major Klopfschmerz, der inguinale Druckschmerz, der Pes-anserinus-Druckschmerz, der Fersenklopfschmerz, die Beinlängendifferenz sowie

die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität (pDMS) erhoben. Alle genannten Parameter sind bei der Bestimmung des HHS-Punktwerts mit eingegangen.

Zur Überprüfung der muskulären Suffizienz der Glutealmuskulatur wurde das Trendelenburg-Zeichen getestet. Der Untersucher begibt sich dazu hinter den Patienten und beurteilt dessen Fähigkeit das Becken im Einbeinstand in der waagerechten Ebene zu halten. Wenn der Patient dazu in der Lage war, fiel das Trendelenburg-Zeichen „negativ“, ansonsten „positiv“ aus (96). Zusätzlich wurde die Ausprägung des Hinkens auf einer Gehstrecke von 10 m bewertet. Dabei wurde das Schrittmaß, die Doppelstandphase, die Standphase des gesunden Beins, die Rumpf- und Kopfbewegung sowie die Schrittrhythmik beurteilt. Wurde das Gangbild vom Untersucher als asymmetrisch bzw. unharmonisch beschrieben, galt die Untersuchung des Hinkverhaltens als „positiv“, ansonsten als „negativ“ (97).

2.6 Kovariablen

Im ersten Schritt wurden anhand der Anamnese die folgenden Patienteneigenschaften ermittelt: Alter, Geschlecht sowie Body-Mass-Index (BMI). Der BMI ergibt sich aus dem Quotienten Körpergewicht (G) in Kilogramm (kg) und Körpergröße (l) in Meter (m) zum Quadrat:

$$\text{BMI} = G/l^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Haupt- und Nebendiagnosen sind ebenfalls dokumentiert worden. In der Revisionsgruppe wurde bei den Hauptdiagnosen zwischen aseptischer Pfannenlockerung, aseptischer Schaftlockerung und aseptischer HTEP-Lockerung, in der Primärgruppe zwischen primärer und sekundärer Koxarthrose unterschieden. Zur Bestimmung der Komorbidität sind der ASA-Score (American Society of Anesthesiologists) und die medizinischen sowie die muskuloskeletalen Nebenerkrankungen erfasst worden. Die ASA-Klassifikation, welche 1961 von Dripps et al. erstmals erwähnt wurde (98), ist ein Graduierungssystem, mit dem der präoperative Gesundheitsstatus von Patienten beschrieben wird. Die Einteilung erfolgt in fünf verschiedenen Klassen (Tab. 4).

Definition	ASA
Normal gesunder Patient	I
Patient mit leichter Allgemeinerkrankung	II
Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung und Leistungsminderung	III
Patient mit inaktivierender Allgemeinerkrankung, ständige Lebensbedrohung	IV
Moribunder Patient, Prognose innerhalb der nächsten 24 Stunden infaust	V

Tab. 4: Klassifikation der American Society of Anesthesiologists. Alle Patienten dieser Studie wurden von einem Anästhesisten in der Prämedikations-Visite entsprechend der vorliegenden Klassifikation eingeteilt.

2.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Patientendaten erfolgte mit SPSS (Version 20; SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Um einen Vergleich zwischen operativer Intervention und klinischem Ergebnis zu erhalten, wurden der Mittelwert (M) \pm Standardabweichungen (SD) für jedes klinische Messinstrument beschrieben. Die Irrtumswahrscheinlichkeit von ordinal- bzw. intervallskalierten Variablen wurde mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige, nicht parametrisch verteilte Stichproben berechnet. Bei nominalskalierten Variablen (Geschlecht, Trendelenburg-Zeichen, Hinken, Komorbiditäten) wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet. Intraindividuelle Ergebnisvergleiche sind mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für abhängige, nicht parametrisch verteilte Stichproben analysiert worden. Für die Berechnungen wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 angenommen.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Patientendaten

Es wurden 45 Patienten für die vorliegende klinische Studie eingeschlossen. Von den Patienten der Primärgruppe hatten zehn eine primäre Koxarthrose und fünf Patienten eine sekundäre Koxarthrose. In der Revisionsgruppe wurden acht Patienten aufgrund einer totalen aseptischen HTEP-Lockerung, 16 aufgrund einer aseptischen Pfannenlockerung und sechs aufgrund einer aseptischen Schafflockerung revidiert.

Die Altersspanne des untersuchten Patientenkollektivs umfasste einen Bereich von 33 bis 84 Jahren. Der Anteil an über 65-jährigen Probanden betrug in der Primärgruppe 46,7% und in der Revisionsgruppe 73,3%. Patienten in der Revisionsgruppe waren im Durchschnitt älter als in der Primärgruppe (Tab. 5). Das Durchschnittsalter in der Erstrevisionsgruppe lag bei 68 Jahren und in der Mehrfachrevisionsgruppe bei 69 Jahren. Die Altersverteilung des Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der Operation ist in Abbildung 9 dargestellt.

In der Primärgruppe waren 40% der Patienten männlich und 60% der Patienten weiblich. In der Revisionsgruppe lag das Geschlechterverhältnis von Mann zu Frau bei 1:1,7. Die Erstrevisionsgruppe wurde von zehn Frauen und fünf Männer, die Mehrfachrevisionsgruppe von neun Frauen und sechs Männer gebildet. Ein signifikanter Unterschied zwischen chirurgischer Intervention und Geschlecht konnte nicht ausgemacht werden (Tab. 5).

In der Primärgruppe lag der BMI im Durchschnitt um $1,3 \text{ kg/m}^2$ höher als in der Revisionsgruppe. Dieser lag in der Primärgruppe bei $27,9 \text{ kg/m}^2$, in der Erstrevisionsgruppe bei $26,5 \text{ kg/m}^2$ und in der Mehrfachrevisionsgruppe bei $26,7 \text{ kg/m}^2$. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen konnte nicht festgestellt werden (Tab. 5). Über 50% der Patienten wiesen einen BMI von mehr als 25 kg/m^2 auf. In der Primärgruppe lag der Anteil an Übergewichtigen und Adipösen bei 60% und in der Revisionsgruppe bei 63,4% (siehe Tab. 6).

Hinsichtlich der ASA-Klassifikation erreichten die Patienten der Revisionsgruppe im Durchschnitt höhere Werte. Ein Drittel der Patienten waren ASA III und höher. In der Primärgruppe wurden 13,3% der Patienten als ASA III und ASA IV eingestuft. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen konnte nicht festgestellt werden (Tab. 5).

Die Operationsdauer war in der Revisionsgruppe signifikant länger als in der Primärgruppe. Die Revisionseingriffe am Hüftgelenk dauerten im Durchschnitt 33 min länger als die primäre HTEP-Implantation. Die kürzeste OP-Zeit lag in der Revisionsgruppe bei 72 Minuten und in der Primärgruppe bei 60 Minuten (Tab. 5).

	Primärgruppe	Revisionsgruppe	p-Wert
Alter in Jahren (\pm SD)	62,9 \pm 7,9	68,0 \pm 12,1	0,045*
Geschlecht (m/w)	6/9	11/19	0,828 [#]
BMI (\pm SD) in kg/m ²	27,9 \pm 4,2	26,6 \pm 3,6	0,264*
< 30 (%)	9 (60,0)	25 (83,3)	0,086 [#]
\geq 30 (%)	6 (40,0)	5 (16,7)	
ASA-Score			
1-2 (%)	13 (86,7)	20 (66,7)	0,153 [#]
3-4 (%)	2 (13,3)	10 (33,3)	
OP-Zeit in Minuten	85	118	< 0,001*

Tab. 5: Vergleich der Patienteneigenschaften zwischen der Primärgruppe und Revisionsgruppe. Hinsichtlich Alter und OP-Zeit wies die Revisionsgruppe signifikant höhere Werte auf.* Mann-Whitney-U
[#]Chi-Quadrat-Test

	Primärgruppe	Revisionsgruppe
Untergewicht	6,7%	6,7%
Normalgewicht	33,3%	29,9%
Übergewicht	20,0%	46,7%
Adipositas	40,0%	16,7%

Tab. 6: BMI-Verteilung innerhalb der Primärgruppe und Revisionsgruppe in Prozent.

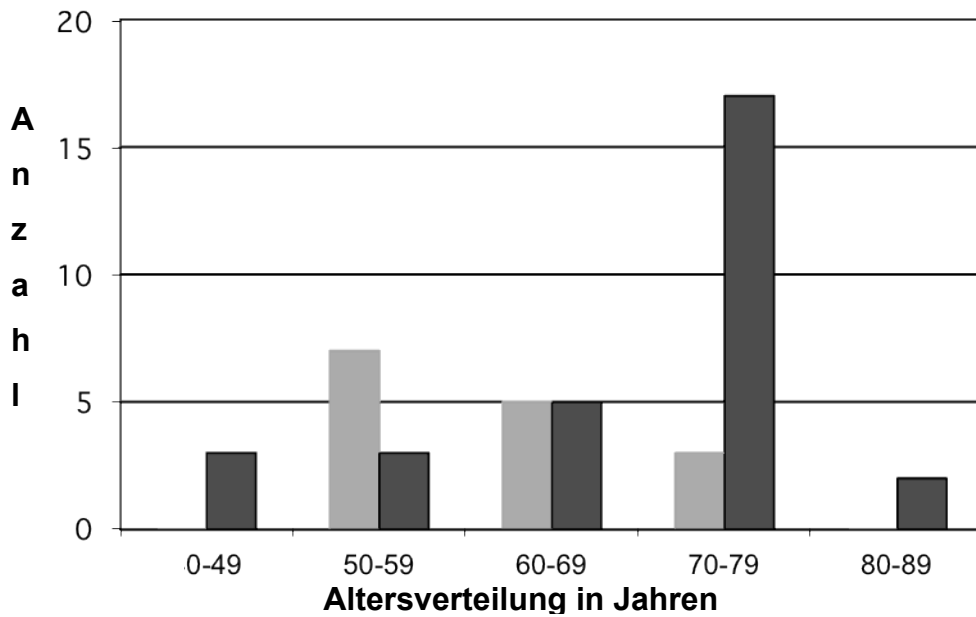


Abb. 9: Altersverteilung in der Primärgruppe und Revisionsgruppe zum Zeitpunkt der Operation. Balkendiagramm. Während in der Primärgruppe (graue Balken) der Großteil der Patienten in der Altersspanne 50-59 Jahren vertreten ist, liegt die Mehrheit des Patientenkollektivs der Revisionsgruppe (schwarze Balken) in der Altersspanne 70-79 Jahren.

3.2 Klinische Parameter

Sowohl in der Primär- als auch in der Revisionsgruppe fanden sich statistisch signifikante Verbesserungen vom HHS, WOMAC und VAS nach sechs Monaten. Hinsichtlich des SF-36-Index wiesen beide Gruppen unterschiedliche Ergebnisse auf. Während die Primärgruppe in acht von acht Domänen signifikante Verbesserungen erlangte, konnte die Revisionsgruppe in zwei von acht Domänen signifikante Verbesserungen erzielen. Bei der Überprüfung des Gangbildes wies die Primärgruppe im Unterschied zur Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ signifikant seltener ein hinkendes Gangbild als präoperativ auf. Das Auftreten eines positiven Trendelenburg-Zeichens war in beiden Gruppen postoperativ nicht signifikant verändert im Vergleich zur präoperativen Situation (Tab. 7).

Score		Primärgruppe	Revisionsgruppe
HHS*		0,001	0,001
WOMAC*		0,001	0,001
VAS*		0,001	0,001
SF-36*	Körperliche Funktionsfähigkeit	0,017	0,647
	Körperliche Rollenfunktion	0,001	0,001
	Körperliche Schmerzen	0,001	0,207
	Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	0,023	0,449
	Vitalität	0,001	0,264
	Soziale Funktionsfähigkeit	0,004	0,736
	Emotionale Rollenfunktion	0,002	0,553
	Psychisches Wohlbefinden	0,001	0,034
Trendelenburg-Zeichen [#]		0,624	0,149
Hinkverhalten [#]		0,003	0,166

Tab. 7: Intraindividueller Ergebnisvergleich zwischen den präoperativen und postoperativen klinischen Funktionsparametern in der Primärgruppe und Revisionsgruppe. Dargestellt sind die p-Werte, die mittels Wilcoxon-Test (*) und Chi-Quadrat-Test (#) berechnet sind.

3.2.1 Präoperative Parameter

Weder im HHS, noch im WOMAC, noch im VAS zeigten die Patientengruppen präoperativ einen signifikanten Unterschied. Beim Vergleich des SF-36 war bei sieben von acht Domänen präoperativ kein Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen auszumachen (körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion sowie psychisches Wohlbefinden). Bezüglich der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung konnte die Primärgruppe signifikant höhere Werte als die Revisionsgruppe erzielen (Tab. 8).

Score		Primärgruppe	Revisionsgruppe	p-Wert*
HHS		49,3 ± 9,8	52,2 ± 21,3	0,810
WOMAC		48,7 ± 15,2	43,8 ± 22,2	0,588
VAS		6,8 ± 1,8	5,5 ± 2,8	0,200
SF-36	Körperliche Funktionsfähigkeit	44,1 ± 16,0	37,3 ± 25,2	0,148
	Körperliche Rollenfunktion	39,7 ± 21,1	45,8 ± 28,0	0,990
	Körperliche Schmerzen	32,1 ± 12,9	39,6 ± 21,3	0,311
	Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	73,4 ± 9,4	49,4 ± 17,4	0,001
	Vitalität	38,5 ± 11,8	46,2 ± 20,5	0,289
	Soziale Funktionsfähigkeit	63,0 ± 24,3	68,0 ± 24,4	0,469
	Emotionale Rollenfunktion	50,2 ± 20,1	66,5 ± 27,5	0,072
	Psychisches Wohlbefinden	53,8 ± 14,7	58,4 ± 16,7	0,277

Tab. 8: Vergleich der klinischen Funktionsparameter zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe ein Tag präoperativ. Dargestellt sind $M \pm SD$. *Mann-Whitney-U-Test

Die Primärgruppe zeigte präoperativ signifikant bessere Ergebnisse im Trendelenburg-Test als die Revisionsgruppe ($p = 0,028$). Während in der Primärgruppe zwei von 15 Patienten (13%) ein positives Trendelenburg-Zeichen aufwiesen, war dieses in der Revisionsgruppe bei nahezu jedem zweiten Probanden positiv (46,7%). Das Hinkverhalten in den Gruppen unterschied sich präoperativ nicht signifikant (Tab. 9).

Test		Primärgruppe	Revisionsgruppe	p-Wert*
Trendelenburg-Zeichen	negativ	13 (86,7%)	16 (53,3%)	0,028
	positiv	2 (13,3%)	14 (46,7%)	
Hinkverhalten	negativ	3 (20,0%)	3 (10,0%)	0,352
	positiv	12 (80,0%)	27 (90,0%)	

Tab. 9: Vergleich des Trendelenburg-Tests und Hinkverhaltens zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe ein Tag präoperativ. Während in der Revisionsgruppe das Trendelenburg-Zeichen signifikant häufiger auftrat, war ein hinkendes Gangbild in beiden Gruppen ähnlich häufig vertreten. *Chi-Quadrat-Test

3.2.2 Postoperative Parameter

Im HHS wies die Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ signifikant niedrigere Werte als die Primärgruppe auf. Der Mittelwertunterschied lag bei 15,9 Punkten. Der Punktwert im WOMAC war in der Revisionsgruppe um 15,5 Punkte höher als in der Primärgruppe ($p = 0,005$). Patienten in der Primärgruppe hatten postoperativ in der VAS einen niedrigeren Schmerzwert angegeben. Des Weiteren waren die Punktwerte der Revisionsgruppe in allen acht Domänen des SF-36 stets niedriger als die der Primärgruppe. In folgenden Domänen stellte sich dieser Unterschied als signifikant heraus: körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen sowie soziale Funktionsfähigkeit (Tab. 10).

Score		Primärgruppe	Revisionsgruppe	p-Wert*
HHS		84,8 ± 14,4	68,9 ± 19,2	0,010
WOMAC		14,1 ± 10,5	29,6 ± 19,0	0,005
VAS		1,3 ± 1,3	2,4 ± 2,5	0,192
SF-36	Körperliche Funktionsfähigkeit	59,7 ± 19,0	40,0 ± 28,1	0,021
	Körperliche Rollenfunktion	91,0 ± 11,5	16,7 ± 31,7	0,001
	Körperliche Schmerzen	80,4 ± 21,7	48,3 ± 28,1	0,001
	Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	61,8 ± 20,1	52,1 ± 19,8	0,148
	Vitalität	65,0 ± 15,8	51,8 ± 21,6	0,053
	Soziale Funktionsfähigkeit	92,7 ± 14,0	69,6 ± 30,2	0,009
	Emotionale Rollenfunktion	88,6 ± 15,1	61,1 ± 44,7	0,155
	Psychisches Wohlbefinden	78,1 ± 16,3	68,3 ± 21,8	0,173

Tab. 10: Vergleich der klinischen Funktionsparameter zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ. Dargestellt sind Mittelwerte ± Standardabweichung. Patienten der Revisionsgruppe wiesen stets schlechtere Ergebnisse auf, die sich zum Großteil als signifikant darstellen ließen. *Mann-Whitney-U-Test

Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde auch bei den funktionellen Testverfahren (Trendelenburg-Test sowie Untersuchung des Hinkverhaltens) festgestellt. Dabei trat postoperativ signifikant häufiger ein positives Trendelenburg-Zeichen sowie ein hinkendes Gangbild in der Revisionsgruppe auf. In der Primärgruppe stieg der Anteil der Patienten mit positivem Trendelenburg-Zeichen von präoperativ 13,3% auf

postoperativ 20%. In der Revisionsgruppe stieg der Anteil von Patienten mit positivem Trendelenburg-Zeichen von präoperativ 46,7% auf postoperativ 63,3%. Das Auftreten eines hinkenden Gangbildes war sechs Monate postoperativ im Vergleich zur präoperativen Situation in beiden Gruppen geringer. In der Primärgruppe fiel der Anteil an Patienten mit hinkendem Gangbild postoperativ um 53,3% und in der Revisionsgruppe um 13,3%. Bei sechs der 30 Probanden der Revisionsgruppe wurde das Hinken postoperativ als „stark ausgeprägt“ bewertet (Tab. 11).

Test		Primärgruppe	Revisionsgruppe	p-Wert*
Trendelenburg-Zeichen	negativ	12 (80,0%)	11 (36,7%)	0,006
	positiv	3 (20,0%)	19 (63,3%)	
Hinkverhalten	negativ	11 (73,3%)	7 (23,3%)	0,001
	positiv	4 (26,7%)	23 (76,7%)	

Tab. 11: Vergleich des Trendelenburg-Tests und Hinkverhaltens zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ. Im Unterschied zur präoperativen Situation wies die Revisionsgruppe sowohl im Trendelenburg-Test, als auch in der Untersuchung des Hinkverhaltens signifikant häufiger ein positives Ergebnis auf. *Chi-Quadrat-Test

In der Primärgruppe war sechs Monate postoperativ ein niedriger ASA-Score mit einem signifikant höheren HHS assoziiert. In Bezug auf Alter, Geschlecht, Trendelenburg-Zeichen sowie Hinken konnten keine Assoziation zum HHS aufgezeigt werden. In der Revisionsgruppe zeigten das Trendelenburg-Zeichen sowie das hinkende Gangbild eine Assoziation zum HHS (Tab. 12).

	HHS Primärgruppe	HHS Revisionsgruppe
Alter in Jahren <70 vs. >70	0,536*	0,801*
Geschlecht Mann vs. Frau	0,955*	0,800*
Trendelenburg-Zeichen positiv vs. negativ	0,571*	0,023*
Hinkverhalten positiv vs. negativ	0,365*	0,003*
ASA 1-2 vs. 3-4	0,038*	0,350*

Tab. 12: Assoziation zwischen Patienteneigenschaften und mittlerem HHS in der Primär- und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ. *Mann-Whitney-U-Test

3.3 Degeneration des Musculus gluteus medius

Die mittlere fettige Degeneration des M. gluteus medius stieg in der gesamten Revisionsgruppe von 26,7% (SD: \pm 25,7%) präoperativ auf 34,4% (SD: \pm 27,6%) postoperativ ($p = 0,001$). Der Anteil der fettigen Degeneration war im anterioren Drittel postoperativ am stärksten ausgeprägt (Abb. 10).

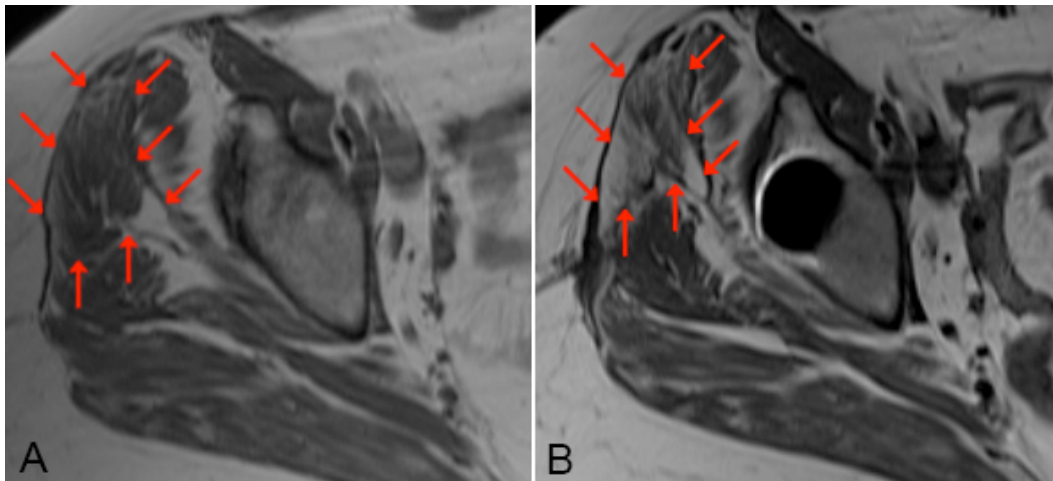


Abb. 10: Axiale MRT-Aufnahme des Musculus gluteus medius einer 75-jährigen Patientin vor (A) und sechs Monate nach (B) einer Erstrevisionsoperation am Hüftgelenk. Es ist zu erkennen, dass besonders im anterioren GM-Drittel (rote Pfeile) eine ausgeprägte Zunahme der fettigen Degeneration aufgetreten ist.

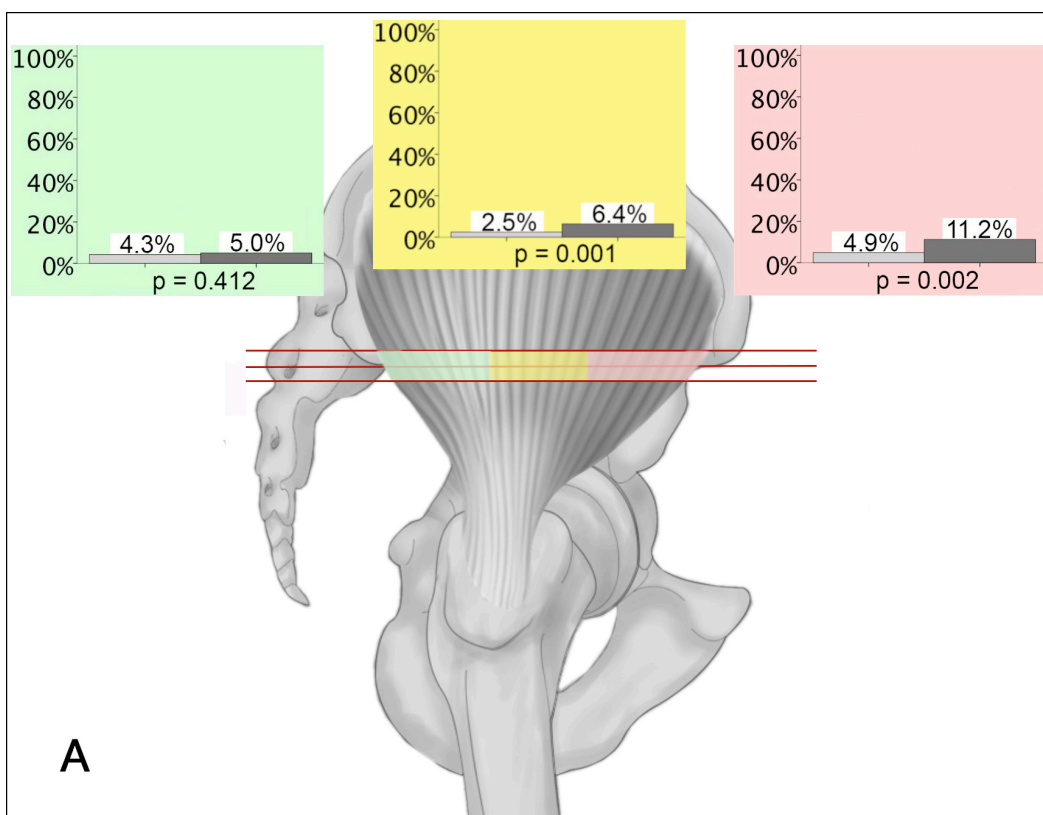
Das anteriore und zentrale GM-Drittel zeigten in der gesamten Revisionsgruppe postoperativ einen signifikanten Anstieg der fettigen Degeneration, wohingegen im posterioren Drittel keine Veränderungen zu verzeichnen waren (Tab 13).

Segment	Revisionsgruppe		p-Wert*
	präOP	postOP	
anterior	33,2%	50,7%	< 0,001
zentral	24,0%	32,8%	0,001
posterior	25,2%	26,6%	0,233

Tab. 13: Darstellung der prozentualen Mittelwerte der fettigen Degeneration im anterioren, zentralen und posterioren GM-Drittel präoperativ und sechs Monate postoperativ in der Revisionsgruppe. *Wilcoxon-Test

Sowohl in der Primärgruppe, als auch Gruppe mit Einfach- und Mehrfachrevisionseingriffen war die fettige Degeneration des gesamten GM sechs Monate postoperativ signifikant stärker ausgeprägt als präoperativ. Die signifikante

Zunahme beschränkte sich dabei in allen drei Gruppen auf das anteriore und zentrale GM-Drittel, wohingegen im posterioren Drittel keine Veränderungen zu erkennen waren. Die degenerative Verfettung des GM in der Primärgruppe nahm von 4,0% (SD: \pm 2,65%) präoperativ auf 7,8% (SD: \pm 5,15%) postoperativ zu ($p = 0,001$). In der Erstrevisionsgruppe stieg die fettige Degeneration des Musculus gluteus medius insgesamt von 18,2% (SD: \pm 20,1%) präoperativ auf 25,9% (SD: \pm 26,8%) postoperativ an ($p = 0,006$). Die Mehrfachrevisionsgruppe wies einen Anstieg der fettigen Degeneration des Musculus gluteus medius von insgesamt 38,7% (SD: \pm 28,7%) präoperativ auf 45,5% (SD: \pm 25,63) postoperativ auf ($p = 0,041$). Die Verteilung der degenerativen Verfettung in den untersuchten Gruppen ist in Abbildung 11 dargestellt.



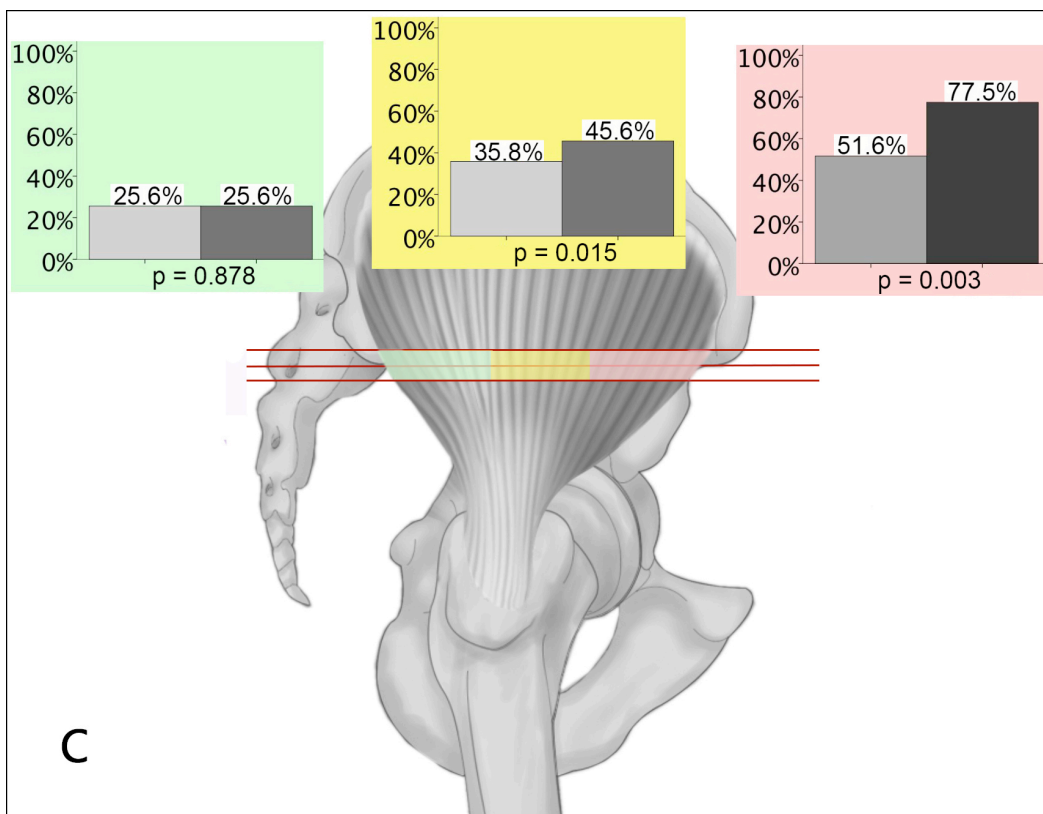
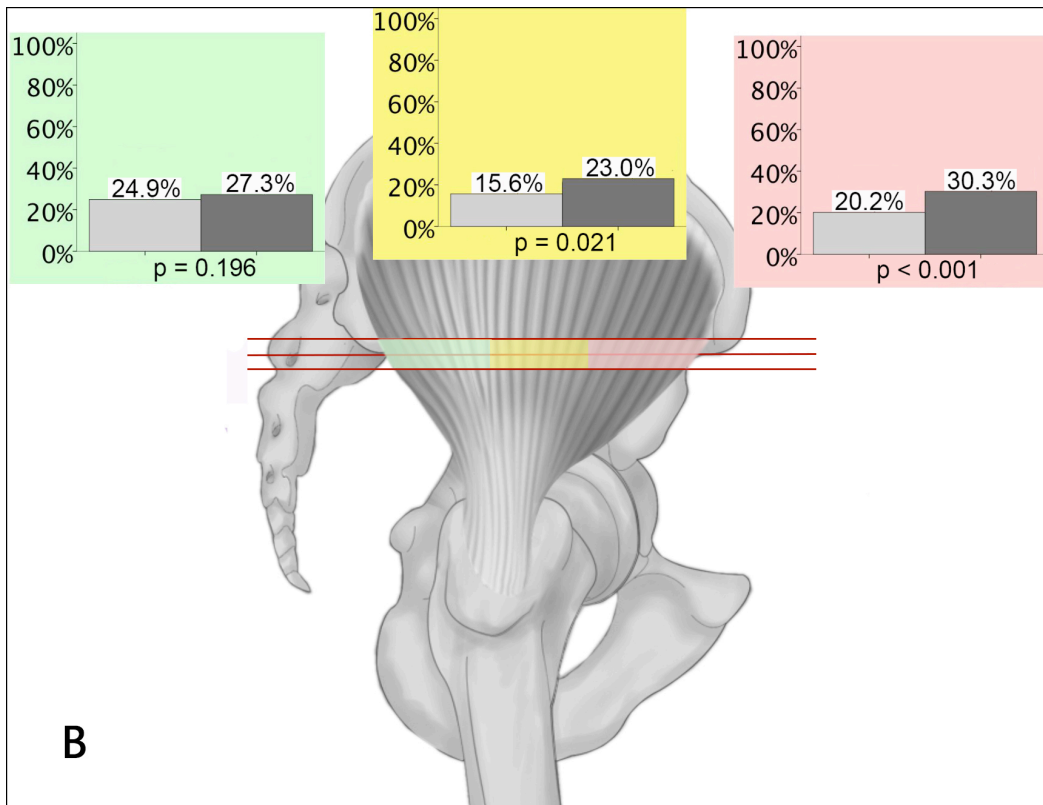


Abb. 11: Schematische Darstellung der fettigen Degeneration des GM in der Primärgruppe (A), Erstrevisionsgruppe (B) sowie Mehrfachrevisionsgruppe (C). Die drei roten Linien stellen die Untersuchungsebenen des GM dar. Die Ergebnisse des prozentualen Fettgehalts sind im anterioren (rot), zentralen (gelb) und posterioren Drittel (grün) dargestellt. Graue Balken repräsentieren den präoperativen Zustand, schwarze Balken stellen den postoperativen Zustand dar. Die p-Werte wurden mit dem Wilcoxon-Test berechnet (99).

Im Vergleich der Erstrevisionsgruppe und der Mehrfachrevisionsgruppe hinsichtlich der fettigen Degeneration des GM sechs Monate postoperativ war das Ausmaß der Schädigung in der Mehrfachrevisionsgruppe insgesamt signifikant größer. Der Muskelschaden in den beiden Gruppen unterschied sich hoch signifikant im anterioren sowie signifikant im zentralen Muskeldrittel. Im posterioren Drittel konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden (Tab. 14).

Segment	Erstrevisionsgruppe	Mehrfachrevisionsgruppe	*p-Wert
anterior	30,3%	77,5%	< 0,001
zentral	23,0%	45,6%	0,017
posterior	27,3%	25,6%	0,948
gesamt	25,9%	45,5%	0,031

Tab. 14: Vergleich der fettigen Degeneration in der Erstrevisions- und Mehrfachrevisionsgruppe sechs Monate postoperativ. Die Mehrfachrevisionsgruppe wies im anterioren und im zentralen GM-Drittel sowie im gesamten GM signifikant höhere Werte auf. *Mann-Whitney-U-Test

Die mittlere postoperative Zunahme der fettigen Degeneration des GM in der Primär- und Revisionsgruppe ist in Tabelle 15 dargestellt. Patienten der Revisionsgruppe wiesen in allen drei Muskeldritteln sowie im gesamten GM eine höhere postoperative Zunahme der fettigen Degeneration als die Primärgruppe auf. Die Zunahme stellte sich im anterioren Drittel als statistisch signifikant heraus. Der Höchstwert der postoperativen Zunahme der fettigen Degeneration des gesamten GM lag in der in der Primärgruppe bei 14,7%, in der Erstrevisions- bei 17,4% und in der Mehrfachrevisionsgruppe bei 21,3%.

	Musculus gluteus medius		
	Primärgruppe	Revisionsgruppe	*p-Wert
d fettige Degeneration (Differenz) 6 Monate postOP zu präOP in Prozent			
anterior	6,1 ± 10,9	16,0 ± 16,1	0,028
zentral	3,5 ± 4,1	7,8 ± 14,6	0,400
posterior	0,2 ± 6,0	2,4 ± 13,3	0,470
gesamt	3,4 ± 4,1	7,2 ± 11,0	0,240

Tab. 15: Postoperative Zunahme der fettigen Degeneration in der Primär- und Revisionsgruppe.
*Mann-Whitney-U-Test

Tabelle 16 stellt die fettige Degeneration des anterioren GM-Drittels unter Anwendung des Quartile-Klassifikationssystems in beiden Gruppen dar. In der Primärgruppe lag präoperativ die Anzahl der Patienten mit Quartile-Grad ≤ 1 bei 15 (100%). Postoperativ lag ein Patient bei Quartile-Grad 2 (6,7%) und 14 (93,3%) Patienten bei Quartile-Grad ≤ 1 . Insgesamt konnten zwei Patienten sechs Monate postoperativ eine höhere Rangstufe erzielen. Unter Anwendung der Quartile-Klassifikation konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem präoperativen und postoperativen Muskelstatus gezeigt werden ($p = 0,513$). In der Revisionsgruppe stieg die Anzahl der Patienten mit Quartile-Grad ≥ 3 von zehn Patienten präoperativ (33,3%) auf 16 Patienten postoperativ (53,3%). Postoperativ stiegen zwölf von 30 Patienten (40%) um eine Rangstufe in der Quartile-Klassifikation auf. Drei Patienten (10%) wiesen einen Anstieg von zwei Quartile-Rangstufen auf. Patienten der Revisionsgruppe zeigten postoperativ signifikant höhere Rangstufen in der Quartile-Klassifikation ($p < 0,001$).

Quartile-Grad	0	1	2	3	4
Primärgruppe					
präOP	2	13	0	0	0
postOP	1	13	1	0	0
*p-Wert	0,513				
Revisionsgruppe					
präOP	2	13	5	8	2
postOP	1	8	5	7	9
*p-Wert	<0,001				

Tab. 16: Degenerative Verfettung des anterioren Musculus gluteus medius Drittels unter Anwendung der Quartile-Klassifikation. Lediglich die Revisionsgruppe wies postoperativ eine signifikant höhere fettige Degeneration des anterioren GM-Drittels unter Anwendung der Quartile-Klassifikation auf. *Chi-Quadrat-Test

Das Trendelenburg-Zeichen trat signifikant häufiger bei Patienten mit ausgeprägter fettigen Degeneration des gesamten GM (81,3%), als bei Patienten mit geringer fettigen Degeneration (31,0%) auf (Tab. 17).

Trendelenburg-Zeichen	geringe fettige Degeneration	ausgeprägte fettige Degeneration	*p-Wert
	(0 - 1) n = 29	(2 - 4) n = 16	
negativ	20	3	0,001
positiv	9	13	

Tab. 17: Auftreten des Trendelenburg-Zeichens bei Patienten mit geringer (Quartile-Grad 0 - 1) sowie ausgeprägter (Quartile-Grad 2 - 4) fettigen Degeneration des GM sechs Monate postoperativ.

*Chi-Quadrat-Test

4 Diskussion

4.1 Allgemeine Patientendaten

Das Durchschnittsalter lag zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme in der Primärgruppe bei 63 Jahren sowie in der Revisionsgruppe bei 68 Jahren und entsprach den Altersdurchschnitten vergleichbarer Studienpopulationen (21, 100, 101). Der Altersunterschied zwischen den beiden Patientengruppen wurde in der Literatur bestätigt (21).

Das Geschlechter-Verhältnis lag in der Revisionsgruppe bei 1:1,7. Einen ähnlich hohen Frauenanteil in einem Revisionspatientenkollektiv konnten 2014 Khatod et al. feststellen (102). In einer retrospektiven Studie mit 1693 Patienten nach primärer HTEP-Implantation konnten sie zeigen, dass Frauen innerhalb eines Zeitraums von neun Jahren ein signifikant höheres Risiko für eine aseptische HTEP-Lockerung besitzen als Männer und das Mann-zu-Frau-Verhältnis demnach deutlich auf der Seite der Frauen lag (1:1,8). Sie führten das höhere Revisionsrisiko für Frauen auf eine durchschnittlich kleinere Implantatgröße zurück, die bei weiblichen Patienten verwendet wurde.

Hinsichtlich des BMI und des ASA-Scores zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Primär- und Revisionsgruppe. Lübbecke et al. konnten in einer prospektiven Studie demonstrieren, dass Patienten, die sich einer Revisionsoperation am Hüftgelenk unterzogen haben, älter und übergewichtiger waren, einen höheren ASA-Score erzielten, mehr Nebenerkrankungen und muskuloskeletale Erkrankungen aufwiesen als Patienten, die sich einer primären HTEP-Implantation unterzogen (21). Höhere ASA-Scores traten in der Revisionsgruppe ebenfalls häufiger auf. Der BMI war in der Primärgruppe sogar höher ($27,9 \text{ kg/m}^2$) als in der Revisionsgruppe ($26,6 \text{ kg/m}^2$). Die Unterschiede in den Ergebnissen sind vermutlich auf die relativ geringe Fallzahl ($n = 45$) im Vergleich zu Lübbecke et al. ($n = 551$) zurückzuführen.

4.2 Klinische Parameter

In der Studie konnten sowohl in der Revisions- als auch in der Primärgruppe sechs Monate postoperativ signifikante Verbesserungen im HHS, im WOMAC und in der VAS erzielt werden. Es existiert eine Vielzahl an Methoden, welche zur Schmerzmessung und Beurteilung der Lauffähigkeit entwickelt wurden (103-105). Unabhängig der verwendeten Methodik konnten nahezu alle Studien von einer eindeutigen

Verbesserung des Schmerzempfinden sowie der Lauffähigkeit bei Patienten berichten, die sich einem hüftendoprothetischen Eingriff unterzogen haben.

4.2.1 Präoperative Parameter

Präoperativ wiesen die Patientengruppen keine Unterschiede in Bezug auf den HHS, WOMAC, die VAS sowie in sieben von acht Domänen des SF-36 auf. Lediglich in der Domäne der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung ($p = 0,001$) offenbarten die Patienten der Revisionsgruppe präoperativ signifikant schlechtere Werte. Die präoperativen Mittelwerte des HHS, des WOMAC, der VAS sowie des SF-36 waren sowohl in der Revisionsgruppe (106-108) als auch in der Primärgruppe (26, 101, 106, 109, 110) mit den Angaben in der Literatur vergleichbar. Die oben genannten Unterschiede in der einen Domäne des SF-36 (allgemeine Gesundheitswahrnehmung) lassen sich möglicherweise durch den deutlich längeren Krankheitsverlauf und die damit einhergehende Vielzahl an Arztbesuchen erklären.

Hinsichtlich des Hinkverhaltens ergab sich präoperativ kein Unterschied und war in der Revisionsgruppe in 90% und in der Primärgruppe in 80% der Fälle „positiv“. Da präoperativ die schmerzbedingte Schonhaltung einen entscheidenden Einfluss auf die Beurteilung des Hinkverhaltens nimmt, sind Rückschlüsse auf funktionelle Veränderungen der Muskulatur zwischen den beiden Untersuchungsgruppen erschwert. Schuh et al. konnten an einem Patientenkollektiv, was sich einer Revisionsoperation am Hüftgelenk unterzogen hat, bei 26 von 45 Patienten (58%) ein positives Trendelenburg-Zeichen präoperativ ermitteln und lagen damit 11% über dem Ergebnis der Revisionsgruppe unserer Studie (111). Die schlechteren Ergebnisse der Revisionsgruppe im Vergleich zur Primärgruppe lassen den Rückschluss zu, dass die muskuläre Leistungsfähigkeit der Glutealmuskulatur nach hüftendoprothetischer Versorgung deutlich vermindert ist.

4.2.2 Postoperative Parameter

4.2.2.1 Harris Hip Score

Die Revisionsgruppe erzielte sechs Monate postoperativ im HHS signifikant schlechtere Ergebnisse als die Primärgruppe ($p = 0,010$). Die postoperativen Mittelwerte des HSS bestätigten sowohl in der Revisionsgruppe (106, 107) als auch in der Primärgruppe (21, 110) bisherige Ergebnisse vergleichbarer Studien. Katz et al. untersuchten in einer bevölkerungsbezogenen Kohortenstudie die Patientenzufriedenheit sowie den HHS bei

elektiven Primär- sowie Revisionseingriffen am Hüftgelenk drei Jahre postoperativ (112). Sie berichteten über 21% schlechte Ergebnisse (HHS < 70) nach Primäreingriffen (20% in unserer Studie) und 43% nach Revisionseingriffen (43% in unserer Studie) am Hüftgelenk und schlussfolgerten, dass die Funktionalität, Aktivität und Bewegung im Hüftgelenk nach einem Revisionseingriff deutlich schlechter als nach einer Primärimplantation der HTEP ist.

4.2.2.2 Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index und Visuelle Analogskala

Die Patienten der Revisionsgruppe wiesen schlechtere Ergebnisse im WOMAC ($p = 0,005$) sowie in der VAS ($p = 0,192$) auf. Lübbecke et al. konnten in einer prospektiven Kohortenstudie feststellen, dass die Revisionsgruppe hinsichtlich der subjektiven Schmerzempfindung sowie des WOMAC-Scores deutlich schlechtere Ergebnisse als die Primärgruppe erzielte (21). Sie verglichen dazu eine Primärgruppe, die 435 Patienten umfasste, mit einer Revisionsgruppe, die 116 Patienten umfasste, fünf Jahre postoperativ. Patienten mit einer Revisionsoperation am Hüftgelenk erzielten postoperativ eine 1,1 Punkte höhere Schmerzempfindung (1,1 Punkte Differenz in unserer Studie) sowie einen 6,1 Punkte höheren WOMAC-Score (15,5 Punkte Differenz in unserer Studie). Die deutlich höheren Mittelwertunterschiede im WOMAC-Score könnten dadurch erklärt werden, dass die Revisionsgruppe dieser Studie in 50% der Fälle multiple Voroperationen am betroffenen Hüftgelenk hatte.

4.2.2.3 Short Form 36 Health Survey

Die Patienten der Primärgruppe wiesen in allen acht Domänen des SF-36 postoperativ höhere Werte als die Revisionsgruppe auf. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität hat sich hinsichtlich der körperlichen Funktionsfähigkeit, der körperlichen Rollenfunktion, der körperlichen Schmerzwahrnehmung sowie der sozialen Funktionsfähigkeit in der Revisionsgruppe als signifikant schlechter herausgestellt. Das lässt sich unter anderem auf das höhere Patientenalter in der Revisionsgruppe zurückführen. Mit zunehmendem Alter steigt die Prävalenz vieler Nebenerkrankungen, was das subjektive Gesundheitsempfinden verschlechtert. Des Weiteren hat ein Großteil der Patienten der Revisionsgruppe aufgrund der mehrfachen Voroperationen eine längere Krankenhaushistorie sowie eine längere Beschwerdesymptomatik hinter sich, was die Lebensqualität weiter sinken lässt. Die Erwartungshaltung von Patienten

hat sich als ein wichtiger prädiktiver Faktor für die postoperative Patientenzufriedenheit nach hüftendoprothetischen Eingriffen herausgestellt (113). Umso bedeutender erscheint es die Patienten ausführlich über die oben genannten Unterschiede zwischen Primär- sowie Revisionseingriffen am Hüftgelenk zu informieren und eine realistische Erwartungshaltung zu erzeugen.

Bisherige Untersuchungen haben ergeben, dass nach hüftendoprothetischen Eingriffen ein höheres Alter, ein weibliches Geschlecht, ein hoher ASA-Score sowie zwei und mehr medizinische oder orthopädische Nebenerkrankungen mit einem signifikant schlechteren HHS assoziiert waren (21). Während in der Primärgruppe eine Assoziation zwischen einem hohen ASA-Score und einem schlechten HHS vorlag, stellte sich in der Revisionsgruppe lediglich eine Assoziation zwischen dem HHS und einem positiven Trendelenburg-Zeichen sowie einem hinkenden Gangbild dar, was vermutlich auf die geringe Patientenfallzahl zurückzuführen ist.

Ein signifikant schlechteres Ergebnis im Trendelenburg-Test ($p = 0,006$) sowie im Hinkverhalten ($p = 0,001$) lag in der Revisionsgruppe im Vergleich zur Primärgruppe sechs Monate postoperativ vor. Ziel dieser Arbeit war es die klinischen funktionellen Einschränkungen im MRT zu objektivieren und zu quantifizieren.

4.3 Degeneration des Musculus gluteus medius

Die Ergebnisse der MRT-Auswertung haben gezeigt, dass die fettige Degeneration des GM in beiden Untersuchungsgruppen, der Primärgruppe ($p = 0,001$) sowie der Revisionsgruppe ($p = 0,001$), sechs Monate postoperativ signifikant angestiegen war. Der mittlere Schaden des gesamten GM lag nach der Revisionsoperation der HTEP bei 34%. Entsprechend der entwickelten Methodik von Engelken et al. wurde der GM in ein anteriores, zentrales und posteriores Drittel geteilt und jedes Segment separat ausgewertet. Unter Anwendung des direkt lateralen Zugangs lag das traumatisierte Areal überwiegend im anterioren und zentralen Segment des GM (79).

Das anteriore GM-Drittel wies in der Primärgruppe (11%), Erstrevisionsgruppe (30%) sowie in der Mehrfachrevisionsgruppe (78%) sechs Monate postoperativ die größte Zunahme der fettigen Degeneration aller GM-Segmente auf. Ebenso war das zentrale Drittel in allen drei Untersuchungsgruppen signifikant geschädigt. Das posteriore Drittel hingegen war in keiner Gruppe, nicht einmal in der Mehrfachrevisionsgruppe ($p = 0,878$), signifikant betroffen. Ähnliche Studien an einem Patientenkollektiv mit primärer

HTEP-Implantation konnten unter Anwendung des direkt lateralen Zugangs vergleichbare Ergebnisse erzielen. Müller et al. (35) verwendeten in einer prospektiven klinischen Studie, welche 44 Patienten umfasste, die Goutallier-Klassifikation um den glutealen Muskelstatus vor sowie zwölf Monate nach primärer HTEP-Implantation zu beurteilen. Dabei war die Zunahme der degenerativen Verfettung zwölf Monate postoperativ ebenfalls im anterioren sowie zentralen GM-Drittel signifikant angestiegen und am stärksten im anterioren Drittel ausgeprägt. Pfirrmann et al. (33) untersuchten die degenerative Verfettung des GM mittels MRT in einem symptomatischen und einem asymptomatischen Patientenkollektiv nach primärer HTEP-Implantation unter Verwendung der Goutallier-Klassifikation. Die fettige Infiltration des GM war in der symptomatischen Patientengruppe im anterioren und im zentralen Drittel signifikant stärker ausgeprägt als in der asymptomatischen Patientengruppe und erzielte die höchsten Werte im anterioren GM-Drittel. Das posteriore GM-Drittel war kaum betroffen. Die quantitative Erfassung des Muskelschadens in der Primär- als auch Revisionsgruppe erfolgte mittels MRT. Es existiert eine Vielzahl an diagnostischen Möglichkeiten, welche den Muskelschaden direkt und indirekt erfassen können. Die Sonographie ist eine preiswerte, nicht invasive und für den Patienten gut verträgliche Modalität um die Hüftmuskulatur zu beurteilen. Dies ist eine optimale Voraussetzung um Folgeuntersuchungen zu gewährleisten und den Entwicklungsprozess der Patienten nach hüftendoprothetischer Versorgung genauestens zu verfolgen. Bei der Diagnose von Verletzungen der Hüftabduktorenmuskulatur nach einer primären HTEP-Implantation mittels direkt lateralen Zugangs konnte die Sonographie ähnliche Prävalenzen wie die Magnetresonanztomographie zeigen. Pfirrmann et al. (33) untersuchten konsekutiv 64 Patienten, von denen 25 asymptomatisch waren und 39 Patienten Schmerzen über dem Trochanter major sowie eine Abduktoreninsuffizienz aufwiesen. Sie berichteten, dass unter Verwendung der MRT bei vier der asymptomatischen (16%) und 24 der symptomatischen Patienten (62%) eine Verletzung der GM-Sehne detektiert werden konnte. Garcia et al. (88) haben unter Verwendung der Sonographie mit einer Prävalenz von 12% in der asymptomatischen Patientengruppe sowie 50% in der symptomatischen Patientengruppe nahezu gleiche Ergebnisse mit positivem Ergebnis erzielt. Die Sonographie scheint daher sehr geeignet zu sein um die Integrität der pelvitrochantären Muskulatur zu beurteilen. Allerdings wurde die Sensitivität und Spezifität der Untersuchung nicht bestimmt, da keine chirurgische Exploration erfolgte. Es konnte gezeigt werden, dass die Sonographie in

der Lage war Tendinopathien zu identifizieren und zu charakterisieren. Dabei waren die sonographischen Ergebnisse denen der MRT-basierten Analyseverfahren sehr nahe (28, 88, 114). Untersuchungen der Rotatorenmanschette haben ergeben, dass mit Hilfe der Sonographie die degenerative Verfettung von Muskulatur dargestellt werden konnte (87). Dabei wurde eine zunehmende Echogenität als Indikator für die Anwesenheit von fettiger Infiltration gewertet (115). Eine steigende Echogenität von Muskelgewebe ist allerdings ein äußerst unspezifisches Kriterium, was durch ein akutes Trauma, subakute Denervation sowie Myositis hervorgerufen werden kann (116). Der Vergleich von Ultraschall und MRT für die Diagnose der Atrophie bzw. fettigen Infiltration konnte zeigen, dass beide Methoden vergleichbare Sensitivitäten und Spezifitäten aufweisen konnten (117). Allerdings war es bisher nicht möglich eine gültige Graduierung der fettigen Degeneration mittels Sonographie nach den gängigen Klassifikationen von Goutallier und Quartile vorzunehmen, weshalb die Sonographie zur Überprüfung unserer Hypothesen keine Verwendung finden konnte. Darüber hinaus ist die Befundung sonographischer Aufnahmen im Hinblick auf die glutealen Muskelschäden wenig untersucht, was eine Vielzahl an Beurteilungsfehlern mit sich bringen könnte.

Das Klassifikationssystem von Goutallier wurde ursprünglich anhand von axialen CT-Scans vom M. infraspinatus sowie M. subscapularis etabliert (32). Die Reliabilität dieses Graduierungssystems wurde mehrfach getestet, wobei sich kein Unterschied zwischen MRT und CT fand (118). Die Atrophie bzw. fettige Infiltration der glutealen Muskulatur wurde bisher nur MRT-basiert untersucht (33, 60). Da die Patienten bei der MRT einer geringeren Strahlenbelastung als bei der CT-Untersuchung ausgesetzt sind und vergleichbare Ergebnisse mit bisherigen Studien erzielt werden sollten, wurde die MRT zur Evaluation der degenerativen Veränderungen ausgewählt. Die MRT hat sich als ein zuverlässiges Verfahren zur Graduierung der fettigen Degeneration mit sehr geringer Inter- und Intraobserver-Variabilität erwiesen (119). Aufgrund der hohen Kontrastauflösung und seiner multiplanaren Darstellungsmöglichkeiten, war die MRT die Methode, welche die genaueste Weichteildarstellung erlaubte. Die molekularen Eigenschaften von skeletaler Muskulatur und dem fettigen Infiltrat ermöglichten in den ausgewählten T1-gewichteten Aufnahmen einen hohen Weichteilkontrast und stellten somit optimale Bedingungen zur morphologischen Beurteilung des GM dar (89). Im Gegensatz zur Elektromyographie und Sonographie können tiefere Muskelschichten, wie zum Beispiel der GMM, gut dargestellt werden (30). Des Weiteren sind die MRT-Aufnahmen weitestgehend benutzerunabhängig. Die Schnittbilder können mit geringer

technischer Variabilität erzeugt werden und sind außerdem gut reproduzierbar (92). Um eine bessere Vergleichbarkeit der MRT-Scans zu gewährleisten, wurden alle Aufnahmen mit dem gleichen MRT-Gerät und den gleichen Bildsequenzen durchgeführt.

Nach mehr als zwei Revisionsoperationen einer HTEP waren 78% des anterioren und 46% des zentralen GM-Drittels fettig degeneriert, was mit einer signifikanten Zunahme des Trendelenburg-Zeichens einherging. Eine intraoperative Muskelschädigung der Hüftabduktoren führt zur Insuffizienz der Abduktions- und Extensionskraft, Hinken, Schmerz und Instabilität (42). Beide Untersuchungsgruppen wurden mittels direkt lateralen Zugangs operiert. Unsere Daten unterstützen die Annahme, dass der iatrogene Schaden der Hüftabduktoren nach primärer HTEP-Implantation toleriert werden kann, wohingegen wiederholte Wechseleingriffe am Hüftgelenk zu einem signifikanten Auftreten des Trendelenburg-Zeichens führen. Der Substanzverlust der Hüftabduktoren scheint ab einem bestimmten Punkt nicht mehr kompensiert werden zu können. Mehrere Studien haben bisher den Substanzverlust der glutealen Muskulatur nach primärer HTEP-Implantation beschrieben (56, 57). Ab welchem prozentualen Ausmaß der Muskeldegeneration Hinken oder Hüftgelenkinstabilität erscheint, ist unbekannt. Die präsentierten Ergebnisse zeigten, dass die fettige Degeneration des GM sechs Monate nach primärer HTEP-Implantation etwa doppelt so hoch im Vergleich zur unbehandelten Hüfte war. Engelken et al. fanden nach primärer HTEP-Implantation eine fettige Degeneration des GM von 11% und an der unbehandelten Seite von 5%. Sie konnten somit ebenfalls eine Verdopplung der fettigen Degeneration unter Verwendung derselben Technik darstellen (79). Aufgrund der Ähnlichkeit der Daten von Engelken et al. und denen der vorliegenden Studie kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Daten der Erstrevisionsgruppe und Mehrfachrevisionsgruppe eine vergleichbare Aussagekraft besitzen.

Während die degenerative Verfettung des M. gluteus medius bei Patienten, die sich ihrem ersten Revisionseingriff der HTEP unterzogen haben, bei 18% lag, wiesen Patienten sechs Monate nach primärer HTEP-Implantation einen Wert von 8% auf. Die Zunahme der GM-Degeneration unterschied sich insgesamt um 10%, obwohl in beiden Konstellationen lediglich ein operativer Eingriff am betroffenen Hüftgelenk stattgefunden hat. Dies könnte durch eine schmerzbedingte Schonung der Hüftabduktoren aufgrund einer fehlgeschlagenen HTEP erklärt werden. Kommt es nach Implantation einer HTEP zur aseptischen HTEP-Lockerung oder zu einer ausgeprägten knöchernen

azetabulären Defektsituation, führt dies darüber hinaus zu einer Migration der Pfannenkomponente mit einer Veränderung des Gelenkdrehzentrums und damit zu einem veränderten Hebelarm der Abduktoren (120). Anhand einer Kadaverstudie konnten Jerosch et al. feststellen, dass die Proximalisierung des Hüftgelenkdrehzentrums eine signifikante Retraktion des M. gluteus medius verursacht hat, was zu einer möglichen Insuffizienz der Abduktorenmuskulatur führen könnte (121). Am Beispiel der Schulter konnte gezeigt werden, dass eine Retraktion der Sehnen des M. supraspinatus zu einem signifikanten Verlust des Muskelfaservolumens sowie einer fettigen Infiltration des interstitiellen Gewebes geführt hat (122). Dabei stieg die interstitielle Verfettung von 5% um den Faktor 10 auf 50% an ($p < 0,0001$). Ein weiterer Grund für die verstärkt ausgeprägte fettige Degeneration des GM in der Erstrevisionsgruppe könnte ein größeres Muskeltrauma während der primären HTEP-Implantation gewesen sein. Der Großteil der Patienten der Erstrevisionsgruppe erhielt die Primärimplantation der HTEP nicht an der Charité, sondern an anderen orthopädischen Kliniken in Deutschland. Eine standardisierte Durchführung der Erstimplantation konnte dadurch nicht gewährleistet werden.

Die mittlere prozentuale Zunahme der fettigen Infiltration des GM im anterioren Drittel war in der Revisionsgruppe signifikant höher als in der Primärgruppe ($p = 0,028$). Revisionseingriffe am Hüftgelenk scheinen somit zu einer größeren Progression des Muskelschadens zu führen als Primäreingriffe. Die primäre HTEP-Implantation ist im Gegensatz zum Revisionseingriff ein hochstandardisiertes Verfahren (75). Revisionsoperationen am Hüftgelenk sind deutlich komplexer. Die größere Komplexität sowie die längere Operationsdauer sind u.a. Ursachen, welche die signifikant höhere Mittelwertzunahme nachvollziehbar machen lässt.

Die degenerativen Veränderungen des gesamten GM konnte durch das Quartile-Klassifikationssystem ebenso erfasst und bestätigt werden. Für die Beurteilung der postoperativen Zunahme der fettigen Degeneration ist das Klassifikationssystem jedoch nur an einem Revisions-Patientenkollektiv einsetzbar, da die degenerativen Veränderungen des GM nach der Primärimplantation einer HTEP zu gering sind, als dass sie Quartile-Grad 2, 3 oder 4 erreichen.

Die aktuelle Studienlage hat zeigt, dass es durch den direkt lateralen Zugang zu einer ausgeprägten iatrogenen Muskelschädigung des GM gekommen ist (100, 101). Dennoch wiesen Patienten, die mittels direkt lateralem Zugang eine primäre HTEP implantiert bekamen, keine deutlich schlechteren Ergebnisse in den klinischen Scores

sowie den klinischen Funktionsprüfungen im Vergleich zu minimalinvasiven Verfahren auf (64, 101). Die aktuelle Literatur konnte für die MIS-Verfahren in der Primärendoprothetik nur kurzfristige Vorteile in der frühen Rehabilitationsphase gegenüber dem direkt lateralen Zugang zeigen (123). Das bedeutet, dass der ermittelte iatrogene Muskelschaden des M. gluteus medius in der Primärendoprothetik am Hüftgelenk unabhängig vom operativen Zugangsverfahren kompensiert werden kann. Die postoperative Integrität des GM scheint in der Endoprothetik für das klinische Ergebnis eine entscheidende Rolle zu spielen. Studien haben ergeben, dass die postoperative Integrität des GM nach primärer HTEP-Implantation mittels direkt lateralem Zugang gestört war (124). Svensson et al. platzierten bei 97 Patienten Metallmarker in die gluteale Aponeurose, eine auf jeder Seite der Schnittführung, und verfolgten anhand von Röntgenuntersuchen den Abstand der Marker innerhalb eines Jahres zueinander. Bei 50% der Patienten kam es zu einem vergrößerten Abstand der Marker. Das Trendelenburg-Zeichen war bei Patienten mit einem Abstand der Metallmarker von über 2,5 cm signifikant angestiegen. Vergleicht man das postoperative Auftreten des Trendelenburg-Zeichens der Primärgruppe mit der Revisionsgruppe, traten in der Revisionsgruppe signifikant mehr positive Ergebnisse als in der Primärgruppe auf (Revisionsgruppe: 63% positiv, Primärgruppe: 20% positiv). Es ist daher anzunehmen, dass nach wiederholten Eingriffen am Hüftgelenk der Muskelschaden der pelvitrochantären Muskulatur weiter zunimmt und ab einem bestimmten Punkt klinisch dekompensiert. Die entscheidende Frage lautet: Wieviel Muskelsubstanz des GM darf maximal degenerieren, bevor das muskuläre Defizit nicht mehr kompensiert werden kann und Hinken sowie Hüftgelenksinstabilität auftreten?

Es existieren nach unserem Kenntnisstand keine Studien, die den glutealen Muskelschaden in der Revisionsendoprothetik der Hüfte nach direkt lateralem Zugang quantitativ erfasst haben. Bisherige Quantifizierungsversuche wurden anhand von Kadaverstudien durchgeführt. Dabei wurde der prozentuale Muskelschaden nach primärer HTEP-Implantation anhand des Verhältnisses von zerschnittenen bzw. abgerissenen Muskelfasern zu den gesamten Muskelfasern ermittelt. Der mittlere GM-Schaden betrug 15% nach Zweiin-zisionstechnik, 5% bzw. 3% nach posterioren MIS-Zugang sowie 3% nach dem anterioren Smith-Peterson-Zugang (55, 59). Der von uns ermittelte prozentuale Muskelschaden lag sechs Monate nach primärer HTEP-Implantation bei 8%. Obwohl unsere Daten inmitten der bisher ermittelten Werte liegen, sind die Ergebnisse nur teilweise miteinander zu vergleichen. Das liegt zum einen an

den sich grundlegend unterscheidenden Messverfahren, andererseits an den unterschiedlichen Messzeitpunkten nach der Primärimplantation. Des Weiteren ist nicht klar, ob der Zustand der Kadavermuskulatur dem Zustand ante mortem entspricht.

Die vorliegende Studie hat ergeben, dass sowohl im anterioren ($p < 0,001$), zentralen ($p = 0,017$) sowie gesamten ($p = 0,031$) GM-Segment der Muskelschaden in der Mehrfachrevisionsgruppe signifikant größer als in der Erstrevisionsgruppe ausgeprägt ist. Außerdem konnte gezeigt werden, dass Patienten, die eine fettige Degeneration über 50% des gesamten GM aufwiesen, signifikant häufiger ein „positives“ Trendelenburg-Zeichen bzw. eine ausgeprägtere Funktionseinschränkung der pelvitrochantären Muskulatur präsentierten. Das Hauptproblem der Funktionseinschränkung der Abduktorenmuskulatur ist der kumulative Effekt der Traumata. Je häufiger ein Patient an der betroffenen Hüfte operiert werden muss, desto mehr Muskelsubstanz geht nach jedem Eingriff unwiederbringlich verloren. In dieser Situation steigt die Gefahr der Dislokation. Dazu konnten Kung et al. (45) in einer klinischen Studie demonstrieren, dass bei Patienten mit einer insuffizienten Abduktorenfunktion die Dislokationsrate bis zu 40% beträgt. Der Einfluss des iatrogen verursachten Muskeltraumas auf das postoperative Outcome lässt sich schwierig durch vorklinische Tests untersuchen. Die Forschungsgruppe um Duda und Heller haben ein muskuloskeletales Computermodell entwickelt, mit welchem muskuloskeletale Krafteinwirkungen und biomechanische Veränderungen simuliert werden können (125). Die Modellberechnungen haben ergeben, dass aus einer Schädigung und Schwächung der periartikulären Muskulatur veränderte Kraftverhältnisse mit unphysiologischer Kraftübertragung am Hüftgelenk resultieren. Kosak et al. haben in diesem Zusammenhang den Polyethylenabrieb bei veränderter Biomechanik am Hüftgelenk untersucht und haben herausgefunden, dass ein Anstieg der Scherkräfte am Hüftgelenk zu einem vermehrten Abrieb sowie einer gehäuften aseptischen Lockerung der Prothesenkomponenten führt (126). Perka et al. (46) konnten feststellen, dass der Untergang von pelvitrochantärer Muskulatur zur Verringerung der periprothetischen Knochensubstanz führt. Eine intraoperative Schonung der Muskelsubstanz sorgt postoperativ für eine bessere Krafteinleitung und kann so zu einem signifikant besseren Erhalt der um die Prothese vorhandenen knöchernen Strukturen führen.

Aus diesen besagten Gründen hat das operative Zugangsverfahren hinsichtlich muskelschonender Zugangsverfahren im Revisionsfall, einen hohen Stellenwert. Um

Veränderungen der Hüftabduktoren bei alternativen operativen Zugangswegen zu evaluieren bedarf es weiterer Studien.

4.4 Limitationen

Unser Studiendesign hatte Limitationen. Erstens zeigten die prozentualen Werte der fettigen Degeneration weite Spannweiten. Dies könnte zu einem auf die heterogenen Faktoren wie Patientenalter, Körpergröße sowie Aktivitätslevel zurückgeführt werden. Dennoch sind unsere Ergebnisse vergleichbar mit denen der Literatur (79).

Zweitens sind unsere Ergebnisse auf die Verwendung des direkt lateralen Zugangs limitiert, wie er von Bauer und Hardinge beschrieben wurde. Es gibt eine Vielzahl an Zugängen zur Hüfte, welche ein unterschiedliches Muster an Muskeltraumata verursachen (127). Unsere Ergebnisse sind somit nicht auf alle bekannten Zugänge zu übertragen.

Drittens wies das Patientenkollektiv unterschiedliche Operationsindikationen auf. Besonders bei Revisionseingriffen am Hüftgelenk hängt das Ausmaß der Operation u.a. von der Indikationsstellung ab. Den Muskelschaden in Abhängigkeit der Revisionsursache zu untersuchen wird Gegenstand weiterer Studien sein.

Des Weiteren muss auf die Fallzahl von 45 Patienten hingewiesen werden. Zur Auswertung der degenerativen Veränderungen im M. gluteus medius reichte die Anzahl aus um signifikante Unterschiede in den Untersuchungsgruppen zu demonstrieren. Bei der Auswertung der klinischen Funktionsparameter und klinischen Scores ist davon auszugehen, dass sich mit zunehmender Fallzahl die Unterschiede weiter spezifizieren lassen.

4.5 Fazit

Die Verwendung des direkt lateralen Zugangs bietet eine exzellente Übersicht zum Femur und zum Azetabulum und ist daher als operativer Zugangsweg zum Hüftgelenk sowohl in der Primär- als auch in der Revisionsendoprothetik weit verbreitet (72, 73, 77). Der iatrogene Muskelschaden nach primärer HTEP-Implantation am Hüftgelenk mittels direkt lateralem Zugang ist bisher mehrfach beschrieben worden (33, 35). Die vorliegende Arbeit hat erstmals den iatrogenen Muskelschaden des GM nach mehrfacher Anwendung des direkt lateralen Zugangs unter Anwendung eines MRT-basierten Analyseverfahrens quantitativ nachweisen können. Die Studie konnte zeigen, dass der iatrogene Muskelschaden nach Revisionseingriffen am Hüftgelenk bisher

deutlich unterschätzt wurde. Mit einer steigenden Anzahl an Wechseloperationen am Hüftgelenk kam es unter Anwendung des direkt lateralen Zugangs zu einer signifikanten Zunahme der degenerativen Verfettung des Musculus gluteus medius, insbesondere im anterioren und zentralen Drittel, sowie dem Auftreten des Trendelenburg-Zeichens. Unsere Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass die Anwendung des direkt lateralen Zugangs nur einmal möglich ist, ohne ein signifikanten Funktionsverlust der glutealen Muskulatur zu verursachen. Bei Revisionseingriffen am Hüftgelenk sollten in Zukunft alternative Zugangswege in Betracht gezogen werden, sobald die Primärimplantation mittels direkt lateralem Zugang erfolgte.

Literaturverzeichnis

- [1] Hoaglund FT, Steinbach LS. Primary osteoarthritis of the hip: etiology and epidemiology. *J Am Acad Orthop Surg* 2001;9(5):320-7.
- [2] 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. *Fortschr Med* 1997;115(18):34-9.
- [3] Berger RA, Jacobs JJ, Meneghini RM, Della Valle C, Paprosky W, Rosenberg AG. Rapid rehabilitation and recovery with minimally invasive total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2004;429:239-47.
- [4] Restrepo C, Parvizi J, Pour AE, Hozack WJ. Prospective randomized study of two surgical approaches for total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2010;25(5):671-9.
- [5] Qualitätsreport 2014. Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen, 2014. (10.11.2015, <https://http://www.sqg.de/sqg/upload/CONTENT/Qualitaetsberichte/2014/AQUA-Qualitaetsreport-2014.pdf>. 139-43.)
- [6] Bevölkerung Deutschlands bis 2060. Statistisches Bundesamt, 2009. (10.06.2015, https://http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204099004.pdf?__blob=publicationFile.6-16.)
- [7] 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. *Bone Joint J* 2015;97-B(8):1076-81.
- [8] Qualitätsreport 2014. Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen, 2014. (10.11.2015, <https://http://www.sqg.de/sqg/upload/CONTENT/Qualitaetsberichte/2014/AQUA-Qualitaetsreport-2014.pdf>. 144-7.)
- [9] BQS-Qualitätsreport 2005. Bundesgeschäftsstelle Qualitätssicherung GGMBH, 2005. (10.11.20015, <http://www.bqs-qualitaetsreport.de/ergebnisse/pdf/qr2005.pdf>. 92-9.)
- [10] Qualitätsreport 2012. Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen, 2012. (10.11.2015, <https://http://www.sqg.de/sqg/upload/CONTENT/Qualitaetsberichte/2012/AQUA-Qualitaetsreport-2012.pdf>. 146-50.)
- [11] Wyles CC, Jimenez-Almonte JH, Murad MH, Norambuena-Morales GA, Cabanela ME, Sierra RJ, Trousdale RT. There Are No Differences in Short- to Mid-term Survivorship Among Total Hip-bearing Surface Options: A Network Meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473(6):2031-41.
- [12] Mohaddes M, Rolfson O, Karrholm J. Short-term survival of the trabecular metal cup is similar to that of standard cups used in acetabular revision surgery. *Acta Orthop* 2015;86(1):26-31.
- [13] van Oldenrijk J, Molleman J, Klaver M, Poolman RW, Haverkamp D. Revision rate after short-stem total hip arthroplasty: a systematic review of 49 studies. *Acta Orthop* 2014;85(3):250-8.
- [14] 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 Orthop Scand* 2000;71(2):111-21.
- [15] 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. *Bone Joint J* 2014;96-B(12):1618-22.
- [16] Claes L, Perka C, Kirschner P, Rudert M. *AE-Manual der Endoprothetik*. Bd. 1. Heidelberg: Springer, 2012. Seite 457-82.

- [17] Jaffer AK, Barsoum WK, Krebs V, Hurbanek JG, Morra N, Brotman DJ. Duration of anesthesia and venous thromboembolism after hip and knee arthroplasty. *Mayo Clin Proc* 2005;80(6):732-8.
- [18] Khatod M, Barber T, Paxton E, Namba R, Fithian D. An analysis of the risk of hip dislocation with a contemporary total joint registry. *Clin Orthop Relat Res* 2006;447:19-23.
- [19] Kosashvili Y, Backstein D, Safir O, Lakstein D, Gross AE. Dislocation and infection after revision total hip arthroplasty: comparison between the first and multiply revised total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2011;26(8):1170-5.
- [20] Mahomed NN, Barrett JA, Katz JN, Phillips CB, Losina E, Lew RA, Guadagnoli E, Harris WH, Poss R, Baron JA. Rates and outcomes of primary and revision total hip replacement in the United States medicare population. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85(1):27-32.
- [21] Lubbeke A, Katz JN, Perneger TV, Hoffmeyer P. Primary and revision hip arthroplasty: 5-year outcomes and influence of age and comorbidity. *J Rheumatol* 2007;34(2):394-400.
- [22] Patil S, Garbuz DS, Greidanus NV, Masri BA, Duncan CP. Quality of life outcomes in revision vs primary total hip arthroplasty: a prospective cohort study. *J Arthroplasty* 2008;23(4):550-3.
- [23] Ong KL, Lau E, Suggs J, Kurtz SM, Manley MT. Risk of subsequent revision after primary and revision total joint arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(11):3070-6.
- [24] Bozic KJ, Katz P, Cisternas M, Ono L, Ries MD, Showstack J. Hospital resource utilization for primary and revision total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(3):570-6.
- [25] Agarwala S, Jhunjunwala HR, Pachore JA, Joglekar SB, Eachempati KK. Results of uncemented distal locked prosthesis in revision hip arthroplasty with proximal femoral bone loss: A retrospective study. *Indian J Orthop* 2013;47(1):83-6.
- [26] Drexler M, Dwyer T, Kosashvili Y, Chakraverty R, Abolghasemian M, Gollish J. Acetabular cup revision combined with tensor fascia lata reconstruction for management of massive abductor avulsion after failed total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2014;29(5):1052-7.
- [27] Whiteside LA. Surgical technique: Gluteus maximus and tensor fascia lata transfer for primary deficiency of the abductors of the hip. *Clin Orthop Relat Res* 2014;472(2):645-53.
- [28] Kong A, Van der Vliet A, Zadow S. MRI and US of gluteal tendinopathy in greater trochanteric pain syndrome. *Eur Radiol* 2007;17(7):1772-83.
- [29] Beck M, Sledge JB, Gautier E, Dora CF, Ganz R. The anatomy and function of the gluteus minimus muscle. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82(3):358-63.
- [30] Kumagai M, Shiba N, Higuchi F, Nishimura H, Inoue A. Functional evaluation of hip abductor muscles with use of magnetic resonance imaging. *J Orthop Res* 1997;15(6):888-93.
- [31] Ralston HJ, Inman VT. Mechanics of human isolated voluntary muscle. *Am J Physiol* 1947;151(2):612-20.
- [32] Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res* 1994;304:78-83.
- [33] 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.

- [34] Lachiewicz PF. Abductor tendon tears of the hip: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 2011;19(7):385-91.
- [35] Muller M, Tohtz S, Dewey M, Springer I, Perka C. Evidence of reduced muscle trauma through a minimally invasive anterolateral approach by means of MRI. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(12):3192-200.
- [36] Laron D, Samagh SP, Liu X, Kim HT, Feeley BT. Muscle degeneration in rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21(2):164-74.
- [37] Deniz G, Kose O, Tugay A, Guler F, Turan A. Fatty degeneration and atrophy of the rotator cuff muscles after arthroscopic repair: does it improve, halt or deteriorate? *Arch Orthop Trauma Surg* 2014;134(7):985-90.
- [38] Mendias CL, Roche SM, Harning JA, Davis ME, Lynch EB, Sibilsky Enselman ER, Jacobson JA, Claflin DR, Calve S, Bedi A. Reduced muscle fiber force production and disrupted myofibril architecture in patients with chronic rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2015;24(1):111-9.
- [39] Melis B, Nemoz C, Walch G. Muscle fatty infiltration in rotator cuff tears: descriptive analysis of 1688 cases. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009;95(5):319-24.
- [40] Rosen ED. The transcriptional basis of adipocyte development. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2005;73(1):31-4.
- [41] Muller M, Schwachmeyer V, Tohtz S, Taylor WR, Duda GN, Perka C, Heller MO. The direct lateral approach: impact on gait patterns, foot progression angle and pain in comparison with a minimally invasive anterolateral approach. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012;132(5):725-31.
- [42] Masonis JL, Bourne RB. Surgical approach, abductor function, and total hip arthroplasty dislocation. *Clin Orthop Relat Res* 2002;405:46-53.
- [43] Carlson BM, Faulkner JA. The regeneration of skeletal muscle fibers following injury: a review. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15(3):187-98.
- [44] Whiteside LA, Nayfeh T, Katerberg BJ. Gluteus maximus flap transfer for greater trochanter reconstruction in revision THA. *Clin Orthop Relat Res* 2006;453:203-10.
- [45] Kung PL, Ries MD. Effect of femoral head size and abductors on dislocation after revision THA. *Clin Orthop Relat Res* 2007;465:170-4.
- [46] Perka C, Heller M, Wilke K, Taylor WR, Haas NP, Zippel H, Duda GN. Surgical approach influences periprosthetic femoral bone density. *Clin Orthop Relat Res* 2005;432:153-9.
- [47] Kelmanovich D, Parks ML, Sinha R, Macaulay W. Surgical approaches to total hip arthroplasty. *J South Orthop Assoc* 2003;12(2):90-4.
- [48] Berger RA. The technique of minimally invasive total hip arthroplasty using the two-incision approach. *Instr Course Lect* 2004;53:149-55.
- [49] Berstock JR, Blom AW, Beswick AD. A systematic review and meta-analysis of the standard versus mini-incision posterior approach to total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2014;29(10):1970-82.
- [50] Meneghini RM, Smits SA. A Prospective, Randomized Study of Component Position in Two-Incision MIS Total Hip Arthroplasty: A Preliminary Study. *Surg Technol Int* 2011;21:255-60.
- [51] Tsai SW, Chen CF, Wu PK, Chen TH, Liu CL, Chen WM. Modified anterolateral approach in minimally invasive total hip arthroplasty. *Hip Int* 2015;25(3):245-50.
- [52] Parvizi J, Sharkey PF, Pour AE, Rapuri V, Hozack WJ, Rothman RH. Hip arthroplasty with minimally invasive surgery: a survey comparing the opinion of highly qualified experts vs patients. *J Arthroplasty* 2006;21(6 suppl 2):38-46.

- [53] Lloyd JM, Wainwright T, Middleton RG. What is the role of minimally invasive surgery in a fast track hip and knee replacement pathway? *Ann R Coll Surg Engl* 2012;94(3):148-51.
- [54] Krych AJ, Pagnano MW, Wood KC, Meneghini RM, Kaufmann K. No benefit of the two-incision THA over mini-posterior THA: a pilot study of strength and gait. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(2):565-70.
- [55] Meneghini RM, Pagnano MW, Trousdale RT, Hozack WJ. Muscle damage during MIS total hip arthroplasty: Smith-Petersen versus posterior approach. *Clin Orthop Relat Res* 2006;453:293-8.
- [56] 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. *J Arthroplasty* 2008;23(6 suppl 1):68-73.
- [57] Parratte S, Pagnano MW. Muscle damage during minimally invasive total hip arthroplasty: cadaver-based evidence that it is significant. *Instr Course Lect* 2008;57:231-4.
- [58] Berger RA. Mini-incisions: two for the price of one! *Orthopedics* 2002;25(5):472, 98.
- [59] Mardones R, Pagnano MW, Nemanich JP, Trousdale RT. The Frank Stinchfield Award: muscle damage after total hip arthroplasty done with the two-incision and mini-posterior techniques. *Clin Orthop Relat Res* 2005;441:63-7.
- [60] Muller M, Tohtz S, Winkler T, Dewey M, Springer I, Perka C. MRI findings of gluteus minimus muscle damage in primary total hip arthroplasty and the influence on clinical outcome. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010;130(7):927-35.
- [61] Dorr LD, Maheshwari AV, Long WT, Wan Z, Sirianni LE. Early pain relief and function after posterior minimally invasive and conventional total hip arthroplasty. A prospective, randomized, blinded study. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(6):1153-60.
- [62] Goldstein WM, Branson JJ, Berland KA, Gordon AC. Minimal-incision total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85-A (suppl 4):33-8.
- [63] Ogonda L, Wilson R, Archbold P, Lawlor M, Humphreys P, O'Brien S, Beverland D. A minimal-incision technique in total hip arthroplasty does not improve early postoperative outcomes. A prospective, randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(4):701-10.
- [64] Woolson ST, Mow CS, Syquia JF, Lannin JV, Schurman DJ. Comparison of primary total hip replacements performed with a standard incision or a mini-incision. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86(7):1353-8.
- [65] Bal BS, Haltom D, Aleto T, Barrett M. Early complications of primary total hip replacement performed with a two-incision minimally invasive technique. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(11):2432-8.
- [66] Spaans AJ, van den Hout JA, Bolder SB. High complication rate in the early experience of minimally invasive total hip arthroplasty by the direct anterior approach. *Acta Orthop* 2012;83(4):342-6.
- [67] Pagnano MW, Leone J, Lewallen DG, Hanssen AD. Two-incision THA had modest outcomes and some substantial complications. *Clin Orthop Relat Res* 2005;441:86-90.
- [68] Bal BS, Haltom D, Aleto T, Barrett M. Early complications of primary total hip replacement performed with a two-incision minimally invasive technique. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88 Suppl 1 Pt 2:221-33.
- [69] Hube R, Dienst M, von Roth P. Complications after minimally invasive total hip arthroplasty. *Orthopade* 2013;43(1):47-53.
- [70] Chimento GF, Pavone V, Sharrock N, Kahn B, Cahill J, Sculco TP. Minimally invasive total hip arthroplasty: a prospective randomized study. *J Arthroplasty* 2005;20(2):139-44.

- [71] Nakata K, Nishikawa M, Yamamoto K, Hirota S, Yoshikawa H. A clinical comparative study of the direct anterior with mini-posterior approach: two consecutive series. *J Arthroplasty* 2009;24(5):698-704.
- [72] Bystrom S, Espehaug B, Furnes O, Havelin LI. Femoral head size is a risk factor for total hip luxation: a study of 42,987 primary hip arthroplasties from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta Orthop Scand* 2003;74(5):514-24.
- [73] Chechik O, Khashan M, Lador R, Salai M, Amar E. Surgical approach and prosthesis fixation in hip arthroplasty world wide. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013;133(11):1595-600.
- [74] Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S, Oberthaler W. The transgluteal approach to the hip joint. *Arch Orthop Trauma Surg* 1979;95(1-2):47-9.
- [75] Hardinge K. The direct lateral approach to the hip. *J Bone Joint Surg Br* 1982;64(1):17-9.
- [76] The Norwegian Arthroplasty Register. (22.04.2014, <http://nrlweb.ihelse.net/eng/>).
- [77] Kwon MS, Kuskowski M, Mulhall KJ, Macaulay W, Brown TE, Saleh KJ. Does surgical approach affect total hip arthroplasty dislocation rates? *Clin Orthop Relat Res* 2006;447:34-8.
- [78] Bauer R, Russe W. [The transgluteal approach in hip joint arthroplasty]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1984;122(1):48-9.
- [79] Engelken F, Wassilew GI, Kohlitz T, Brockhaus S, Hamm B, Perka C, Diederichs UG. Assessment of Fatty Degeneration of the Gluteal Muscles in Patients With THA Using MRI: Reliability and Accuracy of the Goutallier and Quartile Classification Systems. *J Arthroplasty* 2014;29(1):149-53.
- [80] Bergin PF, Doppelt JD, Kephart CJ, Benke MT, Graeter JH, Holmes AS, Haleem-Smith H, Tuan RS, Unger AS. Comparison of minimally invasive direct anterior versus posterior total hip arthroplasty based on inflammation and muscle damage markers. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(15):1392-8.
- [81] Cohen RG, Katz JA, Skrepnik NV. The relationship between skeletal muscle serum markers and primary THA: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res* 2009;467(7):1747-52.
- [82] McConnell T, Torretta P, Benson E, Manuel J. Gluteus medius tendon injury during reaming for gamma nail insertion. *Clin Orthop Relat Res* 2003;407:199-202.
- [83] Gore DR, Murray MP, Gardner GM, Mollinger LA. Comparison of function two years after revision of failed total hip arthroplasty and primary hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1986;208:168-73.
- [84] Maffiuletti NA, Impellizzeri FM, Widler K, Bizzini M, Kain MS, Munzinger U, Leunig M. Spatiotemporal parameters of gait after total hip replacement: anterior versus posterior approach. *Orthop Clin North Am* 2009;40(3):407-15.
- [85] Baker AS, Bitounis VC. Abductor function after total hip replacement. An electromyographic and clinical review. *J Bone Joint Surg Br* 1989;71(1):47-50.
- [86] Ramesh M, O'Byrne JM, McCarthy N, Jarvis A, Mahalingham K, Cashman WF. Damage to the superior gluteal nerve after the Hardinge approach to the hip. *J Bone Joint Surg Br* 1996;78(6):903-6.
- [87] Strobel K, Hodler J, Meyer DC, Pfirrmann CW, Pirkli C, Zanetti M. Fatty atrophy of supraspinatus and infraspinatus muscles: accuracy of US. *Radiology* 2005;237(2):584-9.
- [88] Garcia FL, Picado CH, Nogueira-Barbosa MH. Sonographic evaluation of the abductor mechanism after total hip arthroplasty. *J Ultrasound Med* 2010;29(3):465-71.
- [89] Twair A, Ryan M, O'Connell M, Powell T, O'Byrne J, Eustace S. MRI of failed total hip replacement caused by abductor muscle avulsion. *AJR Am J Roentgenol* 2003;181(6):1547-50.

- [90] Teratani T, Naito M, Shiramizu K. Intraoperative muscle damage in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2010;25(6):977-81.
- [91] Cvitanic O, Henzie G, Skezas N, Lyons J, Minter J. MRI diagnosis of tears of the hip abductor tendons (gluteus medius and gluteus minimus). *AJR Am J Roentgenol* 2004;182(1):137-43.
- [92] Cardoza JD, Herfkens RJ. *MRI Survival Guide*. Philadelphia, USA: Lippincott Williams and Wilkins, 1994.
- [93] Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 1969;51(4):737-55.
- [94] Ware JE, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care* 1992;30(6):473-83.
- [95] Hayes MH, Paterson DG. Experimental development of the graphic rating method. *Psychol Bull* 1921;18:98-9.
- [96] Trendelenburg F. Über den Gang bei angeborener Hüftluxation. *Dtsch Med Wochenschr* 1895;2:21-4.
- [97] Murray MP. Gait as a total pattern of movement. *Am J Phys Med* 1967;46(1):290-333.
- [98] Dripps RD, Lamont A, Eckenhoff JE. The role of anesthesia in surgical mortality. *JAMA* 1961;178:261-6.
- [99] The Department of Radiology at the University of Washington. (01.04.2014, <http://www.rad.washington.edu/academics/academic-sections/msk/muscle-atlas/lower-body/gluteus-medius>).
- [100] Bremer AK, Kalberer F, Pfirmann 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. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(7):886-9.
- [101] 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. *Arch Orthop Trauma Surg* 2011;131(2):179-89.
- [102] Khatod M, Cafri G, Namba RS, Inacio MC, Paxton EW. Risk factors for Total Hip Arthroplasty Aseptic Revision. *J Arthroplasty* 2014;(29(7)):1412-7.
- [103] Fries JF, Spitz P, Kraines RG, Holman HR. Measurement of patient outcome in arthritis. *Arthritis Rheum* 1980;23(2):137-45.
- [104] Merle d'Aubigné R, Postel M. Functional results of hip arthroplasty with acrylic prosthesis. *J Bone Joint Surg* 1954;36A:451-75.
- [105] Rissanen P, Aro S, Sintonen H, Slati P, Paavolainen P. Quality of life and functional ability in hip and knee replacements: a prospective study. *Qual Life Res* 1996;5(1):56-64.
- [106] Lingaraj K, Teo YH, Bergman N. The management of severe acetabular bone defects in revision hip arthroplasty using modular porous metal components. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91(12):1555-60.
- [107] Van Kleunen JP, Lee GC, Lementowski PW, Nelson CL, Garino JP. Acetabular revisions using trabecular metal cups and augments. *J Arthroplasty* 2009;24(6 suppl):64-8.
- [108] Zampelis V, Ornstein E, Franzen H, Atroshi I. A simple visual analog scale for pain is as responsive as the WOMAC, the SF-36, and the EQ-5D in measuring outcomes of revision hip arthroplasty. *Acta Orthop* 2014;85(2):128-32.

- [109] Huber JF, Satkauskas I, Theiler R, Zumstein M, Ruffin GB. Clinical results 2 years after total hip replacement (WOMAC/SF-36) and comparison with the normal population (SF-36). *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2006;144(3):296-300.
- [110] Lavernia CJ, Alcerro JC, Contreras JS, Rossi MD. Patient perceived outcomes after primary hip arthroplasty: does gender matter? *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(2):348-54.
- [111] Schuh A, Zeiler G, Holzwarth U. Results of uncemented revision arthroplasty of the hip with the MRP-stem using an intrafemoral approach with vascularized distal fenestration. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2002;140(6):611-4.
- [112] Katz JN, Phillips CB, Baron JA, Fossel AH, Mahomed NN, Barrett J, Lingard EA, Harris WH, Poss R, Lew RA, Guadagnoli E, Wright EA, Losina E. Association of hospital and surgeon volume of total hip replacement with functional status and satisfaction three years following surgery. *Arthritis Rheum* 2003;48(2):560-8.
- [113] Eisler T, Svensson O, Tengstrom A, Elmstedt E. Patient expectation and satisfaction in revision total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2002;17(4):457-62.
- [114] Connell DA, Bass C, Sykes CA, Young D, Edwards E. Sonographic evaluation of gluteus medius and minimus tendinopathy. *Eur Radiol* 2003;13(6):1339-47.
- [115] Sofka CM, Haddad ZK, Adler RS. Detection of muscle atrophy on routine sonography of the shoulder. *J Ultrasound Med* 2004;23(8):1031-4.
- [116] Reimers K, Reimers CD, Wagner S, Paetzke I, Pongratz DE. Skeletal muscle sonography: a correlative study of echogenicity and morphology. *J Ultrasound Med* 1993;12(2):73-7.
- [117] Houry V, Cardinal E, Brassard P. Atrophy and fatty infiltration of the supraspinatus muscle: sonography versus MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190(4):1105-11.
- [118] Schaefer O, Winterer J, Lohrmann C, Laubenberger J, Reichelt A, Langer M. Magnetic resonance imaging for supraspinatus muscle atrophy after cuff repair. *Clin Orthop Relat Res* 2002;403:93-9.
- [119] Tingart MJ, Apreleva M, Lehtinen JT, Capell B, Palmer WE, Warner JJ. Magnetic resonance imaging in quantitative analysis of rotator cuff muscle volume. *Clin Orthop Relat Res* 2003;415:104-10.
- [120] Lengsfeld M, Bassaly A, Boudriot U, Pressel T, Griss P. Size and direction of hip joint forces associated with various positions of the acetabulum. *J Arthroplasty* 2000;15(3):314-20.
- [121] Jerosch J, Steinbeck J, Stechmann J, Guth V. Influence of a high hip center on abductor muscle function. *Arch Orthop Trauma Surg* 1997;116(6-7):385-9.
- [122] Meyer DC, Hoppeler H, von Rechenberg B, Gerber C. A pathomechanical concept explains muscle loss and fatty muscular changes following surgical tendon release. *J Orthop Res* 2004;22(5):1004-7.
- [123] Wall SJ, Mears SC. Analysis of published evidence on minimally invasive total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2008;23(suppl 7):55-8.
- [124] Svensson O, Skold S, Blomgren G. Integrity of the gluteus medius after the transgluteal approach in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 1990;5(1):57-60.
- [125] Heller MO, Bergmann G, Kassi JP, Claes L, Haas NP, Duda GN. Determination of muscle loading at the hip joint for use in pre-clinical testing. *J Biomech* 2005;38(5):1155-63.
- [126] Kosak R, Kralj-Iglic V, Iglic A, Daniel M. Polyethylene wear is related to patient-specific contact stress in THA. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(12):3415-22.
- [127] Palan J, Beard DJ, Murray DW, Andrew JG, Nolan J. Which approach for total hip arthroplasty: anterolateral or posterior? *Clin Orthop Relat Res* 2009;467(2):473-7.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** T1-gewichtete, axiale MRT-Aufnahme eines Patienten mit Hüftabduktoreninsuffizienz links bei Zustand nach fünftem Revisionseingriff am linken Hüftgelenk
- Abbildung 2:** Operative Schnittführung entlang des Musculus gluteus medius und Musculus vastus lateralis beim direkt lateralen Zugang
- Abbildung 3:** Eröffnung der Hüftgelenkscapsel und Darstellung des Hüftgelenks beim direkt lateralen Zugang
- Abbildung 4:** Auswahl der Analyseebenen zur Graustufenanalyse
- Abbildung 5:** Auffinden der Untersuchungsregion für die Graustufenmittelwertbestimmung von Fett- und Muskelgewebe
- Abbildung 6:** Segmentierung des Musculus gluteus medius zur Graustufenanalyse
- Abbildung 7:** Berechnung des prozentualen Fettgehalts des Musculus gluteus medius
- Abbildung 8:** Vergleich der MRT-Aufnahmen des GM von Patienten mit unterschiedlich stark degeneriertem Muskelgewebe
- Abbildung 9:** Altersverteilung in der Primärgruppe und Revisionsgruppe zum Zeitpunkt der Operation
- Abbildung 10:** Axiale MRT-Aufnahme des Musculus gluteus medius einer 75-jährigen Patientin vor (A) und sechs Monate nach (B) einer Erstrevisionsoperation am Hüftgelenk
- Abbildung 11:** Schematische Darstellung der fettigen Degeneration des GM in der Primärgruppe (A), Erstrevisionsgruppe (B) sowie Mehrfachrevisionsgruppe (C)

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Entwicklung der jährlichen Fallzahlen an Revisionseingriffen am Hüftgelenk in Deutschland seit 2005
- Tabelle 2:** Klassifikationssystem der fettigen Muskelatrophie von Goutallier
- Tabelle 3:** Studienprotokoll
- Tabelle 4:** Klassifikation der American Society of Anesthesiologists
- Tabelle 5:** Vergleich der Patienteneigenschaften zwischen der Primärgruppe und Revisionsgruppe
- Tabelle 6:** BMI-Verteilung innerhalb der Primärgruppe und Revisionsgruppe in Prozent
- Tabelle 7:** Intraindividuelle Ergebnisvergleich zwischen den präoperativen und postoperativen klinischen Funktionsparametern in der Primärgruppe und Revisionsgruppe
- Tabelle 8:** Vergleich der klinischen Funktionsparameter zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe ein Tag präoperativ
- Tabelle 9:** Vergleich des Trendelenburg-Zeichens und Hinkverhaltens zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe ein Tag präoperativ
- Tabelle 10:** Vergleich der klinischen Funktionsparameter zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ
- Tabelle 11:** Vergleich des Trendelenburg-Zeichens und Hinkverhaltens zwischen Primärgruppe und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ
- Tabelle 12:** Assoziation zwischen Patienteneigenschaften und mittlerem HHS in der Primär- und Revisionsgruppe sechs Monate postoperativ
- Tabelle 13:** Darstellung der prozentualen Mittelwerte der fettigen Degeneration im anterioren, zentralen und posterioren GM-Drittel präoperativ und sechs Monate postoperativ in der Revisionsgruppe
- Tabelle 14:** Vergleich der fettigen Degeneration in der Erstrevisions- und Mehrfachrevisionsgruppe sechs Monate postoperativ
- Tabelle 15:** Postoperative Zunahme der fettigen Degeneration in der Primär- und Revisionsgruppe
- Tabelle 16:** Degenerative Verfettung des anterioren Musculus gluteus medius Drittels unter Anwendung der Quartile-Klassifikation

Tabelle 17: Auftreten des Trendelenburg-Zeichens bei Patienten mit gering (Quartile-Grad 0-1) sowie stark (Quartile-Grad 2-4) ausgeprägten fettigen Degeneration des GM sechs Monate postoperativ

Abkürzungsverzeichnis

ASA	American Society of Anesthesiologists
AZ	Akquisitionszeit
BMI	Body-Mass-Index
BW	Bandbreite
CMSC	Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
CT	Computertomographie
d	Differenz
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
et al.	et alii
ETL	echo train length
FOV	field of view
FW	Flipwinkel
GM	Musculus gluteus medius
GMM	Musculus gluteus minimus
HHS	Harris Hip Score
HTEP	Hüfttotalendoprothese
M	Mittelwert
M.	Musculus
MIS	minimalinvasive Zugänge
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
pDMS	periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität
postOP	postoperativ
PPAR γ	peroxisome proliferator activated receptor gamma
präOP	präoperativ
ROI	region of interest
SD	Standardabweichung
SF-36	Short form 36
SI	Standardzugänge
TE	Echozeit
TFL	Musculus tensor fasciae latae

TIVA	totale intravenöse Anästhesie
TR	Repetitionszeit
VAS	visuelle Analogskala
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Felix Wauer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Evaluation des Muskelschadens in der Primär- und 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.

Anteilerklärung an erfolgten Publikationen

Der Promovend hatte folgenden Anteil an der vorgelegten Publikation:

Publikation 1: 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. Bone Joint J 2014;96-B:1618-22.

Gesamtanteil des Promovenden: 20%.

Beitrag im Einzelnen: Erhebung der prä- und postoperativen klinischen Untersuchungen sowie Auswertung des MRT-Datensatzes am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin.

Datum, Unterschrift und Stempel des betreuenden Hochschulleiters

Datum, Unterschrift des Doktoranden

Publikationsliste

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. Bone Joint J 2014;96-B:1618-22.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Perka für die Überlassung des Themas, die geduldige Unterstützung über den gesamten Zeitraum der Arbeit und die hilfreichen Gespräche.

Besonders möchte ich mich bei Dr. Philipp von Roth bedanken, ohne den diese Arbeit nie zu Stande gekommen wär und für dessen kostbare Unterstützung, Hinweise und Korrektur in den letzten Monaten ich sehr dankbar bin.

Des Weiteren gilt mein Dank den Mitarbeitern des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie. Hierbei möchte ich mich bei Annette Bowitz bedanken, die das Projekt über den gesamten Zeitraum hilfreich begleitete. Ferner möchte ich mich bei Dr. Gerd Diederichs und Dr. Georgi Wassilew bedanken, die mir die Analyse der MRT-Daten beibrachten und bei Problemen immer eine große Hilfe waren.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und hier speziell Sarah, meinem Sohn Emil, meinen Eltern sowie meinen Großeltern, die mich immer geduldig unterstützten, stets neu ermutigt haben und ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.