

Aus dem Fachbereich Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

betreut am
Zentrum der Chirurgie
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Direktor: Prof. Dr. Ingo Marzi

**Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems bei acetabulärer
Defektsituation – eine retrospektive Auswertung perioperativer Daten**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Maria Michaela Genari

aus Ludwigshafen am Rhein

Frankfurt am Main, 2022

Dekan:	Prof. Dr. Stefan Zeuzem
Referentin:	PD Dr. Maren Janko
Korreferent/in:	Prof. Dr. Andrea Steinbicker
Tag der mündlichen Prüfung:	22.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Thematik	5
1.2 Zielstellung dieser Arbeit.....	8
1.3 Fallbeispiel.....	8
2 Grundlagen	13
2.1 Anatomie und Biomechanik des Acetabulums	13
2.2 Genese der Acetabulumdefekte	14
2.2.1 Komplikationen der Hüftendoprothetik	15
2.2.2 Ursachen acetabulärer Defekte des nativen Hüftgelenks	18
2.3 Diagnostik der Acetabulumverletzung	19
2.4 Klassifikationssysteme.....	20
2.5 Therapiemöglichkeiten	23
3 Material und Methoden	27
3.1 Ethikantrag.....	27
3.2 Studiendesign und Patientenkollektiv.....	27
3.2.1 Allgemeine Daten des Patientenkollektivs.....	28
3.2.2 Chirurgische Daten des Patientenkollektivs.....	32
3.3 Das MUTARS® RS Cup-System.....	34
3.4 Operationsmethode	36
3.5 Nachbehandlungskonzept	42
4 Ergebnisse	45
4.1 Zeitlicher Verlauf.....	45
4.2 Verwendete Implantate	46
4.3 Komplikationen	48
4.3.1 Operationsassoziierte intraoperative Komplikationen	48
4.3.2 Operationsassoziierte postoperative Komplikationen.....	49
4.3.3 Re-Implantationen des MUTARS® RS Cup-Systems.....	52
4.3.4 Internistische Komplikationen	52
4.4 Blutverlust und Hämoglobinverlauf	54
4.5 Transfusionsregime.....	57
4.6 Gerinnung und Antikoagulation	59
5 Diskussion	62
5.1 Risikoprofil der Studienpatienten	62
5.2 Das MUTARS® RS Cup-System.....	63

5.3 Analyse der eingetretenen Komplikationen.....	66
5.4 Perioperative Einflussfaktoren.....	72
5.5 Studien zum Burch-Schneiderring.....	74
5.6 Vorteile und geeignete Indikationen.....	76
5.7 Kontraindikationen und Anwendungsbeschränkungen	77
5.8 Limitationen dieser Arbeit	78
6 Fazit	81
7 Zusammenfassung	84
7.1 Zusammenfassung in deutscher Sprache	84
7.2 Zusammenfassung in englischer Sprache	86
8 Literaturverzeichnis	88
9 Abbildungen	99
10 Tabellen	101
11 Abkürzungen.....	102
12 Einheiten.....	104
13 Schriftliche Erklärung	105

1 Einleitung

1.1 Thematik

Der demografische Wandel in den Industrienationen führt in diesen Teilen der Erde zu einer immer älter werdenden Bevölkerung. Laut statistischem Bundesamt war im Jahr 2021 jede fünfte Person in Deutschland älter als 66 Jahre.¹ Auch das Gesundheitssystem und die darin tätigen Ärztinnen und Ärzte* sehen sich in ihrer täglichen Arbeit zunehmend mit der Versorgung eines betagten Patientenkontingents konfrontiert. Die steigende Lebenserwartung führt aufgrund einer jahrzehntelangen mechanischen Beanspruchung insbesondere der großen Gelenke zu einer steigenden Inzidenz an degenerativen Gelenkerkrankungen.^{2,3} In Kombination mit einer zunehmenden Prävalenz an Fettleibigkeit innerhalb der Bevölkerung als weiteren relevanten Risikofaktor begünstigt dies sowohl die Entstehung als auch die Progression einer Arthrose.⁴⁻⁶ Diese Entwicklung steht dem Wunsch nach aktiver Teilhabe am Leben und schmerzfreier Belastbarkeit bis ins hohe Lebensalter entgegen und mündet in einer stetig wachsenden Fallzahl an endoprothetischen Gelenkersatzoperationen in den Industrienationen.^{7,8} Die Gesamtzahl an Erstimplantationen einer Endoprothese am Hüftgelenk belief sich für das Jahr 2019 in Deutschland auf 243.477 und rangierte damit unter den zehn häufigsten durchgeführten Operationen.⁹ Eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Prothesenmaterials und Verbesserungen der Operationsmethode führen zu sehr guten klinischen Langzeitergebnissen und haben eine Verlängerung der Prothesenstandzeiten zur Folge. Entsprechend einer Metaanalyse aus dem Jahr 2019 lässt sich die Haltbarkeit des künstlichen Hüftgelenks derzeit mit 89,4% nach 15 Jahren und 70,2% nach 20 Jahren beziffern.¹⁰ Trotz dieser guten Langzeitergebnisse überleben viele Menschen die oben genannten Prothesenstandzeiten, was eine ebenfalls steigende Anzahl an Prothesenwechseloperationen notwendig macht. Auch periprothetische Acetabulumfrakturen nach endoprothetischen Eingriffen des Hüftgelenks sind in einem geriatrisch-multimorbiden Patientengut aufgrund des erhöhten Sturzrisikos bei oftmals osteoporotisch veränderter Knochenstruktur häufiger anzutreffen.¹¹ Im Jahr 2019 entfielen insgesamt 35.859 Operationen auf eine Revision, den Wechsel oder die Entfernung einer Endoprothese am Hüftgelenk.⁹ Dieser Trend wird sich aufgrund des voranschreitenden demografischen Wandels sehr wahrscheinlich auch in den kommenden Jahren und Jahrzehnten fortsetzen. Als häufigster Grund für das Versagen einer Endoprothese muss die aseptische Lockerung als Ursache genannt werden.¹²⁻¹⁴ Pathogenetisch führen

Abriebpartikel des künstlichen Gelenkersatzes zu einer chronischen periprothetischen Entzündungsreaktion, die einen Substanzverlust des umliegenden Knochens im Sinne einer Osteolyse zur Folge hat.^{15,16} Bei den Wechseloperationen ist in mehr als der Hälfte der Fälle die Pfannenkomponente mitbetroffen.¹² Sie gehen ähnlich wie die operative Versorgung einer periprothetischen Acetabulumfraktur bei einliegender Hüftgelenk-Totalendoprothese (H-TEP) mit großen (peri-) acetabulären Substanzdefekten einher. Diese Situation kann einen konventionellen Pfannenersatz schwierig bis unmöglich machen.

Eine weitere Entität, die mit schwerwiegenden Substanzdefekten im Bereich des Acetabulums vergesellschaftet sein kann, ist die Acetabulumfraktur. Hierbei spielt ebenfalls die demografische Entwicklung eine wesentliche Rolle. Sensomotorische Beeinträchtigungen nehmen ebenso wie kognitive und koordinative Leistungseinschränkungen mit steigendem Alter zu und führen zu einem erhöhten Sturzrisiko.¹⁷⁻¹⁹ In Kombination mit einer im Alter abnehmenden Knochendichte und -stabilität im Sinne einer Osteoporose begünstigt dies das Risiko, bereits im Rahmen eines Niedrigenergie-traumas (z.B. Sturz aus dem Stand) eine schwerwiegende Knochenverletzung zu erleiden.²⁰ Die Acetabulumfraktur wird unter dem ICD 10-Diagnosecode S32.4 erfasst. Eine Auswertung der Frakturhäufigkeiten aller deutschen medizinischen Einrichtungen anhand des ICD-Codes ergab für das Jahr 2019 eine Inzidenz von 12 pro 100.000 Einwohnern, was einer Gesamtzahl von 8142 Acetabulumfrakturen entspricht.²¹ Hierbei lag der Anteil der über Siebzigjährigen bei 71%. Die gleiche Auswertung zeigte auch, dass die Acetabulumfraktur im 10-Jahresvergleich mit einer Zunahme von 58% die Fraktur mit dem höchsten Inzidenzanstieg ist.²¹ Ebenso wie für die Erstimplantations- und Wechseloperationszahlen bei den H-TEP ist auch hier mit einem weiteren Anstieg in den kommenden Jahren zu rechnen. Je nach Ausmaß der Acetabulumfraktur und arthrotischer Vorschädigung des Gelenks stehen verschiedene operative Therapieoptionen wie die stufenfreie Reposition und Rekonstruktion mittels Plattenosteosynthese^{22,23} oder der primäre Gelenkersatz durch Implantation einer H-TEP^{24,25} zur Verfügung. Nicht selten jedoch machen ausgedehnte knöcherne Substanzverluste und eine verminderte Knochenqualität die sichere Fixierung des Standardprothesenmaterials im Rahmen der operativen Versorgung schwierig bis unmöglich.

Alle genannten Situationen, die eine operative Überbrückung des höhergradigen Acetabulumdefekts notwendig machen, stellen den Chirurgen, insbesondere in Koexistenz mit einer vorbestehenden osteopenen Knochenstruktur, vor große technische Herausforderungen.²⁶⁻²⁸ Standardprothesensysteme reichen zur Wiederherstellung einer stabilen Gelenksituation hierfür oft nicht aus, da sie nur unzureichend im verbleibenden Knochenstock verankert werden können. In diesen Fällen hat der Operateur die Möglichkeit auf verschiedene Revisionssysteme zur Implantation im Bereich des Acetabulums zurückzugreifen. Im klinischen Alltag hat sich seit einigen Jahrzehnten der Burch-Schneider (BS)-Ring als geeignetes Verfahren zur Überbrückung solcher acetabulären Knochendefekte etabliert und repräsentiert damit den Hauptvertreter der Abstützschalen mit seitlichen Laschen.²⁹⁻³¹ Da das Polyethylen (PE)-Inlay in den BS-Ring einzementiert werden muss, können sich hieraus Nachteile wie z.B. die Lockerung der Zementfixierung des Inlays im Laufe der Zeit ergeben.³² Diese Komplikation war ein Aspekt, weshalb das Konzept der Abstützschale vielfach weiterentwickelt wurde. Seit dem Jahr 2012 ist ein weiteres Revisionssystem der Firma implantcast GmbH unter dem Namen MUTARS® RS Cup auf dem Markt verfügbar. Diese Titan-Revisionspfanne mit seitlichen Laschen wird zementfrei in das Acetabulum eingebracht und das passende PE-Inlay als integriertes System eingeklickt. Somit lassen sich diese Schnittstelle und die damit verbundenen Komplikationen vermeiden. Das System zeichnet sich nicht nur durch seine technische Weiterentwicklung aus, sondern auch durch seine Modularität, weshalb es für verschiedene Indikationsstellungen im Bereich der Acetabulum(revisions)-Chirurgie herangezogen werden kann.

* Im Folgenden wurde für die bessere Lesbarkeit des Textes nur die männliche Form bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern gewählt – die weibliche und anderweitige Geschlechtsidentitäten sind jedoch selbstverständlich stets mitgemeint.

1.2 Zielstellung dieser Arbeit

Erst seit wenigen Jahren ist das MUTARS® RS Cup-System der Firma implantcast GmbH auf dem Markt erhältlich und bietet damit eine alternative chirurgische Therapieoption zur operativen Versorgung großer Acetabulumdefekte, bei denen bisher ein BS-Ring zum Einsatz kam. Ziel dieser Studie ist es, das MUTARS® RS Cup-System hinsichtlich seiner vielseitigen Einsatzmöglichkeiten sowohl beim primären Acetabulumdefekt als auch im Rahmen aufwendiger Revisionsarthroplastiken nach H-TEP, die mit ausgedehnten acetabulären Substanzdefekten einhergehen, vorzustellen. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf die präoperative Planung, die intraoperative Handhabung des Systems, sowie die perioperativen Komplikationen im kurz- bis mittelfristigen Versorgungszeitraum gelegt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen im Folgenden Studienerkenntnissen über den bisher angewandten BS-Ring hinsichtlich operationstechnischer Unterschiede sowie Komplikationsraten gegenübergestellt werden.

1.3 Fallbeispiel

Das folgende Fallbeispiel soll einen Einblick geben, warum die Weiterentwicklung von Abstützsystemen zur operativen Versorgung schwerwiegender Knochensubstanzdefekte des Acetabulums unerlässlich ist. Des Weiteren zeigt es den erfolgreichen Einsatz des MUTARS® RS Cup-Systems als eine zuverlässige Therapieoption, der man insbesondere im Rahmen der Revisionschirurgie acetabulärer Defekte einen festen Platz zusprechen kann.

Im Jahr 2005 wurde in unsere Universitätsklinik ein 43-jähriger männlicher Patient nach einem Motorradunfall mit der Diagnose einer dorsalen Hüftgelenkluxation auf der rechten Seite und damit einhergehender Mehrfragmentfraktur des Acetabulums unter Beteiligung des hinteren Acetabulumrandes (AO-Klassifikation Typ A2.3) und primärer Instabilität aufgenommen. In einem ersten Behandlungsschritt wurde die Dislokation durch Traktion und Immobilisation des betroffenen Beins reduziert. Am darauffolgenden Tag erfolgte dann die chirurgische Frakturversorgung durch das Einbringen einer dorsalen Platten- und Schraubenosteosynthese. Im Rahmen der Frühmobilisation klagte der Patient über plötzlich aufgetretene Schmerzen und ein Instabilitätsgefühl im Bereich

des rechten Hüftgelenks sowohl in Ruhe als auch unter Bewegung. Die unverzüglich veranlasste radiologische Diagnostik zeigte eine erneute Luxation des rechten Hüftgelenks mit Dislokation von Pfannenrandfragmenten nach intra- und extraartikulär. Ein Revisionseingriff war indiziert und erfolgte durch das Einbringen einer komplementären Plattenosteosynthese. Es sollte erwähnt werden, dass in der Anamnese des Patienten ein chronischer Alkoholabusus bekannt war und folglich Zweifel bezüglich seiner Therapieadhärenz bestanden.

Nach weiteren zwei Monaten präsentierte sich die rechte Hüftgelenkregion erneut zunehmend schmerzhaft. In der daraufhin durchgeführten Bildgebung stellte sich eine Nekrose des rechtsseitigen Femurkopfs mit Subluxation desselben dar. Aus diesem Grund erfolgte eine weitere Operation, in der die kraniale Plattenosteosynthese entfernt und eine Acetabulumdachplastik mittels autologer Spongiosa und Implantation einer Abstützschale (M.-E.-Müller-Dachschale, Fa. Mathys AG, Bettlach, Schweiz) durchgeführt wurde. Auf der femoralen Seite erfolgte die zementfreie Implantation einer CLS® Spotorno® Hüftschafftprothese (Fa. Zimmer Biomet GmbH, Freiburg im Breisgau, Deutschland), die mit einem Keramikkopf besetzt wurde (Abb. 1).



Abb. 1: Postoperative Röntgenkontrolle als Beckenübersichtsaufnahme nach Implantation der M.-E.-Müller-Dachschale und einer Standardprothese

In den darauffolgenden sechs Jahren traten wiederkehrende Subluxationen des Gelenks mit einer Lockerung der Revisionspfanne auf, sodass im Jahr 2011 die Pfannenkomponente, das PE-Inlay und der Prothesenkopf ausgetauscht werden mussten (Abb. 2).



Abb. 2: Nach rezidivierenden Subluxationen wurde ein Teil der H-TEP ausgetauscht.

Anamnestisch erfolgten daraufhin auswärtig weitere Operationen, zu denen uns leider keine Bildnachweise vorliegen. Im Jahr 2018 stellte sich der Patient jedoch erneut mit wiederkehrenden Subluxationen der rechtsseitig einliegenden Revisions-H-TEP in unserer Universitätsklinik vor. Die nach stationärer Aufnahme durchgeführte Röntgendiagnostik zeigte, dass zwischenzeitlich eine neue Pfanne im Bereich des Acetabulums implantiert und die Plattenosteosynthese entfernt wurde. Außerdem wurde der Prothesenschaft durch einen neuen modularen Schaft ersetzt (Abb. 3).



Abb. 3: Wiederkehrende Subluxation der Revisions-H-TEP auf der rechten Seite³³

In der Folge wurde ein komplexchirurgischer Ersatz der Prothese durch Implantation eines MUTARS® RS Cup-Systems durchgeführt. Wir implantierten eine 58mm große Revisionspfanne mit dem passenden 2M 15°-Inlay in Größe 46/52mm. Als tripolare Versorgung wurde dies mit einem PE-Hüftkopf implacross EcoFit® 2M 28/46mm sowie

28mm Titan-Kopf kombiniert. Zudem wurde als Halsverlängerung ein BioBall® Adapter Standard (+7,0) XL (Merete® Medical GmbH, Berlin) eingesetzt (Abb. 4).



Abb. 4: Die postoperative Röntgenkontrolle nach Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems (unter Beibehaltung des alten Prothesenschafts) zeigt die korrekte Lage des eingebrachten Fremdmaterials.³³

Nach weiteren zwei Jahren stellte sich der Patient im Jahr 2020 erneut über unsere Notaufnahme vor. Als Folge eines Sturzes erlitt er eine periprothetische proximale Femurfraktur rechts (Typ Vancouver A_G und A_L) unter Beteiligung beider Trochanter (Abb. 5).



Abb. 5: Periprothetische Femurfraktur rechts (Typ Vancouver A_G und A_L)

Daraufhin erfolgte die chirurgische Frakturversorgung mit einer winkelstabilen 6-Loch-Hakenplatte und das Einbringen zweier Kabel-Cerclagen. Das 20 Monate zuvor eingebrachte MUTARS® RS Cup-System präsentierte sich intraoperativ

erfreulicherweise weder gelockert noch beschädigt. Nach anfänglicher Teilbelastung konnte der Patient zuletzt schmerzfrei vollbelasten und beklagte hierbei lediglich geringfügige Bewegungseinschränkungen des rechten Hüftgelenks (Abb. 6).



Abb. 6: Nach Implantation einer 6-Loch-Hakenplatte und zweier Kabel-Cerclagen am rechten proximalen Femur

Somit ist dieser Fallbericht ein gutes Beispiel dafür, dass die MUTARS® RS Cup ein ideales System für die komplexe Situation der Revisionschirurgie im Bereich des Acetabulums darstellt.

2 Grundlagen

2.1 Anatomie und Biomechanik des Acetabulums

Die *Articulatio coxae* (Hüftgelenk) wird gebildet durch das Zusammenspiel zwischen *Caput femoris* (Hüftgelenkkopf) und *Acetabulum* (Hüftgelenkpfanne). An der Bildung des *Acetabulums* selbst sind wiederum drei Knochen des Beckens beteiligt: das *Os ilium* als kranialer, das *Os ischii* als dorsaler und das *Os pubis* als ventraler Anteil. Diese drei Anteile der Beckenknochen stehen über eine Y-förmige Fuge miteinander in Verbindung, welche sich etwa bis zum 14. Lebensjahr verschließt.³⁴ Dabei bilden sie eine tiefe Gelenkpfanne, wodurch eine sichere knöcherne Führung des Gelenks gewährleistet wird. Der kraniale Teil der Circumferenz des knöchernen *Acetabulumrandes* (*Limbus acetabuli*) wird durch das *Labrum acetabuli* faserknorpelig ausgekleidet. Zusätzlich kann das *Acetabulum* in die *Fossa acetabuli*, eine mit fettreichem Bindegewebe gefüllte Vertiefung, und eine diese umgebene halbmondförmige Gelenkfläche, *Facies lunata acetabuli*, unterteilt werden. Die *Facies lunata* ist mit hyalinem Knorpel überzogen und maßgeblich an der Kraftübertragung beteiligt.³⁵ Eine wichtige Rolle hierbei spielt das Pfannendach, weshalb der Gelenkknorpel des kranioventralen *Acetabulumrandes* deutlich stärker ausgebildet ist.³⁵ An ihrem kaudalen Anteil weist die Gelenkfläche eine Aussparung (*Incisura acetabuli*) auf, die durch das *Lig. transversum acetabuli* überbrückt wird. In diesem Bereich entspringt das *Lig. capitis femoris*, welches intraartikulär zum Femurkopf zieht und die *A. capitis femoris*, einen kleinen Ast des *Ramus acetabularis* der *A. obturatoria*, in sich trägt.

Aufgrund seiner nahezu runden Form zählt das Hüftgelenk zu den Kugelgelenken und ermöglicht mit seinen drei Freiheitsgraden einen großen Bewegungsumfang des Beins in alle Richtungen. Neben der exzellenten knöchernen Führung ist das Hüftgelenk von einer straffen Gelenkkapsel umgeben. Des Weiteren verlaufen extraartikulär drei kräftige Bänder spiralförmig zum proximalen Femurhals und verstärken dabei die Gelenkkapsel zusätzlich mit Faseranteilen. In Extensionsstellung des Hüftgelenks sind alle drei Bänder und die Gelenkkapsel maximal gespannt, sodass im aufrechten Stand und Gang eine stabile Kraftübertragung vom Rumpf auf die untere Extremität gewährleistet werden kann. Nach Letournel lässt sich das *Acetabulum* nicht nur anatomisch, sondern insbesondere biomechanisch in einen ventralen und einen dorsalen Pfeiler unterteilen (Abb. 7). Durch diese beiden Pfeiler verlaufen die Hauptkraftlinien im Becken.³⁴ Diese

Unterteilung spielt nicht nur eine wichtige Rolle bei der Kraftübertragung, sondern stellt zudem die Grundlage einiger Klassifikationssysteme der Acetabulumfraktur dar. Dabei übernimmt der ventrale Pfeiler überwiegend die Kraftübertragung zwischen Scham- und Darmbein, wohingegen der dorsale Pfeiler existenziell für die Kraftübertragung zwischen Sitz- und Darmbein ist^{36,37} und damit die Hauptlast des Körpergewichts im aufrechten Stand auf die untere Extremität überträgt.³⁸ Folglich kommt einer Verletzung bzw. einem Substanzdefekt der für die Kraftübertragung maßgeblichen Komponenten (Pfannendach und dorsaler Pfeiler) eine besondere therapeutische und prognostische Bedeutung zu.³⁹

Am Schnittpunkt beider Pfeilerlinien ist die Facies quadrilaterales lokalisiert.⁴⁰ Sie ist die dünnste Stelle des knöchernen Acetabulums und stellt die mediale Begrenzung zum kleinen Becken hin dar.³⁷

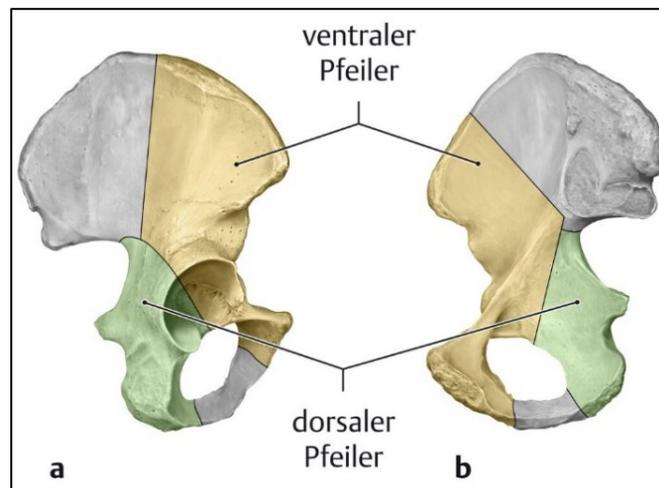


Abb. 7: Zeichnerische Darstellung des Os coxae mit farblicher Markierung der beiden Pfeiler (a Ansicht von lateral, b Ansicht von medial)³⁴

2.2 Genese der Acetabulumdefekte

Die Ursachen, die der Entstehung knöcherner Substanzdefekte des Acetabulums zugrunde liegen, sind sehr vielfältig. Im Folgenden werden die häufigsten und für dieses Studienkollektiv wichtigsten Pathomechanismen detaillierter ausgeführt.

2.2.1 Komplikationen der Hüftendoprothetik

Aseptische Lockerungen

Eines der zentralen Probleme der Endoprothetik und der häufigste Grund für ein Implantatversagen stellt nach wie vor die aseptische Lockerung dar.⁴¹ Je nach Studie werden für diese implantatassoziierte Langzeitkomplikation bei Revisionsoperationen nach H-TEP Raten von 55,2% bis zu 75,3% angegeben.^{13,42} Die Pfannenkomponente ist hiervon häufiger betroffen als der Prothesenschaft.¹² Zunächst ging man bei diesem Phänomen von einer spezifischen Reaktion auf den zur Implantatfixierung eingebrachten Knochenzement aus.⁴³ Nach Entwicklung zementfreier Prothesen, die in Press-Fit Technik verspannt werden und die über eine mikroporöse Struktur das Prinzip der Oberflächenvergrößerung mit einer damit einhergehenden verbesserten Osteointegration verfolgen,⁴⁴⁻⁴⁷ bestand die Problematik der aseptischen Lockerung jedoch fort.⁴⁸ Nach heutigen Erkenntnissen stehen folgende zwei Faktoren im Fokus der Pathogenese der aseptischen Lockerung. Abriebpartikel der artikulierenden künstlichen Prothesenkomponenten führen zu lokalen periprothetischen Entzündungsreaktionen. Hierdurch bildet sich Granulations- und Bindegewebe, das den Knochen verdrängt und dabei Osteolysezonen zwischen Implantat und Knochenlager entstehen lässt.^{41,49,50} Neuere Studien konnten zeigen, dass durch die Verwendung von hochvernetztem PE als Inlaymaterial weniger Abriebpartikel entstehen und sich in der Folge die Rate an Osteolysen, aseptischen Lockerungen und Revisionsoperationen reduziert.⁵¹ Der andere relevante Einflussfaktor liegt in den Mikrobewegungen der beteiligten Komponenten begründet.⁴¹ Diese entstehen aufgrund unterschiedlicher Elastizitätsmodule an der Grenzzone zwischen Implantat bzw. Zement und Knochenlager. Mit Hilfe radiostereometrischer Analysen können diese frühzeitig detektiert werden.⁵² Das Zusammenspiel beider Aspekte stört das mechanische und biologische Gleichgewicht, das für einen stabilen Kontakt zwischen Prothesenschale und knöchernem Pfannenlager notwendig ist. In der Folge kommt es zum Auslockern der Pfannenkomponente. Klinisch repräsentieren Patienten, die von einer aseptischen Lockerung betroffen sind, belastungsabhängige Schmerzen und ein Instabilitätsgefühl.⁵³ Im späteren Verlauf lässt sich radiologisch ein zunehmender periprothetischer Lyseaum darstellen.

Periprothetische Infektionen

Die periprothetische Infektion ist eine schwerwiegende und deshalb gefürchtete Komplikation und wird für den Bereich der primären Endoprothese des Hüftgelenks mit einer durchschnittlichen Inzidenz von 0,2 bis 2% angegeben.⁵⁴⁻⁵⁷ Nach der aseptischen Lockerung und der Luxation stellt sie den dritthäufigsten Grund für eine Revisionsoperation dar.¹⁴ Handelt es sich hingegen um einen Revisionseingriff nach H-TEP liegt die Inzidenz mit ca. 5% bereits deutlich höher.⁵⁸ Unterteilt werden periprothetische Infektionen nach ihrem zeitlichen Auftreten im postoperativen Verlauf. Als akuter oder früher Infekt wird der Zeitraum innerhalb der ersten drei Monate nach Implantation angesehen, wohingegen chronische oder späte Infekte ab einem postoperativen Intervall von mehr als drei Monate auftreten.⁵⁹ Das Keimspektrum reicht von Koagulase-negativen Staphylokokken über Staphylokokkus aureus und Enterokokken bis hin zu gram-negativen Erregern.⁶⁰ Dabei können Bakterien entweder im Rahmen der Operation selbst eingetragen werden oder als hämatogene Aussaat bzw. kontinuieritätsausbreitend von einem anderen Infektfokus den periprothetischen Infekt verursachen. Sowohl patientenabhängige Risikofaktoren (z.B. Adipositas, Diabetes mellitus, Nikotin- und Alkoholabusus) als auch operationsabhängige (z.B. lange Operationszeiten, Revisionseingriffe) und implantatabhängige (Mega-, Tumorprothesen) Faktoren erhöhen das Risiko für eine Infektion.⁵⁸ Neben den typischen klinischen Anzeichen einer Infektion zusammen mit Fieber, Unwohlsein und erhöhten laborchemischen Entzündungsparametern, gilt der mikrobiologische Nachweis von Erregern aus tiefen Gelenkpunktaten und periprothetischen Gewebebiopsien als beweisend für einen Infekt.⁶¹ Durch die konsequente Verfolgung der Therapieaspekte Fokussanierung, durch ausgiebiges chirurgisches Wunddebridement, und gezielte antibiotische Therapie, ist ein Prothesenerhalt in 35-90% der Fälle möglich.⁶² Andernfalls wird ein Prothesenausbau, das Ausheilen des tiefen Gelenkinfekts als Girdlestone-Situation, unter Einlage eines mit Antibiotikum imprägnierten Spacers, und eine zweizeitige Wechseloperation erforderlich.⁶³ Diese Strategie kann mit einem nicht unbeträchtlichen Substanzverlust vor allem im Bereich des Pfannenlagers einhergehen. Das durch die langanhaltende Entzündungsreaktion stark veränderte Restknochengewebe macht den Wiedereinbau technisch deutlich anspruchsvoller.

Rezidivierende Luxationen

Die Komplikation der Luxation einer H-TEP wird in der Literatur mit einer jährlichen Rate von 0,2 bis 7% nach Primäreingriffen angegeben.^{64,65} Dabei stellen sie nach Auswertungen nationaler Registerdaten in 11-24% der Fälle den zweithäufigsten Grund für eine Revisionsoperation dar.^{12,66} Patienten nach Revisionseingriffen und Prothesenwechseloperationen sind mit einer Luxationsrate von bis zu 28% deutlich häufiger von dieser Komplikation betroffen.¹⁴ Wie bei den periprothetischen Infektionen können auch hier frühe von späten Luxationen unterschieden werden. Des Weiteren muss das zugrundeliegende Trauma eruiert werden. Bei frühen Luxationen innerhalb der ersten sechs Monate und einem inadäquaten Trauma liegen meist eine muskuläre Insuffizienz oder Fehlplatzierung der Prothesenkomponenten vor. Insbesondere bei Positionierung der Prothesenpfanne muss auf einen korrekten Inklinations- und Anteversionswinkel (sog. „safe zone“) geachtet werden.⁶⁷ Daneben bilden eine optimale Rekonstruktion des anatomischen Rotationszentrums sowie die Wiederherstellung des femoralen Offsets die Grundlage für ein gutes biomechanisches Outcome.⁶⁸ Bei den späten Luxationen sind meist ein Materialversagen oder eine adäquate Gewalteinwirkung ursächlich.⁶⁹ Auch der operative Zugangsweg und das damit verbundene Zugangstrauma haben Einfluss auf die muskuläre Integrität und die Luxationsrate.⁷⁰ Rezidivierende Luxationen sollten einer operativen Therapie zugeführt werden, wofür sich dann besonders der Einsatz einer tripolaren Prothesenvariante eignet.⁷¹ Dabei wird ein normaler Endoprothesenkopf in einem größeren Hüftkopf fest verblockt und in das Inlay verbracht. Durch Schaffung einer zweiten Artikulationsfläche mit größerem Durchmesser erhöht sich das Kopf-zu-Hals-Verhältnis, wodurch sich sowohl die Luxationsdistanz vergrößert als auch der impingementfreie Bewegungsumfang erhöht.⁷¹

Periprothetische Acetabulumfrakturen

Auch die Inzidenz periprothetischer Acetabulumfrakturen nimmt mit steigender Anzahl implantierter H-TEP und einem zunehmend geriatrisch-multimorbiden Patientengut zu.¹¹ In ca. 75% der Fälle treten diese Frakturen im Rahmen von Niedrigenergie- und Bagatelltraumen als Insuffizienzfrakturen auf.⁷² Begünstigt durch eine osteoporotisch veränderte Knochenqualität resultieren hieraus oftmals beträchtliche Substanzdefekte,¹¹ was die operative Versorgung dieser Verletzungen deutlich erschwert.⁷³ Hiervon gilt es die intraoperativen Acetabulumfrakturen, die sich beim Fräsen bzw. Verspannen der

zementfreien Prothesenpfanne ereignen, abzugrenzen. Deren Auftreten ist ebenfalls mit einer verminderten Knochenqualität assoziiert – stellt aber mit ca. 0,5% eine eher seltene intraoperative Komplikation dar.⁷⁴ Wichtig ist die iatrogene Acetabulumfraktur intraoperativ zu Erkennen und insbesondere bei Beteiligung des hinteren Pfeilers Maßnahmen zur Stabilisierung einzuleiten, da sich sonst in der Folge eine Instabilität der Pfannenkomponente mit der Notwendigkeit weiterer Operationen ergibt.⁷⁵

2.2.2 Ursachen acetabulärer Defekte des nativen Hüftgelenks

Acetabulumfraktur

Die Acetabulumfraktur stellt mit einer Inzidenz von 12 pro 100.000 Einwohnern eine seltene Entität unter den Frakturen dar.²¹ Aber auch hier ist ein deutlicher Inzidenzanstieg bei geriatrischen Patienten zu beobachten.^{21,22} Wenn man von Acetabulumfrakturen spricht, muss man diese weiter in direkte und indirekte Frakturen unterteilen, da ihnen unterschiedliche Unfallmechanismen zugrunde liegen und sich der Altersgipfel beider Patientengruppen deutlich voneinander unterscheidet. Direkte Acetabulumfrakturen sind selten, betreffen meist junge Patienten und entstehen durch direkte Krafteinwirkung auf das Becken zum Beispiel im Rahmen eines Überrolltraumas. Häufig sind damit weitere knöcherne Verletzungen der Beckenregion sowie nicht selten urogenitale und abdominelle Begleitverletzungen verbunden.³⁸ Sehr viel häufiger treten indirekte Acetabulumfrakturen auf. Hierbei wird die einwirkende Kraft über das Femur Richtung Acetabulum geleitet. Je nach Stellung des Hüftkopfs im Acetabulum und Richtung der einwirkenden Kraft resultieren daraus unterschiedliche Frakturmuster.⁷⁶⁻⁷⁸ Hochrasanztraumen entstehen klassischerweise als „dashboard injury“ bei Auffahrunfällen im Straßenverkehr. Hierbei wird die vom Armaturenbrett auf das Knie einwirkende Kraft über das Femur auf das gebeugte Hüftgelenk übertragen.^{36,79} Dieser Unfallmechanismus verursacht posteriore Luxationen und Frakturen der hinteren Acetabulumwand.^{39,76,79} Dem gegenüber stehen die Niedrigenergietraumen, wie sie sich oft als Sturz auf den Trochanter major aus geringer Höhe z.B. als Stolpersturz ereignen.^{36,80,81} Je nach Stellung des Femurs zum Zeitpunkt des Sturzes resultieren daraus Frakturen der vorderen Acetabulumwand oder zentrale Trümmerfrakturen des Pfannengrunds.^{39,82} Hiervon betroffen sind überwiegend geriatrische Patienten mit einer osteoporotisch geschwächten Knochentextur.

Knochenmetastasen

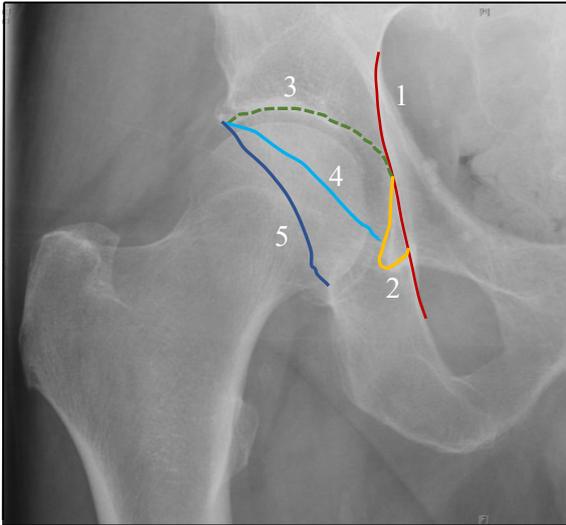
Primäre maligne Knochentumore treten insbesondere im späten Erwachsenenalter selten auf. Viel häufiger sind in dieser Altersgruppe sekundäre Knochentumore – wobei die osteolytischen Defekte durch ossäre Metastasen eines malignen Grundleidens verursacht werden.⁸³ Nach Lunge und Leber ist das Skelettsystem, insbesondere die Wirbelsäule und das Becken, die dritthäufigste Lokalisation für Metastasen.⁸⁴ Somit können sie auch im Bereich des Acetabulums große knöcherne Substanzdefekte hervorrufen.

Rheumatoide Arthritis

Auch eine rheumatoide Arthritis kann aufgrund entzündlicher Prozesse zu schwersten Gelenkdestruktionen führen. Dies geht mit einem Verlust der Knorpelsubstanz einher, was zu einer Verschmälerung des Gelenkspalts führt.⁸⁵ Zudem wird dieses Erkrankungsbild durch periartikuläre Erosionen und Demineralisierung sowie durch Ausbildung subchondraler Geröllzysten geprägt,⁸⁶ was zur deutlichen Schwächung der Knochenqualität des künftigen Pfannenlagers beitragen kann.

2.3 Diagnostik der Acetabulumverletzung

Neben einer ausführlichen Anamnese bezüglich des Unfallhergangs und relevanter Vorerkrankungen sowie Risikofaktoren hinsichtlich einer Osteoporose gibt die gezielte klinische Untersuchung erste Hinweise auf eine Verletzung des Acetabulums. Des Weiteren sollten Begleitverletzungen oder etwaige Blutungskomplikationen, insbesondere unter der Einnahme von Antikoagulantien, miterfasst und einer geeigneten Diagnostik bzw. Therapie zugeführt werden. Zur Sicherung der Diagnose einer Acetabulumverletzung wird eine bildgebende Diagnostik angeschlossen. Diese kann initial in Form einer konventionellen Röntgenaufnahme als Beckenübersicht im anteroposterioren (a.p.) Strahlengang erfolgen. Zur Befundung und anschließenden Klassifikation der Acetabulumverletzung sollten relevante Kennlinien (Abb. 8) benannt werden können.^{38,76}



- Rot (1): Linea ilioischiadica (Köhler line)*
- Gelb (2): Köhler'sche Tränenfigur (Teardrop)*
- Grün (3): Pfannendach*
- Hellblau (4): vorderer Pfannenrand*
- Dunkelblau (5): hinterer Pfannenrand*

Abb. 8: Radiologische Ansicht einer rechten a.p.-Hüftübersicht mit relevanten Kennlinien des Acetabulums (Quelle: J. W. Goethe-Universitätsklinik Frankfurt am Main)

Zusätzlich können zwei Schrägaufnahmen bei der genaueren Beurteilung des Verletzungsmusters helfen. Durch die beiden nahezu senkrecht aufeinander stehenden Bildebenen werden die Pfannenrandstrukturen überlagerungsfrei dargestellt.⁸⁷ Durch Anheben der gesunden Hüftseite um 45° kann in der Ala-Aufnahme der vordere Acetabulumrand bzw. der dorsale Pfeiler besser eingesehen werden, wohingegen in der Obturator-Aufnahme durch Anheben der erkrankten Seite um 45° eine Beteiligung des hinteren Acetabulumrandes bzw. des ventralen Pfeilers besser diagnostiziert werden kann.⁷⁸ Aufgrund der komplexen Anatomie der Beckenknochen empfiehlt sich jedoch die zusätzliche Durchführung einer Computertomografie (CT). Die CT-Diagnostik in Dünnschichttechnik mit anschließender multiplanarer Rekonstruktion ermöglicht im Vergleich zur konventionellen Röntgenaufnahme eine detailliertere Darstellung der Frakturgeometrie.³⁸ Hieraus lässt sich wiederum eine präzisere präoperative Planung der sich anschließenden Therapie ableiten. Außerdem dient sie der Abklärung möglicher Gefäß-, Weichteil- oder intraabdomineller Begleitverletzungen.

2.4 Klassifikationssysteme

Die Historie der Klassifikationssysteme für Acetabulumfrakturen ist lang. Zielstellung aller sollte eine präzise Einteilung der Verletzungsschwere, eine daraus ableitbare Behandlungsstrategie und eine damit verbundene Prognoseabschätzung sein. Nicht

zuletzt sollte sie möglichst einfach anwendbar sein und die Kommunikation unter den Behandlern vereinfachen. Letournel und Judet orientierten sich an den Hauptfragmenten der Acetabulumfraktur und berücksichtigten in ihrer Klassifikation aus den 1960er Jahren erstmals die für die Biomechanik der Kraftübertragung wichtige Pfeilertheorie des Acetabulums.^{38,88} Die Klassifikation der AO/OTA (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association) in der letzten Überarbeitung von 2018 kann als Weiterführung der Klassifikation nach Letournel betrachtet werden, da neben den anatomischen Frakturaspekten nun zusätzlich prognostisch relevante Faktoren berücksichtigt werden.^{38,78} Zu diesen zählen unter anderem die Anzahl und der Dislokationsgrad der Frakturfragmente sowie die Beteiligung gewichtstragender Gelenkanteile.⁷⁸

Paprosky-Klassifikation (Acetabulum)

Beide genannten Klassifikationen werden im klinischen Alltag häufig angewandt, beziehen sich jedoch auf die Fraktur des nativen Acetabulums. Da die Genese der acetabulären Substanzdefekte wie in Abschnitt 2.2 bereits erläutert sehr vielseitig sein kann und ein nicht unerheblicher Anteil mit einer Revisionsarthroplastik nach vorangegangener Endoprothetik assoziiert ist, eignet sich zur Beurteilung dieser Defektsituationen die Klassifikation nach Paprosky aus dem Jahr 1994.⁸⁹ Daher wurde diese auch in der vorliegenden Arbeit für die Beurteilung des Schweregrads herangezogen. Die Klassifikation orientiert sich ebenfalls an anatomischen Landmarken und berücksichtigt neben dem Ausmaß des acetabulären Knochenverlusts zudem die für die Neu-Implantation einer Revisionspfanne wichtigen knöchernen Stützstrukturen. Hierbei spielen die unter Absatz 2.3 bereits erläuterten Kennlinien eine zentrale Rolle. Vier anatomischen Strukturen kommt hierbei eine besondere Wichtigkeit zu: der vorderen (Kohler line) und hinteren Säule (Ischium), dem belastungstragenden Pfannendach (Hip center) und der medialen Wand (Teardrop) (Tab. 1). Auf diese Weise ermöglicht die Klassifikation dem Chirurgen eine gute präoperative Planung bezüglich des operativen Vorgehens. Je nach Schweregrad des Defekts erlaubt sie zudem eine Abschätzung hinsichtlich des zu erwartenden Bedarfs an Implantaten und Knochentransplantaten, die zur Rekonstruktion benötigt werden.⁹⁰

Classification	Teardrop (medial wall)	Hip center (superior dome)	Kohler line (anterior column)	Ischium (posterior column)	Bone loss (remaining bone bed)
Type 1	Intact	No migration	Intact	Intact	Mild (> 50% cancellous)
Type 2					
2A	Intact	Mild migration < 2 cm superomedial	Intact	Intact	Moderate (< 50% cancellous)
2B	Intact	Moderate migration < 2 cm superolateral	Intact	Intact	Moderate (< 50% cancellous)
2C	Moderate lysis	Mild migration < 2 cm medial	Disrupted	Intact	Moderate (< 50% cancellous)
Type 3					
3A	Moderate lysis	Severe migration > 2 cm superolateral	Intact	Moderate lysis	Severe 10–2 o'clock loss (40%–70% sclerotic)
3B	Severe lysis	Severe migration > 2 cm superomedial	Disrupted	Severe lysis	Severe 9–5 o'clock loss (30% sclerotic)

Tab. 1: Paprosky-Klassifikation (Acetabulum) – Einteilung des Schweregrads anhand der knöchernen Substanzdefekte⁸⁹⁻⁹¹

Die Paprosky-Klassifikation umfasst drei Schweregrade, bei denen der knöcherne Substanzdefekt von Typ 1 bis Typ 3 zunimmt (Abb. 9 und Tab. 1). Typ 1 (Abb. 9 A) beschreibt einen minimalen metaphysären Knochenverlust bei vollständiger Integrität aller Acetabulumrandstrukturen. Bei Typ 2 (Abb. 9 B-D) liegt bereits ein deutlicher metaphysärer Knochenverlust vor, aber die Ausdehnung der Pfannenmigration beträgt weniger als 2cm. Je nach Migrationsrichtung der Pfanne wird der Substanzdefekt Typ 2 in die Subgruppen A bis C unterteilt. Bei Schweregrad Typ 2C liegt eine zentrale Migrationsrichtung der Pfanne vor und die mediale Wand zum kleinen Becken ist durchbrochen. Typ 3 (Abb. 9 E-F) umfasst einen schweren metaphysären und diaphysären Knochenverlust. Neben der Schädigung der medialen Wand findet sich hier auch ein deutlicher Substanzverlust des Acetabulumdachs. Bei Typ 3B liegt eine Zerstörung aller vier Acetabulumrandstrukturen vor. Einige Arbeiten weisen mit Typ 4 (manchmal auch als Typ 3C benannt)⁹² einen weiteren Schweregrad auf, der eine Sonderstellung einnimmt. Dieser geht mit einem ausgedehnten metaphysären und diaphysären Knochenverlust bei zugleich nicht vorhandener Integrität des Isthmus einher und beschreibt damit eine vollständige Diskontinuität der betreffenden Beckenseite.

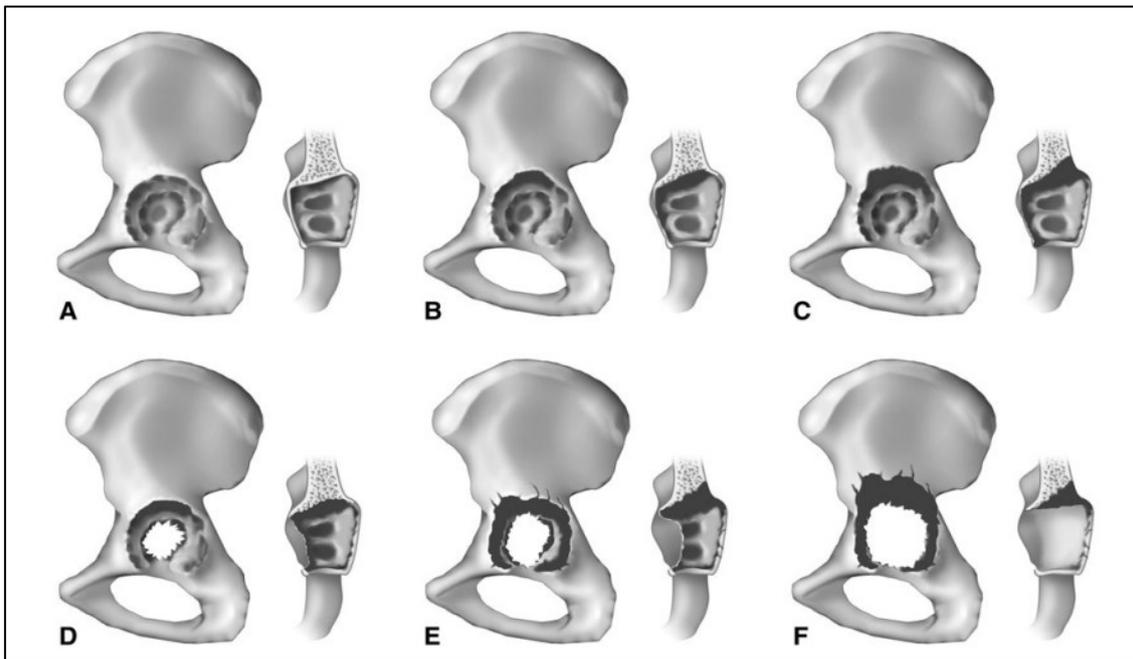


Abb. 9: Paprosky-Klassifikation (Acetabulum) – grafische Darstellung der Schweregrade des knöchernen Substanzverlusts: (A) Typ 1, (B) Typ 2A, (C) Typ 2B, (D) Typ 2C, (E) Typ 3A, (F) Typ 3B⁸⁹⁻⁹¹

2.5 Therapiemöglichkeiten

Trotz verbesserter Zementiertechnik konnten sich zementierte Primärpfannen in der Fragestellung der Pfannenwechseloperation ebenfalls aufgrund einer erhöhten aseptischen Lockerungsrate nicht durchsetzen.^{93,94} Folglich repräsentieren zementfreie Press-Fit Pfannen auch im Revisionsfall bis dato den Goldstandard.⁹⁵ Jedoch ist der Einsatz von Primärpfannen lediglich bei umschriebenen kavitären Defekten erfolgversprechend.⁹⁶ Insbesondere bei größeren Knochenverlusten im Bereich des Pfannenlagers und bei instabilen bzw. fehlenden Acetabulumrandstrukturen ist es technisch oftmals unmöglich, die Läsion mit Hilfe eines Primärimplantats suffizient zu überbrücken und dieses dabei stabil im restlichen Knochenstock zu verankern. Deshalb wurden zur Versorgung dieser Situationen spezielle Revisionssysteme entwickelt. Hierzu zählen extragroße zementfreie Press-Fit Pfannen (sog. Jumbocups), die längsovale Revisionspfanne und Stützschalen ohne Laschen, wie der Müller-Ring oder die Hakendachschale nach Ganz, um nur einige Beispiele zu nennen.⁹⁵⁻⁹⁷ Doch auch diese Konzepte sind nur für ausgewählte Indikationen und spezifische lokalisierte Defekttypen anwendbar und werden daher bei der Rekonstruktion höhergradiger und komplexer

Knochensubstanzverluste im klinischen Alltag weitestgehend durch Abstützschalen mit seitlichen Laschen bzw. modulare zementfreie Revisionsysteme ersetzt.^{96,98,99}

Unabhängig davon, welche Defektsituation vorliegt bzw. welches Revisionsystem zum Einsatz gebracht wird, sollten folgende Behandlungsziele⁹⁶ die Grundlage aller Acetabulum-Revisionsoperationen bilden:

- suffiziente Überbrückung des Defektareals
- mechanisch solide Fixierung des Revisionsimplantats am vitalen tragfähigen Knochen (Primärstabilität)
- Wiederherstellung der Gelenkgeometrie durch korrekte Rekonstruktion des Hüftrotationszentrums
- biologische knöcherne Aufbereitung des acetabulären Defekts durch Auto- bzw. Allograft insbesondere vor dem Hintergrund eines erneuten Revisionseingriffs
- zügige Osteointegration für eine dauerhaft belastbare Implantatverankerung (Sekundärstabilität)

Der Burch-Schneiderring

Als klassischer Vertreter der Abstützschalen mit seitlichen Laschen gilt die seit einigen Jahrzehnten verwendete Revisionschale nach dem Prinzip von Burch-Schneider. Der Schweizer Orthopäde Dr. Hans-Beat Burch entwickelte 1974 den Prototypen dieses Abstützrings, der ebenfalls durch einen Schweizer Dr. Robert Schneider weiterentwickelt wurde. Die heute im klinischen Einsatz genutzte Revisionschale besteht aus Titan und die seitlichen Laschen können für einen verbesserten Knochenkontakt anatomisch zugebogen werden. Die kraniale Lasche wird mit Schrauben im vitalen Knochen des Os ilii verankert, wohingegen die kaudale Lasche im Bereich des Os ischii eingeschlagen oder ebenfalls mit Schrauben befestigt werden kann. Oftmals sind Knochentransplantate notwendig, um den Substanzverlust des Acetabulums auszugleichen und das zukünftige Pfannenlager ausreichend zu unterfüttern. Die beiden seitlichen Laschen vergrößern die Auflagefläche zwischen Abstützschale und dem vitalen und tragfähigen periacetabulären Knochenstock. Hierdurch wird nicht nur eine adäquate Überbrückung des acetabulären Defekts sichergestellt, sondern durch die große Kontaktfläche zwischen Revisionspfanne und Beckenknochen zudem eine gleichmäßige Kraftübertragung gewährleistet.¹⁰⁰ Die Fixierung der Abstützschale im vitalen Knochenstock des Os ilii und Os ischii erzielt eine gute Primärstabilität und verringert eine mediale oder superiore Protrusionstendenz der

Pfanne,^{101,102} weshalb der BS-Ring im angloamerikanischen Sprachraum auch als „antiprotrusio cage“ bekannt ist. Nach Einbringen und Fixieren der Titanschale wird ein normales PE-Inlay in den Revisionsring einzementiert, um eine stabile Verankerung beider Komponenten zu erzielen. Dabei muss auf eine korrekte Anteversion und Inklination des Inlays geachtet werden, um das Rotationszentrum des künstlichen Hüftgelenks optimal zu platzieren. Je nachdem welche Inlay-Größe gewählt wird, variiert die Dicke des Zementmantels zwischen Revisionschale und PE-Inlay. Unter anderem die Arbeit von Perka et al. hat gezeigt, dass für eine sichere Implantation und gute Langzeitergebnisse in puncto Migrations- und aseptischer Lockerungsrate ein weitgehend intakter dorsaler Pfeiler benötigt wird.¹⁰³ Des Weiteren ist für den erfolgreichen Einsatz ein tragfähiges kraniodorsales Pfannendach existenziell – andernfalls sollte dies durch die Anwendung eines Allotransplantats verstärkt werden.¹⁰⁴ Sowohl die Qualität des Knochentransplantats als auch der stabile Kontakt zum Wirtsknochen bzw. zur Oberfläche der zementfreien Revisionspfanne tragen entscheidend zu einer zügigen Osteointegration bei und schaffen hierdurch die Grundlage für eine solide Implantatverankerung und somit für eine dauerhafte Sekundärstabilität.¹⁰⁵

Mit dem Burch-Schneiderring assoziierte spezifische Nachteile

Folgende zwei technische Schwachstellen des BS-Rings können konkret benannt werden:

1. Gerade bei Patienten mit rezidivierenden Luxationen oder wenn sich intraoperativ eine anhaltende Luxationstendenz abzeichnet, hat sich das Prinzip der tripolaren Prothesenversorgung als Standardtherapie etabliert.⁷¹ Da dieses tripolare Design jedoch ausschließlich durch den Einsatz von Knochenzement im klassischen BS-Ring verankert werden kann, steht diese Therapieoption allenfalls mit Einschränkungen zur Verfügung oder die oben genannte Risikogruppe bleibt einem erhöhten Luxationsrisiko bis hin zu einem Ausbruch des acetabulären Rings (Abb. 10) ausgesetzt.⁹⁹



Abb. 10 zeigt den konventionellen Therapieansatz mit einem BS-Ring und die Komplikation eines Einbruchs des distalen Pfannenringsystems ins kleine Becken (Quelle: J. W. Goethe-Universitätsklinik Frankfurt am Main).³³

2. Wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt kann es zur Lockerung der Zementfixierung des PE-Inlays im Laufe der Zeit kommen.³² Des Weiteren ist die Knochenzementreaktion (auch Palacos[®]-Reaktion genannt) weiterhin ein Aspekt der Endoprothetik, der mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert ist.¹⁰⁶ Auch wenn der genaue Pathomechanismus nicht abschließend geklärt ist, kann das Einbringen von polymerisierendem Methylmethacrylat (PMMA) intraoperativ zu arterieller Hypotonie, pulmonalerarterieller Hypertonie, Hypoxie und kardialen Arrhythmien führen.¹⁰⁷ Diese Reaktion ist klassischerweise für den Kontakt zwischen Knochen und Knochenzement beschrieben. Sie tritt insbesondere dann auf, wenn der Knochenzement im Bereich des Femurschafts unter hohem Druck eingebracht wird, was die Theorie der Embolie favorisiert. Solange jedoch der direkte vasodilatatorische Einfluss des PMMA bzw. der Einfluss einer gesteigerten Histaminliberation oder die Aktivierung des Komplementsystems nicht vollständig als mitverursachende Faktoren ausgeschlossen werden können, sollte – wenn möglich – auf die Verwendung eines Knochenzements verzichtet werden.

Voran genannte Komplikationen und technische Einschränkungen verdeutlichen die Forderung nach einer Verbesserung dieses Therapieansatzes und stellen dar, weshalb das Prinzip der Abstützschale durch die Firma implantcast GmbH weiterentwickelt wurde. Seit seiner Markteinführung kommt das MUTARS[®] RS Cup-System in der unfallchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Frankfurt am Main als Alternative zum klassischen BS-Ring zum Einsatz.

3 Material und Methoden

3.1 Ethikantrag

Die Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der J. W. Goethe-Universität Frankfurt am Main hat der Studie mit ihrem Votum vom 04.11.2021 unter der entsprechenden Geschäfts-Nummer 2021-273 zugestimmt.

3.2 Studiendesign und Patientenkollektiv

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Datenanalyse. Der Auswertungszeitraum umfasst fünf Jahre und erstreckt sich von März 2016 bis März 2021. In die Studie eingeschlossen wurden Patienten, die innerhalb dieses Zeitraums an der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der J. W. Goethe-Universitätsklinik Frankfurt am Main mit der Diagnose eines acetabulären Substanzdefekts aufgenommen und im Verlauf ihres stationären Aufenthalts einer operativen Versorgung mittels Implantation eines MUTARS® RS Cup-Systems zugeführt wurden. Nach Durchsicht der Operationspläne ergab sich für den genannten 5-Jahreszeitraum eine Gesamtzahl von 52 implantierten MUTARS® RS Cup-Systemen bei 49 Patienten. Drei Patienten benötigten innerhalb des Auswertungsintervalls einen Revisionseingriff der betroffenen Hüftgelenkseite, der ebenfalls durch Re-Implantation einer MUTARS® RS Cup durchgeführt wurde. Alle in diesem 5-Jahresintervall operierten Patienten wurden in die Studie eingeschlossen.

Als Quelle der perioperativ erhobenen Daten dienten die elektronischen Patientenakten einschließlich der digitalisierten Operations- und Narkoseprotokolle sowie alle archivierten schriftlichen Befunde. Im Rahmen der Datenanalyse wurden einfache Verfahren der deskriptiven Statistik angewandt und die Ergebnisse im Anschluss mit Excel® (Version 2202, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten) tabellarisch und grafisch aufbereitet.

3.2.1 Allgemeine Daten des Patientenkollektivs

Im Folgenden wird das Patientenkollektiv zum Zeitpunkt des Indexeingriffs beschrieben. Hierzu wurden die 49 Erstimplantationen des MUTARS® RS Cup-Systems und ein Revisionseingriff, der 14 Monate nach Erstimplantation stattfand, zusammengefasst und ausgewertet. Die anderen beiden Revisionseingriffe, die innerhalb der untersuchten Kohorte im kurzfristigen postoperativen Intervall notwendig wurden, werden im Kapitel „Ergebnisse“ unter Punkt 4.3.3 näher erläutert.

Alter und Geschlecht

Das Studienkollektiv umfasst 29 Männer (58%) und 21 Frauen (42%). Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Operation betrug 75,6 (Spannweite 36,9-94,4)* Jahre. Unterteilt man das Patientenkollektiv gesondert nach den beiden Kriterien Alter und Geschlecht, fällt eine Inhomogenität der Verteilung auf (Abb. 11). Die weibliche Kohorte war zum Zeitpunkt der Indexoperation mit durchschnittlich 80,1 (36,9-93,4) Jahren deutlich älter als die männliche Kohorte, deren Durchschnittsalter bei 72,4 Jahren (39,3-94,4) lag.

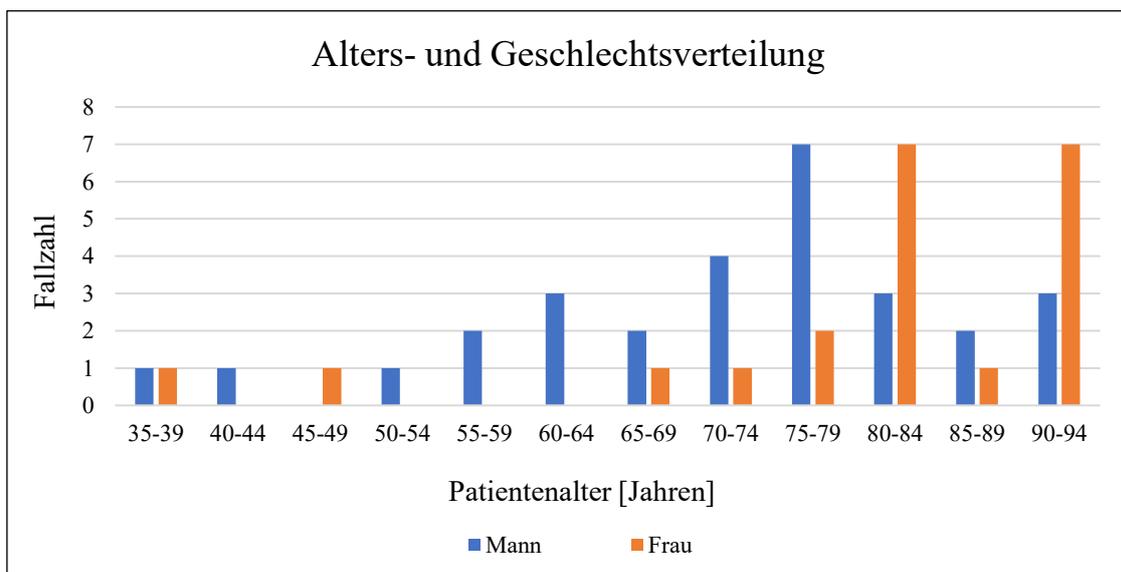


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung des Studienkollektivs nach Altersgruppen und Geschlecht

* Sofern nicht anderweitig gekennzeichnet wird im folgenden Text nach Angabe des Mittelwerts in Klammern die Spannweite unter Nennung von Minimum und Maximum angegeben.

Biometrische Daten

An biometrischen Patientendaten wurden die in der Prämedikationsambulanz erhobenen Parameter Körpergröße und Körpergewicht ausgewertet. Die durchschnittliche Körpergröße betrug 1,70 (1,38-1,90) Meter und das mittlere Körpergewicht 74,5 (40-111) Kilogramm. Hieraus wurde der Body-Mass-Index (BMI) als Quotient aus Größe und Körpergewicht zum Quadrat errechnet. Dieser betrug im Mittel 25,8 (15,6-37,5) kg/m² und lag damit gemäß der Definition des Klassifikationsschemas der WHO¹⁰⁸ knapp in dem als präadipös definierten Bereich. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung ergaben sich geringfügige Unterschiede. Der durchschnittliche BMI der Frauen lag mit 24,6 (15,6-37,5) kg/m² unterhalb dem der Männer mit 26,6 (19,4-35,5) kg/m². 25 Patienten (50%) lagen mit ihrem BMI außerhalb des von der WHO als Normalgewicht festgelegten Bereichs von 18,5 bis 24,9 kg/m² und werden daher im Folgenden aufgegliedert (Tab. 2):

	Untergewicht	Präadipositas	Adipositas		
			Grad I	Grad II	Grad III
BMI [kg/m ²]	< 18,5	≥ 25	≥ 30	≥ 35	≥ 40
Fallzahl Männer	0	11	4	1	0
Fallzahl Frauen	2	3	3	1	0

Tab. 2: Geschlechtergetrennte Zuordnung der nicht normalgewichtigen Patienten zu den Gewichtsklassifikationen anhand des BMI^{108,109}

Physischer Zustand nach ASA-Klassifikation

Den Prämedikationsprotokollen der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin wurde die Einteilung der Klassifikation gemäß der American Society of Anesthesiologists (ASA) entnommen (Tab. 3). Dieses weltweit genutzte Klassifikationssystem gibt dem Anästhesisten die Möglichkeit, den physischen Zustand des Patienten präoperativ anhand klinischer Kriterien und Vorerkrankungen zu beurteilen und einzuordnen.¹¹⁰ In Zusammenschau mit weiteren Faktoren wie dem Patientenalter, der Art und Dauer des operativen Eingriffs sowie weiteren Aspekten, wie z.B. der zeitlichen Dringlichkeit der Operation, ermöglicht es darüber hinaus eine Risikostratifizierung des Patienten hinsichtlich seiner perioperativen Morbidität und dem damit assoziierten Mortalitätsrisiko. Weiterhin fließt die ASA-Klassifikation in verschiedene Scores ein, um die Prognose im Hinblick auf postoperative Komplikationen besser abschätzen zu können.¹¹¹ Die präoperative Einteilung entsprechend der ASA-Klassifikation im

untersuchten Patientenkollektiv ergab im Durchschnitt einen Wert von 2,8 (2-4). Dabei waren die ASA-Klassen I und V nicht vertreten. 13 Patienten wurden der ASA-Klasse II und 34 der ASA-Klasse III zugeordnet. Des Weiteren erhielten drei Patienten des Studienkollektivs eine Zuordnung zur ASA-Klasse IV und repräsentierten damit per definitionem ein Patientenkollektiv mit einer schweren systemischen Erkrankung, die eine konstante vitale Bedrohung darstellt.

ASA-Klasse	Definition	Fallzahl	Anteil in %
I	ein normal gesunder Patient	0	0
II	ein Patient mit milder systemischer Erkrankung	13	26
III	ein Patient mit schwerer systemischer Erkrankung	34	68
IV	ein Patient mit schwerer systemischer Erkrankung, die eine konstante Bedrohung für das Leben darstellt	3	6
V	ein sterbender Patient, von dem nicht erwartet wird, dass er ohne die Operation überlebt	0	0

Summe: 50 100

Tab. 3: Definition der ASA-Klassen¹¹⁰ und Häufigkeitsverteilung im Studienkollektiv

Komorbiditäten nach Charlson-Index

Neben dem ASA-Score wurden den anästhesiologischen Prämedikations- sowie den unfallchirurgischen Aufnahmeprotokollen relevante Vorerkrankungen entnommen und unter Zuhilfenahme des Charlson-Komorbiditätsindex (englisch: Charlson Comorbidity Index, CCI) ausgewertet. Der von Mary E. Charlson im Jahr 1987 entwickelte Komorbiditätsindex berücksichtigt insgesamt 19 relevante Begleiterkrankungen und gewichtet diese anhand von Punktwerten (Tab. 4).¹¹² Durch Addition der einzelnen Punktwerte ergibt sich der Index, anhand dessen eine Abschätzung des Komorbiditätsprofils und dem damit verbundenen Mortalitätsrisiko möglich wird.¹¹² Um dem eigenständigen Risikofaktor Alter Rechnung zu tragen und die Vorhersagewahrscheinlichkeit des CCI zu erhöhen, erfolgte im Jahre 1994 eine Anpassung in Form einer Altersadjustierung als Ergänzung des bestehenden CCI.¹¹³ Entsprechend nachstehender Tabelle (Tab. 5) wird die Alterskorrektur vorgenommen. Hierzu wird dem zuvor errechneten CCI ab einem Patientenalter von 50 Jahren pro Lebensjahrzehnt jeweils ein weiterer Punkt hinzuaddiert. Im ursprünglichen Sinne wurde der CCI zur Abschätzung der 1-Jahresmortalitätsrate onkologischer Patienten entwickelt.

Darüber hinaus zeigte sich, dass sich durch die Anwendung des Index auch bei nicht-onkologischen Patientengruppen und im Kontext von Studien die Krankheitsschwere und eine damit assoziierte Sterblichkeitsrate im Studienkollektiv abbilden lässt.¹¹⁴⁻¹¹⁶ Im untersuchten Patientenkollektiv lag der CCI im Durchschnitt bei 2,2 (0-7) Punkten. Nach entsprechender Alterskorrektur betrug der mittlere CCI 5,3 (0-11) Punkte.

Charlson-Komorbiditätsindex:

Erkrankung	Punkte
Herzinfarkt Herzinsuffizienz periphere arterielle Verschlusskrankung zerebrovaskuläre Erkrankung ⁽¹⁾ Demenz chronische Lungenerkrankung Kollagenose gastroduodenales Ulkusleiden leichte Lebererkrankung ⁽²⁾ Diabetes mellitus (ohne Endorganschäden)	1
Hemiplegie mäßig schwere und schwere Nierenerkrankung ⁽³⁾ Diabetes mellitus mit Endorganschäden solide Tumorerkrankung Leukämie Lymphom	2
mäßig schwere und schwere Lebererkrankung ⁽⁴⁾	3
metastasierender solider Tumor AIDS	6

Tab. 4: Erkrankungen und Punktegewichtung des CCI¹¹²

⁽¹⁾ Transitorische ischämische Attacke oder Apoplex ohne manifeste Residualzustände

⁽²⁾ Leberzirrhose ohne Komplikationen

⁽³⁾ Dialysepflichtigkeit oder Kreatinin >3mg/dl

⁽⁴⁾ Leberzirrhose mit Komplikationen (portale Hypertonie ohne stattgehabte Blutung und Patienten mit Varizenblutung in der Anamnese)

Alter in Jahren	Punkte
50-59	1
60-69	2
70-79	3
80-89	4
90-99	5

Tab. 5: Altersadjustierung als Ergänzung des CCI¹¹³

3.2.2 Chirurgische Daten des Patientenkollektivs

Präoperative Situation des Hüftgelenks

Im untersuchten Studienkollektiv stellte sich die Situation des betroffenen Hüftgelenks vor Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems wie folgt dar (Abb. 12): in 23 Fällen (46%) fand sich ein natives Gelenk auf der zu operierenden Hüftseite und in 27 Fällen (54%) war das Hüftgelenk bereits voroperiert. Genauer betrachtet bedeutet dies, dass in 22 Fällen (44%) der gesamten Patientenkohorte zum Zeitpunkt des Indexeingriffs eine H-TEP einlag, sich in einem Fall (2%) eine Instrumentierung des Schenkelhalses mit einer dynamischen Hüftschraube (DHS) fand und bei vier Patienten (8%) eine Girdlestone-Situation nach periprothetischem Infekt des Hüftgelenks vorlag.

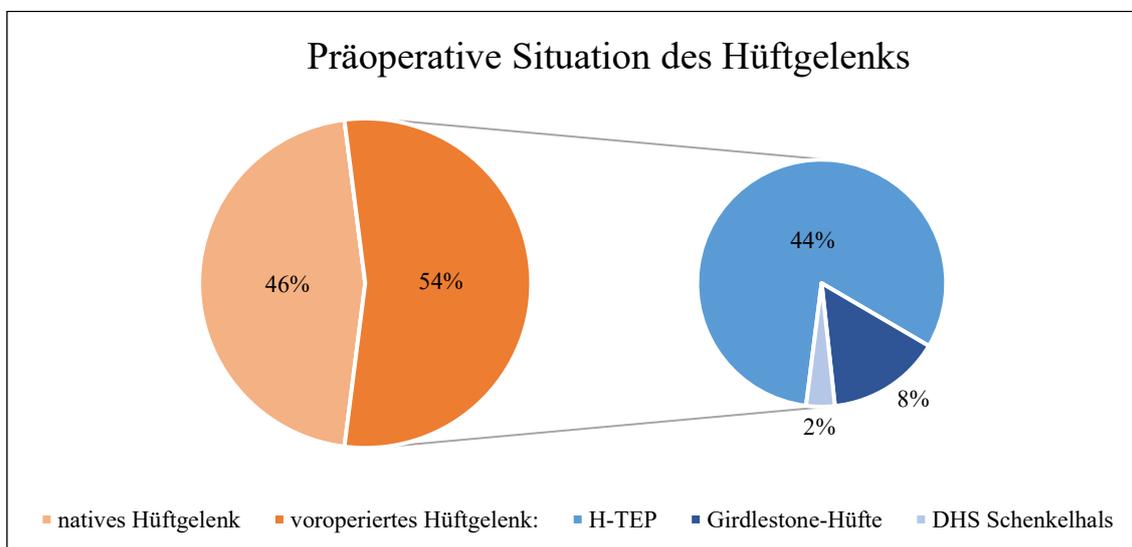


Abb. 12: Grafische Darstellung der präoperativen Situation des betroffenen Hüftgelenks zum Zeitpunkt des Indexeingriffs

Genese des acetabulären Substanzdefekts

Die Ursachen, die zu den schwerwiegenden Substanzdefekten des Acetabulums führten, waren im untersuchten Patientenkollektiv sehr heterogen verteilt (Tab. 6). Die Indikation zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems wurde in elf Fällen aufgrund einer periprothetischen Acetabulumfraktur und in fünf Fällen bei aseptischer Lockerung der Prothesenpfanne gestellt. Bei zwei Patienten waren rezidivierende Luxationen die Ursache. In vier Fällen lag eine periprothetische Femurfraktur vor, bei der sich prä- bzw. intraoperativ eine gleichzeitige Lockerung der Prothesenpfanne feststellen ließ.

Wiederum in vier Fällen führte eine periprothetische Gelenkinfektion zu einem acetabulären Substanzdefekt und der Situation einer Girdlestone-Hüfte. In diesen voran genannten 26 Fällen handelte es sich folglich bei der Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems um eine Revisionsarthroplastik des betroffenen Hüftgelenks nach vorangegangener Implantation einer H-TEP. Ein Patient erlitt eine Acetabulumfraktur, nachdem sechs Monate zuvor aufgrund einer Schenkelhalsfraktur die Instrumentierung mittels DHS durchgeführt wurde.

In 16 Fällen lag eine primäre Acetabulumfraktur bei nativem Hüftgelenk vor. Bei drei Patienten fand sich eine Rezidiv-Fraktur des Acetabulums, jeweils nach zuvor erfolgter Plattenosteosynthese. Drei Patienten wiesen einen großen acetabulären Substanzdefekt aufgrund einer ossären Metastase bei bekannter maligner Grunderkrankung auf und ein Patient litt unter einer ausgeprägten Acetabulumdeformität aufgrund einer schweren Coxarthrose bei rheumatoider Arthritis.

	Genese des Acetabulumdefekts	Fallzahl	Anteil in %
voroperiertes Hüftgelenk	periprothetische Acetabulumfraktur	11	22
	aseptische Pfannenlockerung	5	10
	rezidivierende Luxationen	2	4
	periprothetische Femurfraktur und gelockerte Pfanne	4	8
	Girdlestone-Hüfte nach tiefer Gelenkinfektion	4	8
	Acetabulumfraktur nach DHS-Instrumentierung	1	2
natives Hüftgelenk	primäre Acetabulumfraktur	16	32
	Rezidivfraktur des Acetabulums nach Plattenosteosynthese	3	6
	acetabuläre Metastase einer Tumorerkrankung	3	6
	ausgeprägte Acetabulumdeformität bei Coxarthrose	1	2
<i>Summe:</i>		50	100

Tab. 6: Indikationen, die zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems führten.

Schweregrad des acetabulären Substanzdefekts

Für diese Studie wurde der Knochensubstanzdefekt im Bereich des Acetabulums anhand der präoperativ erhobenen radiologischen Befunde unter Zuhilfenahme der Paprosky-Klassifikation beurteilt. Hiernach ergab sich folgende Verteilung des Schweregrads (Abb. 13): im untersuchten Studienkollektiv fanden sich keine Acetabulumdefekte, die gemäß der Paprosky-Klassifikation als Schweregrade Typ 1 oder Typ 2A eingestuft wurden. Jeweils fünf Patienten erhielten die Zuordnung zu einem mittleren Schweregrad Typ 2B

und Typ 2C. Schwerwiegende knöcherne Substanzdefekte des Acetabulums lagen in 40 Fällen (80%) vor. Hierbei entfielen 19 Patienten auf Typ 3A und 20 auf Typ 3B. Bei einem Patienten zeigte sich eine dislozierte multifragmentäre Fraktur des Acetabulums bei gleichzeitiger Fraktur des vorderen Beckenrings. Intraoperativ stellte sich ein vollständig abgehängtes Acetabulum bei Fraktur des Ramus inferior ossis pubis dar. Daher wurde dieser Schweregrad als Sonderfall Typ 4 klassifiziert.

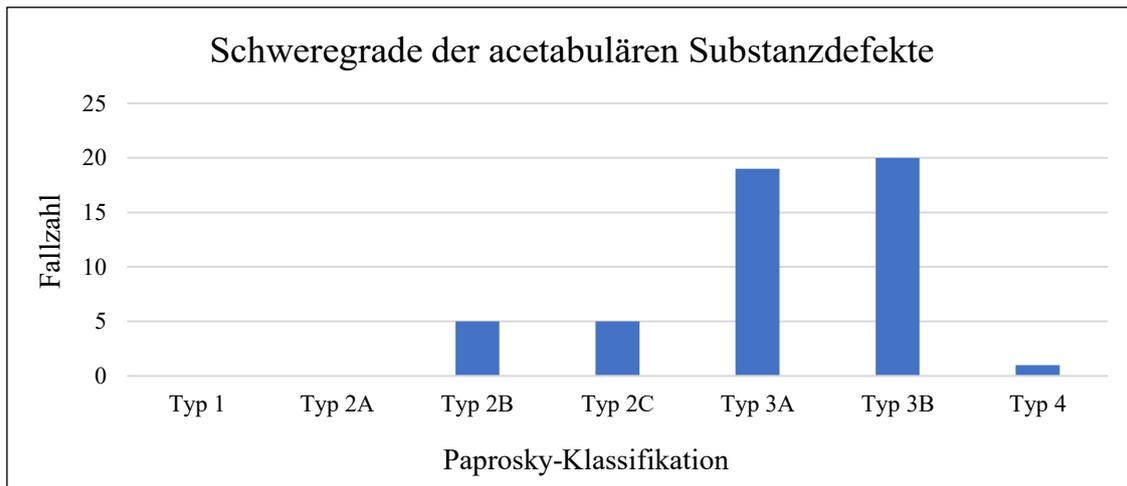


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Schweregrade nach der Paprosky-Klassifikation⁸⁹ im untersuchten Studienkollektiv

3.3 Das MUTARS[®] RS Cup-System

Das MUTARS[®] RS Cup-System ist ein Produkt der Firma implantcast GmbH (Buxtehude, Deutschland), dessen Markteinführung im Jahr 2012 erfolgte. Daten und technische Details zu diesem Implantat wurden dem Produktkatalog von implantcast „Revisionssysteme Hüfte & Knie“ und „Part Of The Technical Documentation, Clinical Evaluation Rev.: 2 (Date 28.08.2019)“ entnommen. Die Abkürzung MUTARS[®] steht für Modular Universal Tumor And Revision System und das nachgestellte RS für Revision. Die weltweiten Verkaufszahlen für die Revisionspfanne MUTARS[®] RS Cup (Abb. 14) beziffern sich nach Angabe von implantcast GmbH auf 1453 verkaufte Implantate (Stand 31.12.2021). Als Indikationen für deren Einsatz gibt der Hersteller große kavitäre oder segmentale Defekte des Acetabulums an. Die Revisionspfanne ist als linke bzw. rechte Variante in jeweils fünf Größen mit einem Durchmesser von 46, 50, 54, 58 und 62mm erhältlich. Sie ist von einer Titan-Aluminium-Vanadium (TiAl₆V₄)-Legierung, die mittels Electron Beam Melting-Verfahren hergestellt wird, überzogen. Eine Besonderheit dieser

Revisionspfanne ist ihre poröse Struktur auf der dem Knochen anliegenden Seite (EPORE[®]-Struktur). Die aufgeraute Struktur und die dadurch vergrößerte Oberfläche begünstigt die Osteointegration und beschleunigt damit das Einheilen der Prothese in den umliegenden Knochen.^{47,117-119} Zusätzlich ist das Implantat mit einer Tricalciumphosphat-Beschichtung erhältlich, welche ebenfalls den knöchernen Einheilungsprozess fördert. Diese bioaktive Oberflächenbeschichtung wird vom Körper innerhalb der ersten 6 bis 12 Wochen resorbiert und durch neues Knochengewebe ersetzt, wodurch eine stabile Verbindung beider Komponenten gefördert wird.^{120,121} Des Weiteren besitzt die MUTARS[®] RS Cup zwei anatomisch geformte Laschen. Eine keilförmige distale Lasche zur Verankerung im Os ischii und eine kraniale Lasche, welche Bohrlöcher für die Fixierung mittels 6,5mm Spongiosaschrauben (Länge 15-80mm erhältlich) am Os ilium trägt. Das Einbringen der Revisionspfanne selbst erfolgt zementfrei in Press-Fit Technik. Als Inlay stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Bei den implacross[®] Inlays, die eine unilaterale 15° Überhöhung als Antiluxationsschutz aufweisen, kann zwischen einer neutralen 0mm oder einer Variante mit 4mm Erhöhung (Offset) zur Verlagerung des Rotationszentrums unterschieden werden. Diese bestehen aus ultra-hochvernetztem PE und werden zementfrei in die Pfanne eingeklickt. Sie sind mit Prothesenköpfen aus Keramik oder Metall mit einem Durchmesser von 32 bzw. 36mm kombinierbar. Zudem besteht mit dem 2M 15°-Inlay aus Metall in Kombination mit dem EcoFit[®] 2M-Hüftkopf bzw. 2M implacross[®] E-Hüftkopf aus ultra-hochvernetztem PE und den ic-Hüftköpfen (Durchmesser 22, 28 und 32mm) die Möglichkeit zur tripolaren Prothesenversorgung.



Abb. 14: MUTARS[®] RS Cup (Quelle: Part of the Technical Documentation – Clinical Evaluation – MUTARS[®] RS Cup-System, Firma implantcast GmbH)

3.4 Operationsmethode

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Planung und Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems, wie sie an der Universitätsklinik Frankfurt am Main durchgeführt wird, schrittweise dargestellt.

Implantatplanung

Die präoperative digitale Planung der einzelnen Prothesenkomponenten, einschließlich der Revisionspfanne MUTARS® RS Cup, erfolgt analog zum Prozedere für einen konventionellen endoprothetischen Ersatz des Hüftgelenks. Die angefertigten Röntgenbilder als Beckenübersichtsaufnahme in a.p.-Standardprojektion werden hierzu mit Hilfe der Planungssoftware mediCAD Classic® (Fa. mediCAD® HecTec GmbH, Altdorf, Deutschland) patientenindividualisiert bearbeitet (Abb. 15). Planungsschablonen erleichtern die Auswahl hinsichtlich Größe und optimaler Position der Revisionspfanne. Für ein gutes funktionelles Ergebnis ist die Wiederherstellung der Gelenkgeometrie und daher die korrekte Rekonstruktion des anatomischen Rotationszentrums des Hüftgelenks ein entscheidender Faktor.^{118,122,123}

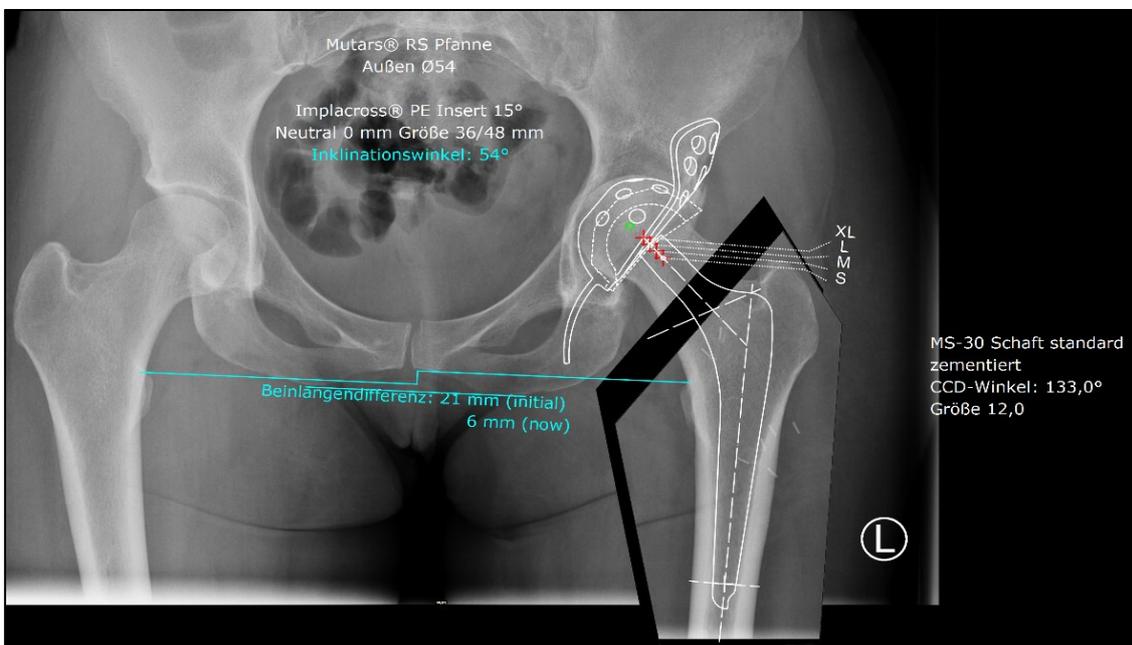


Abb. 15: Präoperative Planung der Prothesenkomponenten mit dem Software-Programm mediCAD Classic® (Quelle: Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der J. W. Goethe-Universitätsklinik Frankfurt am Main)

Voraussetzungen

Alle Implantationen des MUTARS® RS Cup-Systems werden unter allgemeinanästhesiologischen Bedingungen durchgeführt. Des Weiteren erhalten alle Patienten eine perioperative Antibiotikaphylaxe mindestens als intravenöse Einmalgabe. Die Lagerung in Patientenrückenlage bei frei beweglichem Bein der zu operierenden Seite erfolgt ebenso wie die Hautdesinfektion und sterile Abdeckung des Operationsgebiets in standardisierter Weise.

Zugangsweg und Schnittführung

Als Standardzugang dient ein anterolateraler Zugangsweg nach Watson-Jones.¹²⁴ Hierbei erfolgt nach Spaltung der Fascia lata das Eingehen zum Hüftgelenk zwischen dem M. tensor fasciae latae und dem M. gluteus medius, ohne dass dabei einzelne Muskeln oder Muskelgruppen durchtrennt werden.¹²⁵ Zusätzlich wird an der Universitätsklinik Frankfurt am Main die Schnittführung im kranialen Anteil leicht nach dorsalseitig fortgeführt. Dies ermöglicht im Verlauf der Operation eine gewebeschonendere Arbeitsweise beim Aufraspeln des femoralen Markraums als Vorbereitung zur Implantation des Prothesenschafts.

Nach Präparation durch die Subkutis und entsprechender Blutstillung erfolgt die Durchtrennung des Tractus iliotibialis über dem Trochanter major in Faserverlaufsrichtung. Sofern bei nativem Hüftgelenk vorhanden, wird die Gelenkkapsel zunächst von ventral eröffnet und reseziert, um im Anschluss den freigelegten Schenkelhals zu osteotomieren und den Hüftkopf zu extrahieren. Im Falle einer einliegenden H-TEP wird der Hüftkopf nach Luxation desselbigen abgeschlagen und die künstliche Hüftgelenkpfanne sowie gegebenenfalls weiteres Fremdmaterial geborgen. Dann erfolgt ein ausgiebiges Debridement, um den Wundgrund anzufrischen und eine gute Exposition des Acetabulums zur Beurteilung des Substanzdefekts zu erhalten.

Augmentation und Vorbereitung des Pfannenlagers

Ausgedehnte knöcherne Substanzdefekte im Bereich des Acetabulums und eine verminderte Knochenqualität stellen für das sichere Fixieren der Revisionspfanne große Herausforderungen dar.²⁶⁻²⁸ In vielen Fällen ist es zudem notwendig, das künftige Pfannenlager mit Hilfe einer Spongiosaplastik zu augmentieren.^{126,127} Hierzu werden – sofern vorhanden – autologe Spongiosachips aus dem zuvor entnommenen

patienteneigenen Hüftkopf, respektive des proximalen Femurhalses, verwendet. Stehen diese nicht oder in unzureichender Menge zur Verfügung, erfolgt die knöcherne Aufbereitung des Acetabulums durch den Einsatz allogener Spongiosa in Form eines halben Hüftkopfs als Fremdgewebespende.

Ist die knöcherne Integrität des Acetabulums durch ossäre Metastasen aufgrund einer malignen Grunderkrankung gefährdet, wird präoperativ zunächst eine Embolisation der Knochenmetastase mit den interventionell-tätigen Kollegen der Radiologie diskutiert und ggf. durchgeführt. Wenn nötig werden diese Substanzdefekte dann intraoperativ mittels Knochenzement aufgefüllt und stabilisiert.

Nach sorgfältiger Sequestrotomie erfolgt die Vorbereitung des Pfannengrunds selbst dann durch sukzessives Auffräsen gemäß der präoperativen Größenplanung (Abb. 16).



Abb. 16: Intraoperatives Röntgenbild des linken Acetabulums nach sorgfältigem Debridement und Auffräsen auf die zuvor ermittelte Größe

Durch Meißeln wird zunächst die Insertionsstelle der keilförmigen kaudalen Verankerungslasche im Bereich des Os ischii vorbereitet. Hierfür wird als erstes das gerade Eröffnungsinstrument in den Knochen eingeführt (Abb. 17), bevor in einem zweiten Schritt das gekrümmte Instrument zur Vorbereitung der Insertionsstelle genutzt wird (Abb. 18).



Abb. 17: Eröffnung des Os ischii mit dem geraden Öffnungsinstrument

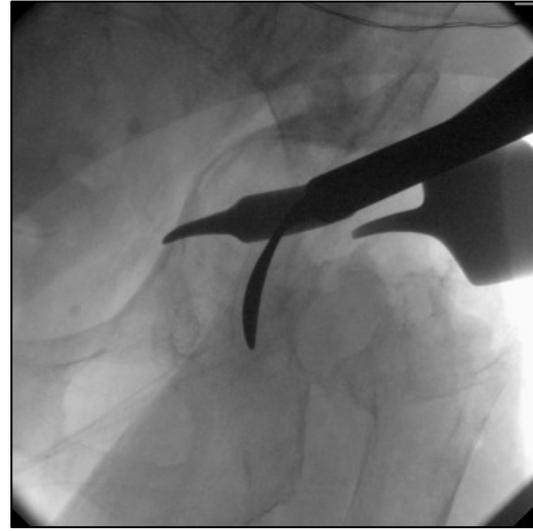


Abb. 18: Eröffnung des Os ischii mit dem gekrümmten Instrument³³

Einbringen des MUTARS® RS Cup-Systems

Mit Hilfe eines speziellen Einschlägers wird das Einsetzen der MUTARS® RS Cup erleichtert (Abb. 19).

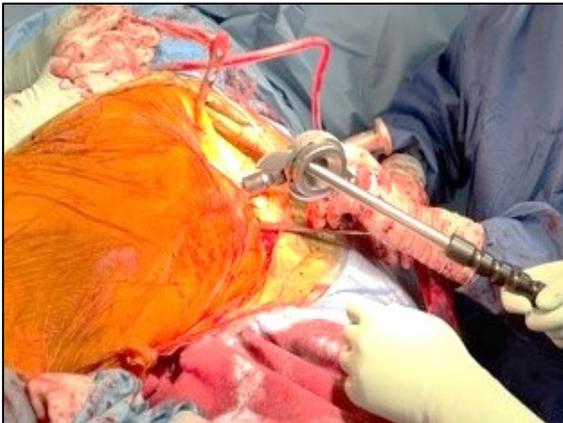


Abb. 19: Intraoperative Darstellung der MUTARS® RS Cup-Prothese auf dem dazugehörigen Einschläger

Das Einbringen der MUTARS® RS Cup in der zuvor ermittelten Größe erfolgt zementfrei in Press-Fit Technik. Durch sicheres Verspannen der Revisionspfanne im Knochenlager kann bereits eine gute Primärstabilität erreicht werden.^{118,128,129} Zudem muss bei diesem Operationsschritt unbedingt auf eine entsprechende Positionierung der Prothesenpfanne in einem Inklinationwinkel von $40^\circ \pm 10^\circ$ und einem Anteversionswinkel von $15^\circ \pm 10^\circ$

(sog. safe zone)⁶⁷ geachtet werden. Dies sollte unter radiologischer Kontrolle mittels Bildwandler in mindestens zwei Ebenen erfolgen. Darüber hinaus ist es wichtig, die kaudale Prothesenlasche sicher im Sitzbein zu verankern (Abb. 20).

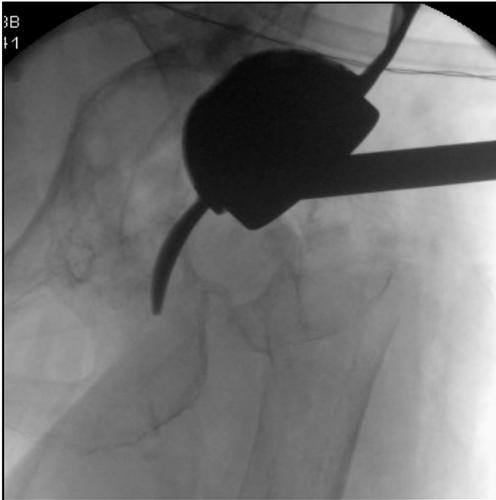


Abb. 20: Die MUTARS[®] RS Cup wird mit der Lasche in das eröfnete Sitzbein eingeführt. (Sie befindet sich noch nicht in der korrekten Endlage und muss noch in die gewünschte Position eingeschlagen werden.)³³

Beim Einschlagen muss eine Retroversion zwingend vermieden werden, damit sich die Prothese gut in das Acetabulum einpasst (Abb. 21).

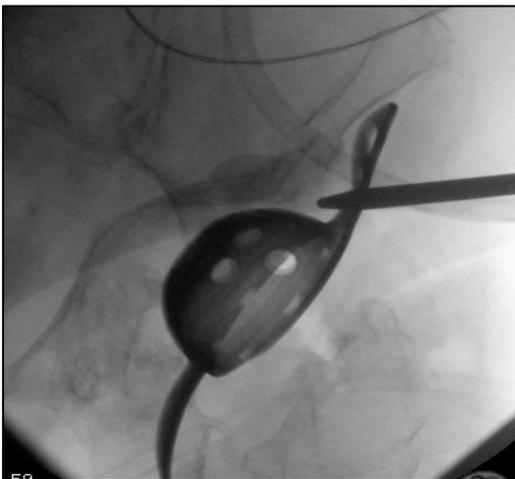


Abb. 21: Intraoperatives Röntgenbild der korrekt eingeschlagenen Abstützschale mit guter Verankerung der kaudalen Lasche im Sitzbein

Zur weiteren Fixierung der Prothesenpfanne und Verbesserung der Primärstabilität wird die kraniale Lasche der MUTARS[®] RS Cup mit Hilfe von maximal sechs Spongiosa-Verankerungsschrauben am Os ilium befestigt (sog. Laschenschrauben). Hierbei sollten

zusätzlich Unterlegscheiben genutzt werden, um ein Hindurchrutschen der Schraubenköpfe durch die vorgeformten ovalen Löcher zu verhindern. Bei Bedarf können zudem weitere Schrauben durch präformierte Löcher im Bereich des Pfannendoms eingebracht werden (sog. Domschrauben). Auch beim Einbringen der Fixierungsschrauben muss auf die Beibehaltung des korrekten Anteversionswinkels geachtet werden, um eine dorsale Luxationsneigung zu verhindern. Bei sehr schlechter Knochenqualität kann es in einigen Fällen notwendig sein, die Schraubenköpfe zusätzlich mittels Knochenzement zu fixieren oder eine Verbundosteosynthese vorzunehmen. Bei Aufsicht auf den Operationssitus kann die kaudale Lasche nicht eingesehen werden, die kraniale Lasche ist nur nach Zurückhalten der Weichteile sichtbar (Abb. 22).

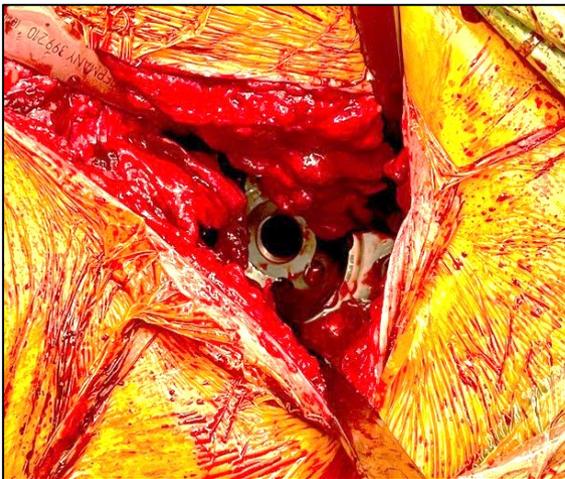


Abb. 22: Intraoperative Sicht auf den Situs nach Implantation und Schraubenfixierung der MUTARS® RS Cup

Danach erfolgt das Einbringen der Zentralschraube und des PE-Inlays. Durch Platzierung der Inlayerhöhung von 15° nach dorsolateral ergibt sich ein zusätzlicher Luxationsschutz. Zeigt sich intraoperativ dennoch eine Luxationstendenz, kann auf eine tripolare Prothesenversorgung gewechselt werden (Abb. 23 und 24). Hierzu wird anstelle der Zentralschraube ein Sicherungsbolzen eingebracht und im Anschluss mit dem 2M 15°-Inlay verbunden. Nun kann der 2M implacross® PE-Hüftkopf mit einem Metallprothesenkopf unter Zuhilfenahme einer Montagehilfe fest miteinander verblockt und dann auf den Prothesenhals aufgesetzt werden. Die hierdurch entstandene tripolare Variante als ungekoppeltes System (sog. Dual-mobility head) gilt es von gekoppelten tripolaren Systemen zu unterscheiden. Dabei zeigt die ungekoppelte Variante eine bessere Überlebens- und eine geringere Revisionsrate.⁷¹ Als Indikationen für den Einsatz einer

tripolaren Prothesenvariante sind wiederkehrende Luxationen und Situationen, in denen eine erhöhte Luxationstendenz besteht, zu nennen.⁷¹

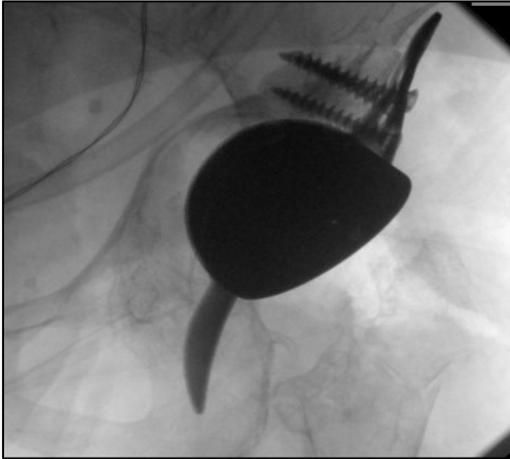


Abb. 23: Das intraoperative Röntgenbild zeigt das eingebrachte MUTARS® RS Cup-System – hier für eine tripolare Versorgung.



Abb. 24: Intraoperative Ansicht nach Einsetzen des 2M 15°-Inlays zur tripolaren Prothesenversorgung

Nach Reposition erfolgt zum Abschluss die Überprüfung der Gelenkfunktion auf freie Beweglichkeit unter Ausschluss eines Impingements oder einer Luxationstendenz. Des Weiteren ist auf die korrekte Stellungsachse des Beins unter wiederhergestellter Beinlängengleichheit zu achten. Das Rotationszentrum sollte sich auf Höhe des Trochanter major befinden. Nach erneuter sorgfältiger Blutstillung und dem Einbringen von mindestens zwei Saugdrainagen wird die Wunde schichtweise verschlossen.

3.5 Nachbehandlungskonzept

Sofern seitens des Operateurs im postoperativen Anordnungsbogen keine expliziten Änderungen gefordert werden, erfolgt das Nachbehandlungskonzept standardisiert gemäß der klinikinternen Arbeitsanweisung für Hüft- und Beckenchirurgie. Diese beinhaltet neben allgemeinen Anweisungen zu Analgesie, Thrombose- und Pneumonieprophylaxe die Verhaltensweise bezüglich Bewegungsumfang, Belastung sowie Lagerung und Physiotherapie. Im Folgenden werden nur einige spezifische Aspekte detaillierter beschrieben.

Medikamentöse Thromboseprophylaxe

Der zentrale Konflikt einer medikamentösen Thromboseprophylaxe, insbesondere im Bereich der Hüft- und Beckenchirurgie, liegt darin begründet, dass zwei konträre Risiken gegeneinander ausbalanciert werden müssen. Zum einen besteht für dieses Patientenklientel ein hohes Risiko, eine thromboembolische Komplikation zu entwickeln,^{130,131} zum anderen steht dem ein nicht zu vernachlässigendes Blutungsrisiko gegenüber.¹³² Dieses wiederum ist mit Folgekomplikationen einer Blutungsanämie sowie transfusionsassoziierten Risiken einer Fremdblutgabe (z.B. Immunmodulation, erhöhtes Risiko für nosokomiale Infektionen, etc.) vergesellschaftet.¹³³ Der Aspekt der medikamentösen Thromboseprophylaxe wird klinikintern daher wie folgt gehandhabt: Patienten mit bereits präoperativ bestehender Indikation zur Vollantikoagulation erhalten bis zum Vorabend der Operation gewichtsadaptiert zweimal täglich ein niedermolekulares Heparin subkutan unter täglicher Bestimmung der Anti-Xa-Aktivität mit einem Zielwert von 0,4-0,9 IU/ml. Nach Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems wird die Antikoagulation am ersten postoperativen Tag ebenfalls unter engmaschigen Bestimmungen der Anti-Xa-Aktivität fortgeführt. In den ersten postoperativen Tagen sollten zunächst Werte im unteren bis mittleren Zielbereich angestrebt werden, um das Risiko für eine Nachblutungskomplikation zu minimieren. Patienten ohne Indikation zur Vollantikoagulation erhalten postoperativ standardisiert einmal täglich ein niedermolekulares Heparin als subkutane Gabe in prophylaktischer Dosierung. Für beide genannten Patientengruppen wird eine ausreichende Clearance durch laborchemische Kontrollen der Nierenfunktion sichergestellt oder alternativ auf ein unfraktioniertes Heparin gewechselt.

Außerdem wird an der Universitätsklinik Frankfurt am Main bei einer postoperativen Immobilisierung von ≥ 2 Tagen vor Beginn der Mobilisation eine farbkodierte Duplexsonografie der Becken- und Beinvenen zum Ausschluss einer tiefen Venenthrombose durchgeführt.

Bildgebende Diagnostik

Postoperativ erhalten alle Patienten bis zum fünften Tag nach Beginn der Mobilisation eine Röntgenkontrollaufnahme mindestens als Beckenübersicht, um die korrekte Lage des Fremdmaterials zu bestätigen und eine sekundäre Dislokation auszuschließen.

Belastung und Bewegungsumfang

Sofern die Osteosyntheseversorgung vom Operateur als belastungsstabil eingestuft wird, ist postoperativ eine schmerzadaptierte Vollbelastung am Gehwagen erlaubt. Andernfalls wird eine zwei- bis sechswöchige Teilbelastung mit 20 kg und eine konsekutive Aufbelastung im Verlauf verordnet. Nur in seltenen Fällen, in denen die Gelenksituation weiterhin als instabil eingestuft wird oder z.B. intraoperativ aufgetretene Komplikationen eine Zuggurtungsosteosynthese des Trochanters bzw. Kabel-Cerclagen des proximalen Femurs notwendig machen, wird eine Abrollbelastung für sechs bis acht Wochen festgelegt. Als Maßnahmen der Luxationsprophylaxe werden eine Sitzranderhöhung sowie eine Einschränkung des Bewegungsumfangs des betroffenen Hüftgelenks für den postoperativen Zeitraum von sechs Wochen (bis maximal drei Monate) empfohlen. Hierbei gilt es, eine forcierte Rotationsbewegung (insbesondere Innenrotation), eine Flexion des Hüftgelenks über einen Winkel von initial 60° bis später 90° hinaus und eine übermäßige Adduktion des operierten Beins (Übereinanderschlagen der Beine) zu vermeiden.

4 Ergebnisse

4.1 Zeitlicher Verlauf

Die mittlere präoperative Verweildauer zwischen stationärer Aufnahme am Universitätsklinikum Frankfurt am Main und dem Zeitpunkt des Indexeingriffs betrug 9,2 (0,2-85,9) Tage. Die beiden Re-Implantationen des MUTARS® RS Cup-Systems im kurzfristigen postoperativen Intervall erfolgten an Tag 8 und 15 nach dem jeweiligen Indexeingriff und werden im Folgenden unter Punkt 4.3.3 gesondert besprochen. Alle Patienten wurden mindestens bis zum Morgen des ersten postoperativen Tages nachüberwacht. Je nach klinischer Situation des Patienten erfolgte dies im anästhesiologischen Aufwachraum, der Wachstation oder der operativen Intensivstation. In zwei Fällen war aufgrund eines perioperativ aufgetretenen hämorrhagischen Schocks eine über die Operationsdauer hinausgehende Nachbeatmung auf der Intensivstation erforderlich. Alle übrigen Patienten konnten extubiert auf die Überwachungseinheit übernommen werden. Als Beginn der postoperativen Nachüberwachung wurde der Zeitpunkt 30 Minuten nach chirurgischem Operationsende definiert. Dem entsprechend lag die durchschnittliche Überwachungsdauer bei 3,2 (0,6-22,8) Tagen. Die mittlere Gesamtaufenthaltsdauer der stationären Behandlung betrug 29,5 (8,1-133,0) Tage.

Die Operationsdauer wurde anhand der im Protokoll dokumentierten Schnitt-Naht-Zeit ausgewertet und lag im Mittel bei 2 Stunden und 36 Minuten (1:06-5:06).

Verweildauer von Aufnahme bis Operation	[Tage]
Mittelwert (\pm SD)	9,2 (\pm 13,1)
Median (Min.-Max.)	6,2 (0,2-85,9)
Postoperative Überwachungsdauer	[Tage]
Mittelwert (\pm SD)	3,2 (\pm 4,2)
Median (Min.-Max.)	2,1 (0,6-22,8)
Gesamtdauer des stationären Aufenthalts	[Tage]
Mittelwert (\pm SD)	29,5 (\pm 22,6)
Median (Min.-Max.)	22,0 (8,1-133,0)
Operationsdauer	[Stunden:Minuten]
Mittelwert (\pm SD)	02:36 (\pm 00:51)
Median (Min.-Max.)	02:22 (01:06-05:06)

Tab. 7: Zeitangaben des stationären Aufenthalts

SD=Standardabweichung, Min.=Minimum, Max.=Maximum

4.2 Verwendete Implantate

Das MUTARS® RS Cup-System zeichnet sich durch seine modulare Bauweise und die damit verbundenen vielseitigen Kombinationsmöglichkeiten der Prothesenkomponenten aus, was sich anhand der eingesetzten Materialien widerspiegelt.

MUTARS® RS Cup

Erhältlich ist die MUTARS® RS Cup in fünf verschiedenen Größen mit einem Durchmesser von 46 bis 62mm (4mm-Schritte) und jeweils zur Implantation auf der rechten oder linken Acetabulumseite. Im analysierten Studienkollektiv erfolgte die Operation in 27 Fällen (54%) auf der rechten und in 23 Fällen (46%) auf der linken Hüftgelenkseite. Dabei ließ sich die absolute Häufigkeitsverteilung bezüglich der eingesetzten Größen wie folgt darstellen (Tab. 8):

Größe der MUTARS® RS Cup [mm]	46	50	54	58	62
Fallzahl	2	13	22	13	0

Tab. 8: Implantierte Größen der MUTARS® RS Cup

Mit 22 (44%) implantierten Prothesenpfannen war die mittlere Größe mit einem Durchmesser von 54mm am häufigsten vertreten.

Bei 32 der 50 Indexeingriffe erfolgte eine präoperative Planung der Revisionspfanne mit Hilfe des Software-Programms mediCAD Classic®. Hierbei erwies sich die geplante Pfannengröße der MUTARS® RS Cup in der untersuchten Kohorte in 22 der 32 geplanten Fälle intraoperativ als zutreffend, was einer korrekten Vorhersagewahrscheinlichkeit von 68,8% entspricht. In sieben Fällen wurde intraoperativ auf eine Prothesengröße kleiner und bei drei Patienten auf eine Größe größer zurückgegriffen.

Inlays

Als Inlay stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Die implacross® Inlays bestehen aus ultra-hochvernetztem PE und sind als neutrale Variante (0mm) oder mit einer Erhöhung (4mm) verfügbar. Des Weiteren gibt es das 2M 15°-Inlay aus Metall, das in Kombination mit den entsprechenden Köpfen als tripolare Prothesenversorgung eingesetzt werden kann. Intraoperativ zeichnete sich bei neun Patienten des Kollektivs eine erhöhte Luxationstendenz ab, weshalb bei diesen das EcoFit®-System als tripolare Variante zum Einsatz kam. Folgende Inlays fanden innerhalb der untersuchten Population Anwendung (Tab. 9):

Inlay	15° neutral (0mm)	15° Offset (4mm)	2M 15°
Fallzahl	32	9	9

Tab. 9: Eingesetzte Inlays

Schäfte

Bei 22 Patienten war zum Zeitpunkt der Indexoperation bereits eine H-TEP einliegend. Daher erfolgte in 17 Fällen (34%) des Studienkollektivs nur der Austausch der Pfannenkomponente durch Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems unter Beibehaltung des alten Schafts. Bei sechs Patienten (12%) wurde sowohl eine Wechseloperation der Prothesenpfanne als auch der Austausch des Schafts durchgeführt: 4-mal bei periprothetischer Femurfraktur und 2-mal bei aseptischer Schaftlockerung. In weiteren 27 Operationen (54%) wurden Prothesenpfanne und Prothesenschaft implantiert: 23-mal bei nativem Gelenk, 3-mal bei Girdlestone-Hüfte ohne Schaft und 1-mal nach DHS des Schenkelhalses. Die unterschiedlichen Schäfte und deren Verbreitung im Kollektiv verteilten sich wie folgt (Tab. 10):

Produktname des Schafts	MS-30®	Revitan®	CLS®	IC® lang
Fallzahl	17	9	6	1

Tab. 10: Implantierte Prothesenschäfte

Wenn ein Prothesenschaft eingesetzt oder gewechselt wurde, erfolgte dies in mehr als der Hälfte der Operationen (51,5%) durch Implantation des an unserer Universitätsklinik gebräuchlichen zementierten Hüftprothesenschafts MS-30® (Fa. Zimmer GmbH).

Köpfe

Die verwendeten Prothesenköpfe waren 42-mal (84%) aus Edelstahl und 8-mal (16%) aus Keramik (Tab. 11). Bei den Edelstahlköpfen wurde nochmals zwischen einer Beschichtung aus Cobalt-Chrom-Molybdän (CoCrMo)- oder Titan-Legierung unterschieden. Da die im Rahmen der tripolaren Prothesenversorgung verwendeten EcoFit® 2M bzw. 2M implacross® E Hüftköpfe aus PE bestehen, können folglich alle eingesetzten Paarungen im Artikulationsbereich als Weich-Hart-Gleitpaarungen bezeichnet werden.

Material des Kopfs	Titan	CoCrMo	Keramik
Fallzahl	21	21	8

Größe des Kopfs [mm]	28	32	36
Fallzahl	9	2	39

Größe der Halslänge	S	M	L	XL
Fallzahl	10	23	10	7

Tab. 11: Verwendete Prothesenköpfe und -hälse

Spongiosaplastik und Fixierung der Revisionspfanne

Zur knöchernen Verstärkung des Pfannenlagers erfolgte innerhalb des analysierten Patientenkollektivs in 15 Fällen (30%) eine Acetabuloplastik durch die Anwendung von allogenen Spongiosamaterial, in weiteren 15 Fällen (30%) wurde autologe Spongiosa aus dem zuvor entnommenen patienteneigenen Hüftkopf verwendet. Bei 20 Patienten (40%) war keine Augmentation durch zusätzliches Knochenmaterial notwendig. Aufgrund ossärer Metastasen im Bereich des Acetabulums erfolgte bei drei Patienten präoperativ eine Embolisation der Knochenmetastase – die dabei verbliebenen Defekte wurden intraoperativ mit Knochenzement aufgefüllt.

Die MUTARS® RS Cup wurde im Durchschnitt mit 4,2 (2-6) Spongiosaschrauben fixiert.

4.3 Komplikationen

4.3.1 Operationsassoziierte intraoperative Komplikationen

Im Verlauf der 50 Indexoperationen traten nur moderate und beherrschbare Komplikationen auf. Beim Fräsen bzw. Verspannen der Revisionspfanne konnten keine iatrogenen Acetabulumfrakturen beobachtet werden. Aufgrund einer deutlich verminderten Knochenqualität wurde bei neun Patienten eine Zementfixierung der Schraubenköpfe und in einem Fall eine Verbundosteosynthese vorgenommen. Ebenfalls aufgrund der schlechten Knochenstruktur kam es bei drei Operationen zu einer Teilperforation der kaudalen Sitzbeinlasche, sodass hier ein Kompromiss bei der Verankerung der Revisionspfanne getroffen werden musste. Angesichts ausgeprägter Ossifikationen sowie Weichteilkontrakturen war in drei Situationen eine Stufenosteotomie des Femurhalses zur besseren Exposition des Acetabulums notwendig.

Zwei Patienten entwickelten intraoperativ einen hämorrhagischen Schock, der eine über die Operationsdauer hinausgehende Nachbeatmung zur hämodynamischen Stabilisierung auf der Intensivstation erforderlich machte. Des Weiteren konnte bei einer Revisionsarthroplastik eine intraoperative Subluxationstendenz aufgrund fehlender dorsaler Weichteilstabilisierung bei ehemals dorsalem Zugangsweg nicht vollständig korrigiert werden. Durch den Einsatz einer tripolaren Prothesenvariante wurde jedoch im postoperativen Nachbeobachtungsintervall keine erneute Luxation festgestellt. In einer Situation fiel die Entscheidung zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems erst intraoperativ, da sich beim Fräsen der Pfanne der ventrale Anteil des Acetabulums als instabil erwies und daher keine Standardprothesenpfanne verankert werden konnte.

Art der Komplikation	Fallzahl	Problemlösung
ausgedehnter Substanzdefekt des Acetabulums	30	Augmentation durch Spongiosa (15-mal allogen, 15-mal autolog)
stark verminderte Knochenqualität	10	Zementfixierung der Schraubenköpfe oder Verbundosteosynthese
	3	Kompromiss bei der Verankerung der Sitzbeinlasche
ausgeprägte Ossifikationen und Weichteilkontrakturen	3	Stufenosteotomie des Schenkelhalses
hämorrhagischer Schock	2	Nachbeatmung und hämodynamische Stabilisierung
ventraler Acetabulum-Anteil bricht beim Fräsen des Pfannenlagers weg	1	intraoperative Entscheidung für MUTARS® RS Cup-System

Tab. 12: Zusammenfassung der intraoperativ aufgetretenen Besonderheiten und die gewählten Therapieansätze

4.3.2 Operationsassoziierte postoperative Komplikationen

Im untersuchten Kollektiv wurden für die Dauer des Auswertungszeitraums weder Protrusionen der Revisionspfanne noch aseptische Lockerungen des integrierten Systems beobachtet. Ebenso ließ sich kein Materialbruch oder Dislokation des Inlays feststellen und es traten keine Nervenläsionen auf.

Nachblutung

Nach einer Operation (2%) kam es zu einer massiven arteriellen Nachblutung aus einem glutealen Ast der A. iliaca interna. Die Blutungsquelle konnte mittels Coil-Embolisation durch die radiologisch-interventionellen Kollegen verschlossen werden.

Zwei Patienten (4%) bildeten postoperativ ein Hämatom bzw. Hämatoserom aus, das einer operativen Entlastung zugeführt werden musste, wobei in einem der beiden Fälle aufgrund eines rezidivierenden Hämatoseroms die zweimalige Entlastung notwendig war. Alle intraoperativ entnommenen tiefen Wundabstriche blieben steril.

In einem Fall zeigte sich in der postoperativen Bildgebung ein Hämatom im Bereich des M. iliopsoas, welches jedoch einer konservativen Therapie zugeführt werden konnte. Als Ursache wurde eine über die Kortikalis des Os ilii hinausreichende Fixierungsschraube identifiziert.

Tiefe Wundinfektionen

In fünf Fällen (10%) wurde postoperativ eine tiefe Wundinfektion diagnostiziert. Bei allen fünf Patienten gelang ein mikrobiologischer Erregernachweis aus den tiefen Gelenkabstrichen bzw. periprothetischen Gewebebiopsien. Davon ereigneten sich vier Infekte innerhalb des ersten postoperativen Monats und können somit als Frühinfekte klassifiziert werden. Nach Diagnosestellung erfolgten begleitend zur antibiotischen Therapie die chirurgische Sanierung des Infektfokus mittels Wunddebridement, Gelenkspülungen und Austausch des Inlays sowie des Prothesenkopfs. Diese Maßnahmen führten in zwei Fällen zur erfolgreichen Behandlung des Infekts, sodass das MUTARS® RS Cup-System in situ verblieb. In den beiden anderen Fällen musste das gesamte implantierte Prothesenmaterial, das sich zwischenzeitlich septisch gelockert hatte bzw. ausgebrochen war, entfernt werden. Bei beiden Patienten lag das betreffende Hüftgelenk im Folgenden als Girdlestone-Situation vor. Ein weiterer internistisch schwerst vorerkrankter Patient, der sich bereits aufgrund eines langwierigen periprothetischen Infekts nach vorangegangener Implantation einer H-TEP in unserer Behandlung befand, wurde zunächst durch Ausbau des Prothesenmaterials und Einlage eines Spacers behandelt. Nachdem die Abstriche vielfach negativ ausfielen, erfolgte die Indexoperation durch Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems. Elf Monate später fiel dieser Patient jedoch durch einen Spätinfekt, erneut mit dem Nachweis eines Staphylokokkus aureus, auf. Das installierte System wurde folglich explantiert und

wiederum folgten neben einer antiinfektiven Therapie mehrfache Gelenkspülungen und Wunddebridements. Drei Monate später und nach Vorliegen negativer Abstriche aus dem betroffenen Gelenk wurde erneut ein MUTARS® RS Cup-System implantiert (s. Absatz 4.3.3). Im Verlauf fiel dieser Patient mit einer Mitralklappen-Endokarditis sowie einem low grade-Infekt seiner einliegenden Kniegelenk-Totalendoprothese auf (s. Abschnitt 4.3.4 sonstige Infektionen). Der primäre Fokus lässt sich im Nachhinein nicht mehr klären.

Luxationen

Postoperativ erlitten insgesamt sechs Patienten (12%) des Studienkollektivs eine Luxation des betroffenen Hüftgelenks. Hiervon lag in vier Fällen ausschließlich eine Luxation des Prothesenkopfs vor, wohingegen das MUTARS® RS Cup-System keine Anzeichen einer Lockerung oder Dislokation aufwies. Die Luxationen wurden an den Tagen 1, 5, 14 und 40 im postoperativen Heilungsverlauf diagnostiziert. In zwei Fällen bestand die Therapie in einer geschlossenen Reposition des Kopfs unter Kurznarkose, in den beiden anderen Fällen musste der Prothesenkopf offen reponiert werden. Zusätzlich lag bei einem dieser beiden Patienten eine begleitende Femurfraktur (Vancouver Typ C) vor, weshalb neben der offenen Reposition der Wechsel des Prothesenschafts auf einen Revitan®-Revisionsschaft und das Einbringen von Kabel-Cerclagen erfolgte.

In zwei Fällen ereignete sich eine Luxation des Prothesenkopfs mit sekundärer Dislokation der eingebrachten Revisionspfanne (s. folgender Absatz).

Art der Komplikation	Fallzahl	Problemlösung
arterielle Nachblutung	1	interventionelle Coil-Embolisation
Hämatom/Hämatoserom	2	operative Entlastung
tiefe Wundinfektion	2	Gelenkspülung und Antibiotikatherapie
	3	zusätzlicher Ausbau des Prothesenmaterials
Luxation des Prothesenkopfs	2	geschlossene Reposition
	1	offene Reposition
Luxation + periprothetische Femurfraktur	1	offene Reposition + Schaftwechsel und Cerclagen
Luxation + sekundäre Dislokation des MUTARS® RS Cup-Systems	2	offene Reposition + Wechsel des integrierten Systems mit tripolarer Variante

Tab. 13: Übersicht der postoperativ aufgetretenen Komplikationen sowie die gewählten Therapiestrategien

4.3.3 Re-Implantationen des MUTARS® RS Cup-Systems

Bei drei Patienten der Studienkohorte erfolgte innerhalb des Auswertungszeitraums eine Re-Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems auf der betroffenen Hüftgelenkseite.

Wie oben beschrieben erfolgten zwei Re-Implantationen am 8. bzw. 15. postoperativen Tag, da sich bei diesen Patienten zuvor eine Kopfluxation mit sekundärer Dislokation der Revisionspfanne ereignete. In beiden Fällen wurde das alte integrierte System entfernt und nach allogener Spongiosaplastik des Acetabulumdefekts durch ein neues MUTARS® RS Cup-System jeweils in der gleichen Größe wie beim Indexeingriff ersetzt. Des Weiteren wurde in beiden Fällen eine tripolare Prothesenvariante als Antiluxationsschutz eingebracht. Beide Patienten fielen durch eine hochgradige Defektsituation auf. In einem Fall handelte es sich um den in Kapitel 3.2.2 als Sonderform Paprosky-Schweregrad Typ 4 klassifizierten Patienten, bei dem sich intraoperativ ein vollständig abgehängtes Acetabulum zeigte. Der andere Patient erhielt anhand der präoperativen Bildbefunde eine Zuordnung zum Schweregrad Typ 3B. Zudem kam es intraoperativ aufgrund der schlechten Knochentextur zu einer Teilperforation im Bereich des Os ischii, weshalb bei der Verankerung der kaudalen Prothesenlasche ein Kompromiss getroffen werden musste.

Die dritte Re-Implantation erfolgte mit einem Abstand von 14 Monaten zur Erstoperation und wurde daher unter den 50 Indexeingriffen ausgewertet. Bei diesem Patienten lag ein periprothetischer Re-Infekt des Hüftgelenks mit zwischenzeitlicher Girdlestone-Situation vor. Trotz postoperativer Ausbildung einer Endokarditis und eines low grade-Infekts der Kniegelenkendoprothese traten im weiteren Beobachtungszeitraum keine Beschwerden des mehrfach revidierten Hüftgelenks auf.

4.3.4 Internistische Komplikationen

Tiefe Beinvenenthrombose und Lungenarterienembolie

Ab einer postoperativen Immobilisierung von ≥ 2 Tagen wurde vor Beginn der Mobilisation eine farbkodierte Duplexsonografie der Becken- und Beinvenen zum Ausschluss einer tiefen Venenthrombose durchgeführt. Hierbei wurde bei drei Patienten (6%) eine tiefe Venenthrombose der unteren Extremität diagnostiziert, die sich ausnahmslos auf das jeweils operierte Bein bezog. Bei einem dieser drei Patienten ließ

sich ergänzend in der durchgeführten CT-Diagnostik eine beidseitige periphere Lungenarterienembolie in mehreren Unterlappen-Segmentarterien nachweisen, wodurch dieser Patient im weiteren Verlauf eine Infarktpneumonie entwickelte.

Sonstige postoperative Infektionen

Innerhalb des untersuchten Patientenkollektivs wurden postoperativ neun Pneumonien (18%) und sieben Harnwegsinfektionen (14%) diagnostiziert. Bei einem Patienten fanden sich über das postoperative Setting hinausgehend anhaltend erhöhte Entzündungswerte, ohne dass die veranlasste breite Diagnostik einen Fokus erbrachte.

Ein Patient infizierte sich im Rahmen seines stationären Aufenthalts mit SARS-CoV-2. Da die Infektion ohne Covid-spezifische Symptome verlief, war keine intensivierete Therapie notwendig und die Erkrankung heilte folgenlos aus.

In einem Fall kam es zu einer Endokarditis des posterioren Mitralklappensegels. Die Blutkulturen erbrachten den Nachweis eines Methicillin-sensiblen Staphylokokkus aureus. Begleitend ließen sich echokardiografisch kleine Vegetationen mit einer leichtgradigen Insuffizienz der betroffenen Herzklappe darstellen. Bei gleichzeitigem Vorliegen eines Rezidiv-Protheseninfekts der operierten Hüfte mit passendem Keimspektrum in den Abstrichen wurde dieser als Fokus erachtet (s. Abschnitt 4.3.2 tiefe Wundinfektionen). Es erfolgten eine gezielte intensivierete antibiotische Therapie und die chirurgische Sanierung durch vollständigen Ausbau des infizierten Prothesenmaterials. Unter diesem Therapieregime heilten sowohl die Endokarditis als auch der Hüftgelenkinfekt aus. Der gleiche Patient musste jedoch im weiteren Verlauf aufgrund eines chronischen low grade-Infekts seiner einliegenden Knieprothese erneut bei uns behandelt werden. Eine immunsuppressive Medikation aus Methotrexat und Prednisolon aufgrund einer rheumatoiden Arthritis als Grunderkrankung muss als maßgeblich für die herabgesetzte Infektabwehrlage dieses Patienten betrachtet werden.

Palliative Situation und Mortalität

Die stationäre Aufnahme eines Patienten erfolgte bereits mit dem klinischen Bild einer Sepsis bei urogenitalem Fokus unter Nachweis eines multiresistenten Escherichia coli. Postoperativ verschlechterte sich die klinische Situation des Patienten weiter. Da bereits eine hochgradige Pflegebedürftigkeit aufgrund eines schweren Morbus Parkinsons vorlag, entschied man sich im Gespräch mit den Angehörigen, das Therapieregime auf

ein palliatives Setting anzupassen und den Patienten in sein häusliches Umfeld zu entlassen.

Ein weiterer Patient fiel trotz Explantation des Prothesenmaterials und breitester antiinfektiver Therapie durch rezidivierende und nicht beherrschbare Wundinfekte auf, sodass bei gleichzeitigem Vorliegen multipler Neoplasien in Leber und Lunge die Verlegung in ein Hospiz erfolgte.

In einem Fall, bei dem eine osteolytische Acetabulum-Metastase eines Nierenzellkarzinoms als Indikation zum Indexeingriff vorlag, erfolgte zwei Monate postoperativ die stationäre Wiederaufnahme aufgrund einer partiellen Querschnittsymptomatik. Zur Symptomkontrolle wurde eine Tumorreduktionsoperation im Bereich der lumbosakralen Wirbelsäule durchgeführt und der Patient im Anschluss in eine palliative Weiterbehandlung überführt.

4.4 Blutverlust und Hämoglobinverlauf

Blutverlust

Den Anästhesieprotokollen wurde der durch den narkoseführenden Arzt geschätzte intraoperative Gesamtblutverlust entnommen (Tab. 14). Dieser lag im Mittel bei 1354 (100-3500) ml. Bei allen Patienten wurden intraoperativ mindestens zwei Drainagen eingebracht, die bis zum Zeitpunkt ihrer Entfernung ein Volumen von durchschnittlich 1110 (30-3340) ml förderten (Tab. 14).

Intraoperativer Blutverlust	[ml]
Mittelwert (\pm SD)	1354 (\pm 838)
Median (Min.-Max.)	1175 (100-3500)
Postoperativer Drainageverlust	[ml]
Mittelwert (\pm SD)	1110 (\pm 650)
Median (Min.-Max.)	1015 (30-3340)

Tab. 14: Auswertung des intraoperativen Blut- und des postoperativen Drainageverlusts

Hämoglobinverlauf

Zu sieben Zeitpunkten des stationären Aufenthalts wurde der Hämoglobin (Hb)-Wert des Studienkollektivs geschlechtsbezogen ausgewertet (Tab. 15) und grafisch aufbereitet (Abb. 25a und b). Der bei stationärer Aufnahme im Zentrallabor ermittelte Wert erhielt

dabei die Bezeichnung Hb₍₀₎. Legt man die geltende Anämie-Definition der WHO mit einem Hb-Grenzwert für Männer unter 13 g/dl und Frauen unter 12 g/dl zugrunde,¹³³ wiesen 34 Patienten (68%) des Gesamtkollektivs, darunter 20 Männer und 14 Frauen, bei Aufnahme zum Indexeingriff eine Anämie auf. In 85% der Fälle erfolgte vor der operativen Versorgung mindestens eine weitere laborchemische Kontrolle des Hb-Werts, der die Bezeichnung Hb₍₁₎ erhielt. Des Weiteren wurde der niedrigste intraoperativ gemessene Hb-Wert als Hb₍₂₎, der Hb-Wert am Ende der Operation zum Zeitpunkt der Übernahme auf die Überwachungseinheit als Hb₍₄₎, die Hb-Werte am 1. und 3. postoperativen Tag als Hb₍₄₎ und Hb₍₅₎ sowie der Hb-Wert bei Entlassung aus dem Krankenhaus als Hb₍₆₎ ausgewertet. Erfolgte am 3. postoperativen Tag keine Blutentnahme wurde ein Mittelwert aus den beiden Hb-Werten vor und nach dem 3. postoperativen Tag gebildet.

	Männer (n=29)	Frauen (n=21)
Hb ₍₀₎ bei Aufnahme	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	11,7 (±1,6)	11,2 (±1,9)
Median (Min.-Max.)	11,5 (6,8-14,5)	11,1 (7,5-14,4)
Hb ₍₁₎ vor Operation	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	10,2 (±1,7)	10,6 (±1,3)
Median (Min.-Max.)	10,3 (7,2-15,0)	10,7 (8,3-12,6)
Hb ₍₂₎ niedrigster intraoperativ	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	8,3 (±1,3)	7,5 (±1,3)
Median (Min.-Max.)	8,1 (6,4-11,1)	7,3 (5,7-10,4)
Hb ₍₃₎ nach Operation	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	9,2 (±1,2)	9,6 (±1,3)
Median (Min.-Max.)	9,3 (7,1-11,8)	9,3 (7,9-12,2)
Hb ₍₄₎ 1. postoperativer Tag	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	8,2 (±0,9)	8,5 (±1,1)
Median (Min.-Max.)	8,2 (6,8-10,3)	8,2 (6,8-11,0)
Hb ₍₅₎ 3. postoperativer Tag	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	8,1 (±0,6)	8,3 (±0,7)
Median (Min.-Max.)	8,0 (6,7-9,2)	8,3 (7,0-9,3)
Hb ₍₆₎ bei Entlassung	[g/dl]	[g/dl]
Mittelwert (±SD)	9,5 (±1,1)	9,6 (±1,1)
Median (Min.-Max.)	9,4 (6,8-12,1)	9,2 (7,0-12,2)

Tab. 15: Tabellarische Zusammenfassung der Hb-Werte für beide Geschlechter zu verschiedenen Zeitpunkten des stationären Aufenthalts

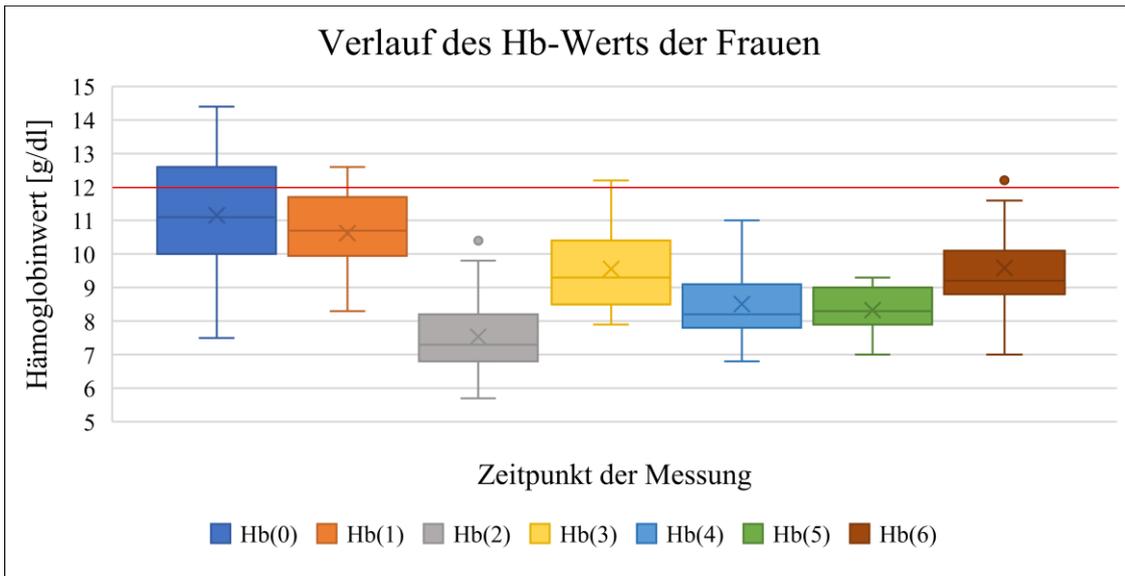


Abb. 25a: Hb-Wertänderung innerhalb des weiblichen Studienkollektivs über die Zeitdauer des stationären Aufenthalts (rote Linie: Anämie-Grenzwert Frauen 12g/dl)

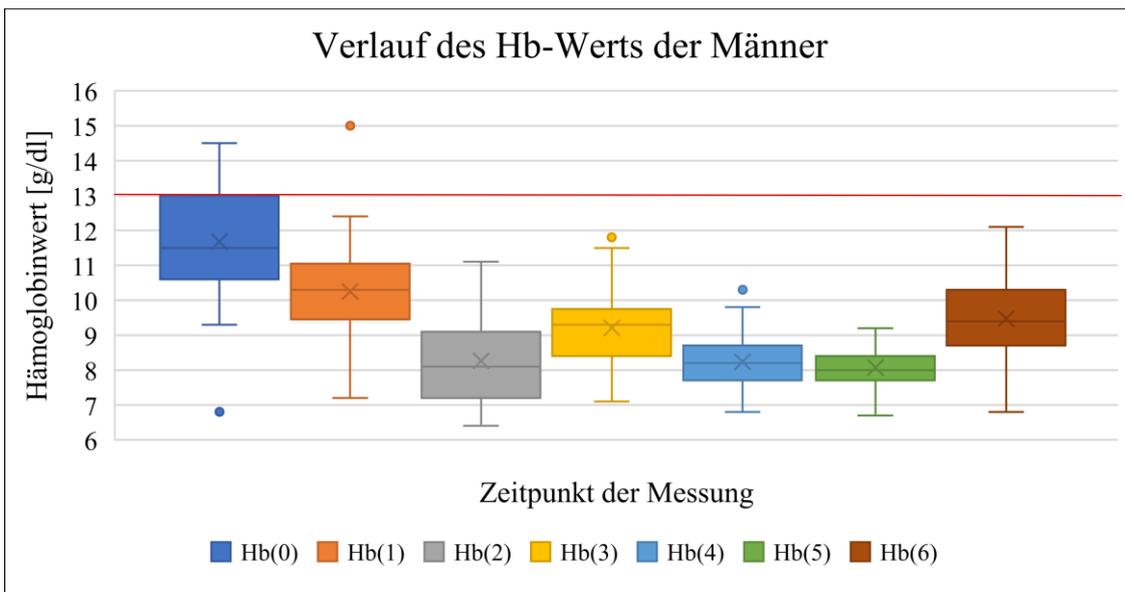


Abb. 25b: Hb-Wertänderung innerhalb des männlichen Studienkollektivs über die Zeitdauer des stationären Aufenthalts (rote Linie: Anämie-Grenzwert Männer 13g/dl)

Bei Krankenhausentlassung lagen 95% der Hb-Werte der Frauen und alle Hb-Werte der Männer unterhalb des oben genannten Grenzwerts zur Diagnosestellung einer Anämie.

4.5 Transfusionsregime

Intraoperative MAT und Fremdblutgabe

Bei 22 Patienten der Studienpopulation kam intraoperativ eine maschinelle Autotransfusion (MAT) zum Einsatz (Tab. 16). Das dabei retransfundierte Volumen des aufbereiteten autologen Erythrozytenkonzentrats lag im Mittel bei 225 (26-1077) ml.

intraoperativer Einsatz einer MAT	
absolute Häufigkeit	n=22
relative Häufigkeit	44%
retransfundiertes Volumen [ml]	
Mittelwert (\pm SD)	225 (\pm 224)
Median (Min.-Max.)	173 (26-1077)

Tab. 16: Intraoperativer Einsatz einer maschinellen Autotransfusion und hierbei retransfundiertes Blutvolumen

Des Weiteren wurde der Bedarf an Fremdblutgaben in Form von Erythrozytenkonzentrat (EK)-Einheiten ausgewertet (Tab. 17):

	präoperativ	intraoperativ	Überwachungs- einheit	gesamter Aufenthalt
Anzahl und Anteil transfundierter Patienten				
absolute Häufigkeit	n=9	n=26	n=41	n=46
relative Häufigkeit	18%	52%	82%	92%
dabei verabreichte EK-Einheiten				
Mittelwert (\pm SD)	2,0 (\pm 0,9)	1,8 (\pm 1,3)	2,1 (\pm 1,5)	4,5 (\pm 4,7)
Median (Min.-Max.)	2,0 (1-4)	1,0 (1-6)	2,0 (1-7)	3,0 (1-30)

Tab. 17: Auswertung der Fremdblutgaben über die gesamte Dauer des stationären Aufenthalts

In neun Fällen war aufgrund einer transfusionspflichtigen Anämie bereits eine präoperative Gabe von durchschnittlich 2 (1-4) EK notwendig, 26 Patienten benötigten intraoperativ eine Fremdblutgabe mit 1,8 (1-6) EK. Einschließlich des Zeitraums der postoperativen Überwachung wurden 41 Patienten mit einem mittleren Transfusionsbedarf von weiteren 2,1 (1-7) EK substituiert. Über die gesamte Dauer des stationären Aufenthalts erhielten 46 der 50 Indexpatienten eine Fremdblutgabe mit durchschnittlich 4,5 (1-30) EK-Einheiten. Dies bedeutet, dass lediglich vier der 50 Patienten zu keinem Zeitpunkt des stationären Aufenthalts eine Fremdblutgabe benötigten, wovon jedoch zwei Patienten intraoperativ eine MAT mit 159 bzw. 173 ml erhielten.

Transfusionstrigger

Für das Studienkollektiv wurde eine Gesamtsumme von 206 transfundierten EK während des stationären Aufenthalts zum Indexeingriff erfasst (Tab. 18). Den Dokumentationsbögen der Blutbank konnten die angegebenen Transfusionstrigger, die zur Indikationsstellung einer Fremdblutgabe führten, entnommen werden (Abb. 26). Hinweise auf eine anämische Hypoxie waren entsprechende Zeichen einer Tachykardie, Hypotonie, Laktatazidose oder Ischämiezeichen im Elektrokardiogramm. Des Weiteren konnten Vorerkrankungen wie eine koronare Herzerkrankung, Herzinsuffizienz und zerebrovaskuläre Erkrankungen als Risikofaktoren für eine eingeschränkte Kompensation angekreuzt werden.

Hb-Wert	klinische Indikatoren	Anzahl
< 6 g/dl	unabhängig von Kompensationsfähigkeit	21
6-8 g/dl	Hinweis auf anämische Hypoxie	53
	Kompensation eingeschränkt, Risikofaktoren vorhanden	85
	Sonstige Indikatoren	42
> 8 g/dl	Die Transfusion ist mit einem unklaren Nutzen-Risiko Verhältnis verbunden	5

Summe: 206

Tab. 18: Auswahlmöglichkeiten der Transfusionstrigger und deren absolute Häufigkeiten im Patientenkollektiv

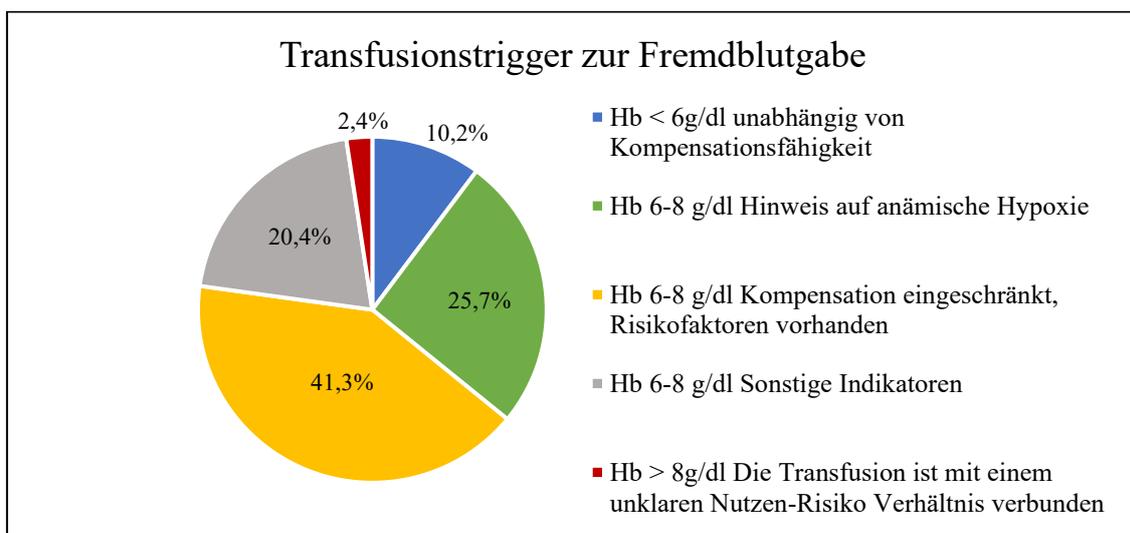


Abb. 26: Transfusionstrigger und deren relative Häufigkeiten in der Studienkohorte

4.6 Gerinnung und Antikoagulation

Präoperative Gerinnungssituation

Von allen Patienten wurde der Gerinnungsstatus zum Zeitpunkt der stationären Krankenhausaufnahme und vor dem eigentlichen Indexeingriff anhand der laborchemischen Standardparameter Thromboplastinzeit (Quick, Referenzwert: 70-130%), aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT, Referenzwert: 25-37 sec.) und Anzahl der Thrombozyten (Referenzwert Männer: 146-328/nl und Frauen: 176-391/nl) bestimmt (Tab. 19).

Gerinnungsparameter bei der Krankenhausaufnahme:

	Männer (n=29)	Frauen (n=21)
Quick	[%]	[%]
Mittelwert (\pm SD)	93 (\pm 13)	83 (\pm 21)
Median (Min.-Max.)	95 (65-114)	90 (21-112)
aPTT	[sec.]	[sec.]
Mittelwert (\pm SD)	28 (\pm 2)	28 (\pm 2)
Median (Min.-Max.)	28 (24-33)	28 (23-32)
Thrombozytenzahl	[1/nl]	[1/nl]
Mittelwert (\pm SD)	220 (\pm 68)	297 (\pm 133)
Median (Min.-Max.)	217 (59-456)	288 (94-743)

Gerinnungsparameter vor dem Indexeingriff:

	Männer (n=29)	Frauen (n=21)
Quick	[%]	[%]
Mittelwert (\pm SD)	90 (\pm 12)	91 (\pm 13)
Median (Min.-Max.)	92 (65-106)	92 (61-116)
aPTT	[sec.]	[sec.]
Mittelwert (\pm SD)	29 (\pm 4)	28 (\pm 4)
Median (Min.-Max.)	28 (25-43)	27 (23-37)
Thrombozytenzahl	[1/nl]	[1/nl]
Mittelwert (\pm SD)	254 (\pm 92)	314 (\pm 105)
Median (Min.-Max.)	240 (45-479)	312 (150-548)

Tab. 19: Geschlechtergetrennte Übersicht der drei Standard-Gerinnungsparameter zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme und vor dem Indexeingriff

Als Beurteilungsgrundlage zur Identifikation pathologischer Werte wurden die vom Zentrallabor der Universitätsklinik Frankfurt definierten Referenzwerte für die drei oben genannten Gerinnungsparameter zugrunde gelegt. Hiernach fand sich in dieser Kohorte kein über den oberen Referenzwert hinaus verlängerter aPTT-Wert zum Zeitpunkt der

Aufnahme, aber ein aPTT-Wert von mehr als 37 sec. in der Blutabnahme vor dem Indexeingriff.

In sechs Fällen fiel ein pathologisch erniedrigter Quick-Wert bei Aufnahme auf. Dieser konnte in drei Fällen als medikamentenassoziiert¹³⁴ gewertet werden und normalisierte sich nach Absetzen des betreffenden Antikoagulans bis zur Operation. In drei Fällen lag weder ein medikamentöser Einfluss vor, noch konnte die Ursache der milden Quick-Erniedrigung sicher benannt werden und bestand daher bis zum Eingriff fort.

Nach geschlechtsspezifischer Unterscheidung lagen in der Gruppe der Männer zwei, in der Gruppe der Frauen vier Thrombozytenwerte unterhalb der Norm. Davon war jedoch nur ein Wert mit 59/nl bei Aufnahme bzw. 45/nl vor Operation massiv und damit relevant vermindert. Die Ursache dieser deutlichen Thrombozytopenie ließ sich in einer ausgeprägten Hepatosplenomegalie auf dem Boden einer äthyltoxischen Genese finden.

Antikoagulantien

Außerdem wurde den unfallchirurgischen Aufnahmeprotokollen eine gerinnungshemmende Vormedikation entnommen (Tab. 20). Hieraus ergab sich, dass zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme zwei Patienten unter der Einnahme eines Vitamin K-Antagonisten (VKA) und sechs Patienten unter der Wirkung von direkten oralen Antikoagulantien (DOAK) standen. In der Gruppe der DOAK waren die Wirkstoffe Apixaban in fünf Fällen und Rivaroxaban in einem Fall vertreten. Die Indikation zur therapeutischen Antikoagulation war bei sieben Patienten ein intermittierendes oder permanentes Vorhofflimmern (davon in zwei Fällen mit vorangegangener thromboembolischer Komplikation) und in einem Fall der Zustand nach Implantation einer mechanischen Mitralklappen-Prothese. Eine schwerwiegende Nierenfunktionsstörung konnte bei allen Patienten, die unter der Einnahme eines DOAK standen, ausgeschlossen werden, weshalb nach Absetzen der Medikation von einer adäquaten Eliminationshalbwertszeit ausgegangen werden durfte.

Zehn Patienten wiesen zum Aufnahmezeitpunkt eine Vormedikation mit dem Thrombozytenaggregationshemmer Acetylsalicylsäure (ASS) auf. In zwei Fällen bestand eine Vormedikation mittels dualer Plättchenaggregationshemmung aus ASS und Clopidogrel. In beiden Situationen wurde Clopidogrel unter fortgesetzter ASS-Einnahme pausiert.

Wirkstoffklasse	Präparat	Fallzahl
DOAK	Apixaban	5
	Rivaroxaban	1
VKA	Phenprocoumon	2
Thrombozyten- aggregationshemmer	ASS	10
	ASS plus Clopidogrel	2

Tab. 20: Überblick über die unterschiedlichen gerinnungshemmenden Präparate und deren Vorkommen im Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme

Intraoperative Substitution von Gerinnungspräparaten

23 Operationen (46%) verliefen ohne die Gabe eines gerinnungsbeeinflussenden Medikaments. Als Antifibrinolytikum wurde in 22 Fällen (44%) 1g Tranexamsäure verabreicht, in sieben Fällen (14%) kumulativ 2g. Des Weiteren wurde ein Patient mit zwei Einheiten gefrorenem Frischplasma und ein anderer Patient bei vorbestehender Thrombozytopenie mit drei Einheiten Thrombozytenkonzentrat substituiert. Als weitere Gerinnungsstabilisatoren kamen in fünf Fällen Fibrinogen mit einer durchschnittlichen Dosierung von 2,8 (2-4) g und bei vier Patienten Prothrombinkomplex-Konzentrat in einer mittleren Dosierung von 2500 (1.000-4.000) IE zum Einsatz. Zudem erfolgte bei drei Patienten die Gabe des synthetischen Vasopressin-Analogons Desmopressin in einer durchschnittlichen Konzentration von 45,3 (28-80) µg.

Präparat	mittlere Dosierung (Min.-Max.)	Fallzahl
Tranexamsäure	1g	22
	2g	7
Fibrinogen	2,8 (2-4) g	5
Prothrombinkomplex	2.500 (1.000-4.000) IE	4
Gefrorenes Frischplasma	2 Einheiten	1
Thrombozytenkonzentrat	3 Einheiten	1
Desmopressin	45,3 (28-80) µg	3

Tab. 21: Auflistung der intraoperativ verabreichten Gerinnungspräparate

5 Diskussion

5.1 Risikoprofil der Studienpatienten

Altersstruktur und Komorbiditäten

Die Arbeitsgruppen der beiden Fachgesellschaften „Deutsche Gesellschaft für Geriatrie“ und „Deutsche Gesellschaft für Gerontologie und Geriatrie“ definieren in Zusammenarbeit mit dem „Bundesverband Geriatrie e.V.“ einen geriatrischen Patienten durch das Vorhandensein einer geriatritypischen Multimorbidität, die bei einem höheren Lebensalter von 70 Jahren und mehr durch Merkmale wie kognitive Defizite, zunehmende Immobilität und erhöhte Sturzneigung unter anderem gekennzeichnet ist.¹³⁵ Betrachtet man das untersuchte Studienkollektiv waren 76% der Patienten zum Zeitpunkt der operativen Versorgung 70 Jahre oder älter. Nicht das chronologische Alter allein, sondern vielmehr das Zusammenspiel mit der körperlichen Gebrechlichkeit nimmt Einfluss auf das perioperative Risikoprofil der Patienten. Die Analyse der relevanten Vorerkrankungen anhand des CCI sowie der hohe ASA-Score veranschaulichen die beträchtliche Krankheitslast in der vorliegenden Kohorte. 74% der Patienten wiesen schwere systemische Erkrankungen auf und wurden daher den ASA-Klassen III bzw. IV zugeordnet. Der mittlere CCI lag nach Altersadjustierung bei 5,3 Punkten. Entsprechend diverser Studien ist für Patienten nach Hüftfrakturen mit einem hohen CCI-Score von ≥ 4 Punkten eine 2-Jahres-Sterblichkeitsrate von 25,5% assoziiert¹³⁶ bzw. ein 3,1 bis 8,5-fach höheres Sterberisiko als für Patienten mit einem niedrigeren CCI-Score von 2-3 Punkten.¹³⁷ Die mittlere präoperative Verweildauer von 9,2 Tagen bis zur Indexoperation war vielfach notwendig, um die klinische Situation der Patienten zu verbessern, was ebenfalls ein Indiz für die erhebliche Erkrankungsschwere im ausgewerteten Studienkollektiv ist. In einem Fall kam es während der Narkoseeinleitung zu einer kardialen Dekompensation und der Patient wurde reanimationspflichtig, sodass der Eingriff erst vier Tage später und nach Wiedererlangung einer suffizienten hämodynamischen Situation durchgeführt werden konnte. Des Weiteren wird die nennenswerte perioperative Morbidität und Mortalität durch die Tatsache bekräftigt, dass bis zum Ende des Auswertungszeitraums drei der 49 Patienten in eine Weiterversorgung mit palliativem Therapieziel überführt wurden.

Unfallchirurgische Ausgangssituation

Anhand der präoperativen Bildbefunde erhielten 80% des Studienkollektivs eine Zuordnung zur höchsten Paprosky-Klassifikationsstufe und wiesen somit schwerwiegende acetabuläre Defektsituationen auf. Des Weiteren handelte es sich bei mehr als der Hälfte der Patienten (54%) um eine Revisionsarthroplastik eines bereits voroperierten Hüftgelenks. Gemäß zahlreicher Studien sind sowohl für ausgedehnte Acetabulumdefekte als auch für Revisionsoperationen deutlich höhere Komplikationsraten publiziert, als sie für die unkomplizierte primäre Hüftendoprothetik zu erwarten sind.^{13,14,58} Die Indikationen, die zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems führten, waren in dieser Untersuchung äußerst vielschichtig. Elf unterschiedliche Ursachen lagen den Acetabulumläsionen zugrunde, wobei das breite Spektrum sowohl materialassoziierte Langzeitkomplikationen (aseptische Pfannenlockerung) als auch traumatische, degenerative, septische und maligne Gründe umfasste. Mit 32% primären, respektive 22% periprothetischen Acetabulumfrakturen war die traumatische Ursache in dieser Auswertung führend. Anamnestisch verursachte in vielen Fällen eine geringe Kinetik des Unfallmechanismus ausgeprägte knöcherne Strukturschäden, was auf eine deutlich reduzierte Knochenqualität schließen lässt. Insbesondere die Protrusion einer einliegenden Pfannenkomponente Richtung kleines Becken hinterlässt großflächige acetabuläre Substanzdefekte und wird durch eine vorbestehende Osteoporose, wie sie in dem vorliegenden geriatrisch-multimorbiden Patientengut häufig präsent war, negativ beeinflusst.

5.2 Das MUTARS® RS Cup-System

Das MUTARS® RS Cup-System erfüllt alle in Kapitel 2.5 geforderten Behandlungsgrundsätze zur erfolgreichen Therapie höhergradiger Acetabulumdefekte.

Überbrückung des Defektareals und Primärstabilität

Aktuelle Zahlen des Endoprothesenregisters Deutschlands zeigen, dass die Press-Fit Methode favorisiert wird und im Jahr 2020 mehr als 75% der primären H-TEP zementfrei implantiert wurden.¹² Durch zementfreies Verspannen der MUTARS® RS Cup in Press-Fit Technik wird das Risiko für intraoperative Zementembolien, Zement-Protrusionen ins kleine Becken oder spätere Zementlockerungen ausgeschlossen. Die beiden anatomisch

geformten seitlichen Prothesenlaschen der MUTARS® RS Cup ermöglichen durch ihre breite Auflagefläche eine suffiziente Überbrückung des Defektareals und folgen damit dem Prinzip des BS-Rings. Neben dem Verspannen in Press-Fit Technik wird eine mechanisch solide Fixierung des Revisionsimplantats durch das Einschlagen der kaudalen Lasche im Ramus ossis ischii und die zusätzliche Schraubenfixierung im Corpus des Os ilii gewährleistet. Hierdurch wird die sichere Verankerung der Revisionspfanne am vitalen und tragfähigen Wirtsknochen sichergestellt und bildet damit die Grundlage für eine gute Primärstabilität. Gerade unter Belastung sind Mikrobewegungen zwischen Implantat und Knochen unvermeidbar. Durch eine hohe Primärstabilität der Revisionspfanne können diese jedoch reduziert werden, sodass der Prozess der Osteointegration und somit ein stabiles Einheilen der Prothese begünstigt wird.^{138,139} In der Folge erlaubt eine suffiziente Primärstabilität des Implantats eine zügige postoperative Belastbarkeit des Gelenks, wodurch eine frühzeitige Mobilisation möglich wird. In der Konsequenz darf mit einer geringeren Komplikationsrate hinsichtlich Dekubiti, Thromboembolien sowie immobilisationsassoziiierter Infektionen gerechnet werden, was wiederum den positiven Nebeneffekt einer kürzeren Krankenhausverweildauer und einer damit einhergehenden Kostenreduktion für das Gesundheitssystem bedeutet. Die Voraussetzung eines intakten Knochenstocks ist jedoch bei osteoporotischer Knochenstruktur des Wirtsknochens oftmals nur in eingeschränktem Maße gegeben, was die stabile Implantatfixierung zu einer Herausforderung macht und in seltenen Fällen sogar scheitern lassen kann.

Die korrekte Vorhersagewahrscheinlichkeit der präoperativ geplanten Pfannengröße lag bei 68,8%. In 21,9% der Fälle wurde intraoperativ eine Prothesengröße kleiner und in 9,3% der Fälle eine Größe größer gewählt. Dies kann zum einen an einer präoperativen Fehlpositionierung der Planungskugel liegen oder zum anderen darin begründet sein, dass sich der tatsächliche Defekt intraoperativ als schwerwiegender erwies als es die präoperative Diagnostik vermuten ließ.

Wiederherstellung der Gelenkgeometrie

Diese Forderung ist für ein gutes funktionelles Outcome unerlässlich. Neben einer präzisen präoperativen Planung von Implantatgröße und -position sowie einer technisch einwandfreien Implantation der MUTARS® RS Cup bei korrektem Inklinations- und Anteversionswinkel, gelingt durch die entsprechende Auswahl des Inlays (neutral 0mm

oder Offset 4mm) eine Verschiebung des Drehpunkts und damit eine optimale Rekonstruktion des Hüftrotationszentrums. Alle Inlays sind asymmetrisch geformt, sodass die nach dorsolateral ausgerichtete Überdachung von 15° in Kombination mit 36mm großen Hüftköpfen einen guten Antiluxationsschutz bietet. Gerade bei Revisionseingriffen kann dies für eine signifikant verringerte Luxationsrate sorgen.^{14,140} Die Erweiterung auf ein tripolares Design ist problemlos möglich und erfolgt ebenfalls als integriertes System ohne die Notwendigkeit einer Zementfixierung, wie sie beim BS-Ring besteht. Somit wird die Luxationsprophylaxe deutlich verbessert, ohne dass eine Lockerung der Zementfixierung im Laufe der Zeit zu befürchten ist. In der untersuchten Studienpopulation kam das Prinzip des sog. „Dual-mobility head“ bei neun Indexeingriffen sowie zwei Revisionsoperationen erfolgreich zum Einsatz.

Knöcherne Augmentation des Acetabulums

Ein Aufbau des Knochenstocks mittels Spongiosa ist optional und kann wie beim BS-Ring sowohl durch den Einsatz eines Auto- wie auch Allografts erfolgen. Die biologische Aufbereitung des Pfannenlagers ist jedoch bei ausgedehnten acetabulären Knochendefekten, insbesondere vor dem Hintergrund eines erneuten Revisionseingriffs, zu empfehlen. Ein sorgfältiges Debridement im Bereich des Acetabulums zur Entfernung avitaler Knochenfragmente und Detritus frischt den Wundgrund an und bietet dem Knochentransplantat bestmögliche Einheilungsbedingungen. Sofern vorhanden sollte autologes Spongiosamaterial des entnommenen Hüftkopfs bzw. proximalen Schenkelhalses bevorzugt werden. Diesem wird aufgrund regenerationsfähiger Osteoblasten das höchste regenerative Potential zugesprochen, wodurch das Einwachsen des Knochentransplantats begünstigt wird.¹⁴¹ Besteht diese Möglichkeit nicht (z.B. bei Revisionsarthroplastiken) oder ist bei großen Defekten nicht ausreichend autologe Knochenspongiosa verfügbar, kann allogenes Knochenersatzmaterial eine Alternative bieten. Da alle in Deutschland zugelassenen Alloimplantate einer physikochemischen Behandlung unterzogen werden, besteht bezüglich immunologischer und infektiologischer Bedenken lediglich ein hypothetisches Restrisiko.^{141,142} Zwar ist diese Methode mit einem geringeren osteoinduktiven Potenzial assoziiert, rechtfertigt aber unserer Ansicht nach keine zweite Spongiosaentnahmestelle (z.B. am Beckenkamm) mit zusätzlichem Blutungs- und Infektionsrisiko. Unabhängig davon, welche Transplantatform gewählt wird, ist es unerlässlich, die Revisionspfanne auf gesundem tragfähigem Wirtsknochen abzustützen, was Dank der seitlichen Prothesenlaschen

gewährleistet wird. So werden etwaige durch die Prothesenpfanne induzierte Druckschäden des Knochentransplantats vermieden und der Einheilungsprozess kann ungestört erfolgen.

Sekundärstabilität

Die dem Knochen zugewandte Seite der MUTARS® RS Cup besteht aus einer hochporösen EPORE®-Struktur und beschleunigt zusammen mit der optional erhältlichen Tricalciumphosphat-Beschichtung die Osteointegration.^{47,117-121} Dies fördert ein stabiles Einwachsen der Prothesenpfanne und legt somit den Grundstein für eine dauerhafte Implantatverankerung, die auch als Sekundärstabilität bezeichnet wird. Die Vitalität des Wirtsknochens mit dem Vorhandensein von regenerationsfähigen Osteoblasten beeinflusst entscheidend den Prozess der Osteointegration und damit das Einheilen der Revisionspfanne, was in der Konsequenz eine langlebige Belastbarkeit des Implantats bedeutet.¹³⁹ Jedoch wird die Anfangsstabilität und damit die Osteointegration des Titanimplantats gerade bei Frauen durch eine vorbestehende Osteoporose, wie sie in dem untersuchten geriatrischen Patientengut häufig anzutreffen war, negativ beeinflusst.¹⁴³

5.3 Analyse der eingetretenen Komplikationen

Luxationen

Es ist hinlänglich bekannt und vielfach publiziert, dass die Luxationsrate nach endoprothetischen Revisionseingriffen im Vergleich zu primären Operationen einer H-TEP deutlich höher liegt.¹⁴⁰ Für Patienten, die sich einer Mehrfachrevision unterzogen, wird in der Literatur ein Wert um 28% angegeben.^{14,144} Die hierfür ursächlichen Gründe sind vielschichtig, aber einige entscheidende Faktoren haben sich herauskristallisiert und sollen daher im Folgenden aufgegriffen und in Bezug zu dem untersuchten Patientenkollektiv bewertet werden.

Nach Auswertung der 50 Indexeingriffe fanden sich insgesamt sechs Luxationen des Prothesenkopfs (12%). Unterteilt man das Studienkollektiv nach der präoperativen Situation des Hüftgelenks, waren 8,7% der zuvor nativen Hüftgelenke (2/23) und 14,8% der bereits einfach bzw. mehrfach voroperierten Hüftgelenke (4/27) von einer Luxation betroffen. Nicht nur Revisionsoperationen, sondern auch das weibliche Geschlecht und ältere Patienten tragen laut Literatur ein höheres Luxationsrisiko.¹⁴⁵ Im vorliegenden

Kollektiv waren drei Männer und drei Frauen von dieser Komplikation betroffen. Da die weibliche Patientengruppe mit einem Anteil von knapp 43% im Gesamtkollektiv vertreten war, kann in dieser Auswertung allenfalls eine leichte Tendenz hin zum weiblichen Geschlecht angenommen werden. Das mittlere Alter der Patienten, die eine Luxation erlitten, lag mit 85,1 (Median 86,9) Jahren jedoch deutlich über dem Durchschnittsalter des Gesamtkollektivs von 75,6 (Median 78,9) Jahren. Keiner der sechs Patienten, bei denen sich postoperativ eine Luxation mit oder ohne Dislokation der Revisionspfanne ereignete, war der Gruppe der präadipösen oder adipösen Patienten gemäß der genannten WHO-Definition¹⁰⁸ zuzuordnen. Somit konnte in dieser Untersuchung eine eindeutige Korrelation zwischen höherem Patientenalter und erhöhtem Luxationsrisiko, aber kein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein eines erhöhten BMI und einer gesteigerten Luxationsrate beobachtet werden. Ein Bezug zwischen der Luxationsrate und einem hohem ASA-Score, wie er ebenfalls als Risikofaktor in verschiedenen Studien beschrieben ist,^{146,147} bestätigte sich in der vorliegenden Auswertung nicht. Der mittlere ASA-Score der Luxationsgruppe lag bei 2,8 und entspricht damit exakt dem Mittelwert der gesamten Studienpopulation.

Des Weiteren haben Analysen gezeigt, dass auch bei der primären, aber besonders bei einer Revisionsarthroplastik des Hüftgelenks große Prothesenköpfe und vor allem tripolare Varianten die Implantatstabilität erhöhen und dies mit einer geringeren Rate an Luxationen assoziiert ist.^{14,148,149} Grund hierfür ist ein verbessertes Kopf-Hals-Verhältnis und eine Vergrößerung des Bewegungsumfangs.⁷¹ Durch den Einsatz großer Prothesenköpfe liegt das Größenverhältnis näher am Ausgangszustand des nativen Gelenks und stellt damit eine physiologischere Gelenkgeometrie dar. Die Bedeutung des erhöhten Materialabriebs aufgrund des größeren Prothesenkopfdurchmessers tritt durch die Nutzung von quervernetztem PE in den Hintergrund.^{150,151} Dieser Trend hin zum Einsatz großer Prothesenköpfe als Antiluxationsschutz spiegelte sich auch in dieser Auswertung wider. Die neun Indexoperationen, in denen ein tripolares Prothesendesign gewählt wurde, ausgenommen, fanden sich in der übrigen Kohorte 39 Prothesenköpfe der Größe 36mm und nur zwei der Größe 32mm. Somit lässt sich auch in der vorliegenden Arbeit eine eindeutige Tendenz hin zu großen Prothesenköpfen abbilden. Wie bereits erwähnt liegt ein Vorteil des integrierten Systems in der Möglichkeit, das tripolare Design zementfrei zu etablieren, was zunehmend als Standard in der Luxationsprophylaxe gerade bei komplexen Revisionseingriffen erachtet wird.⁷¹ Im ausgewerteten Patientenkollektiv

wurde hiervon in neun Fällen im Rahmen des Indexeingriffs und in den beiden Revisionseingriffen nach Luxation und Dislokation der initialen MUTARS® RS Cup Gebrauch gemacht. Hiernach ereignete sich nur in einem einzigen Fall eine weitere Luxationskomplikation, wobei der Patient durch anhaltende Compliance-Probleme auffiel und Maßnahmen zur postoperativen Luxationsprophylaxe nicht befolgt wurden. Die übrigen fünf Luxationen betrafen Patienten nach Implantation eines Standard-Inlays.

Ein weiterer relevanter Aspekt liegt in der stabilen Weichteilsituation und vorrangig in einer suffizienten Funktion der Abduktorengruppe begründet.¹⁵² Insbesondere nach Mehrfachrevisionen tritt dieser Faktor in den Vordergrund und lässt sich unter anderem durch die Art des operativen Zugangswegs zum Hüftgelenk erklären. Der an der Universitätsklinik Frankfurt am Main gewählte anterolaterale Zugangsweg nach Watson-Jones ermöglicht neben einer ausreichenden Exposition des Acetabulums eine gute Erweiterbarkeit der Schnittführung besonders nach kaudal, wodurch flexibel auf intraoperative Komplikationen, wie zum Beispiel Femurschaftfrakturen, reagiert werden kann. Ein weiterer entscheidender Vorteil liegt in der weitestgehend erhaltenen Integrität der glutealen Muskelgruppe, da bei diesem Zugangsweg keine Muskeln durchtrennt werden. Somit darf von einem geringeren muskulären Defizit vor allem im Bereich der Hüftgelenkabduktoren ausgegangen werden, was für die postoperative Phase eine zügigere Mobilisation und Rehabilitation erwarten lässt. Im Gegenzug dazu stellen weiteren Untersuchungen zufolge der posterolaterale Zugang einen prädiktiven Risikofaktor für Luxation als Revisionsgrund nach primärer H-TEP dar.¹⁵³

Ein weiterer wichtiger Faktor zur Luxationsvermeidung liegt in der korrekten Positionierung der Revisionspfanne und des Inlays, wobei ein Antetorsionswinkel von mindestens 40° unbedingt beachtet werden sollte. Da sich die Platzierung des Inlays aus der Stellung der MUTARS® RS Cup als integriertes System ergibt und das Inlay nicht wie beim BS-Ring in beliebiger Stellung in die Revisionspfanne einzementiert wird, kommt dem Einschlagen und Verankern der MUTARS® RS Cup bei optimalem Inklinations- und Antetorsionswinkel eine entscheidende Bedeutung zu.

Periprothetische Infektionen

Ein zweizeitiger Wechsel hat sich als Vorgehen zur Sanierung eines periprothetischen Infekts etabliert und stellt an den meisten Kliniken das vorherrschende Verfahren dar.^{63,154} Den Goldstandard bildet nach wie vor ein radikalchirurgisches Debridement

unter Entfernung der Prothesenkomponenten in Kombination mit einer systemischen Antibiotikatherapie, gefolgt von der Re-Implantation des Prothesenmaterials nach einem infektfreien Intervall. Additiv kann eine lokale Antibiotikatherapie erfolgen. Unter den Indikationen, die in dieser Auswertung zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems führten, fanden sich vier Hüftgelenke als Girdlestone-Situation nach sanierten periprothetischen Infekten. Als Infekt verursachende Keime wurden in zwei Fällen ein Staphylokokkus aureus und zweimal ein Enterokokkus faecium nachgewiesen. Bei allen vier Patienten lag eine deutliche Schwächung der Immunabwehr aufgrund verschiedener Grunderkrankungen wie einer schweren rheumatoiden Arthritis unter immunsupprimierender Medikation bzw. ein langjähriger Diabetes mellitus vor. Vor allem bei den genannten Problemkeimen kann nach entsprechender Sensibilitätstestung eine additive Lokalthherapie als intraoperative Vancomycin-Fibrin-Besprühung zur Erhöhung der lokalen Antibiotikakonzentration sinnvoll sein.¹⁵⁵ Dies insbesondere vor dem Hintergrund, dass laut Resistenzstudie der Paul-Ehrlich-Gesellschaft 12% der Enterokokkus faecium-Stämme in Mitteleuropa im Jahr 2016 eine high-level Resistenz gegenüber Gentamicin aufwiesen¹⁵⁶ und daher der übliche Einsatz Gentamicin-getränkter Spacer aus Knochenzement in dieser Fragestellung wenig zielführend erscheint. Gerade bei tiefen Gelenkinfektionen mit Problemkeimen wie in dem ausgewerteten Kollektiv werden in der Literatur dauerhafte Sanierungserfolge mit Raten unter 80% angegeben.¹⁵⁷ Von den fünf tiefen Wundinfektionen, die in der vorliegenden Kohorte beobachtet wurden, ereignete sich einer als Re-Re-Protheseninfekt, drei betrafen Patienten nach mehrfachen revisionsendoprothetischen Eingriffen und nur in einem Fall war ein zuvor natives Gelenk von einer postoperativen Infektion betroffen. Somit bestätigt diese Untersuchung, dass Revisionsarthroplastiken mit einem höheren Infektionsrisiko behaftet sind als Primäreingriffe.⁵⁸

Die Prävalenz der Adipositas, definiert als ein BMI ≥ 30 kg/m², wurde für die deutsche Bevölkerung im Jahr 2017 mit ca. 16% angegeben.¹⁵⁸ Folglich liegt dieses Studienkollektiv mit 18% adipösen Patienten leicht über dem bundesdeutschen Durchschnittswert. Auch ein Zusammenhang mit einer erhöhten Infektionsrate wird häufig ins Feld geführt.¹⁵⁹ Innerhalb der Patientengruppe, die postoperativ von einer periprothetischen Infektion betroffen war, fiel jedoch nur ein Patient mit der Diagnose einer erstgradigen Adipositas (BMI 30,8 kg/m²) auf. Wie bereits erwähnt müssen in der untersuchten Kohorte neben dem Einflussfaktor Adipositas zahlreiche weitere patientenabhängige Risikofaktoren⁵⁸

wie Diabetes mellitus, dialysepflichtige Niereninsuffizienz, Nikotin-, Alkoholabusus und maligne sowie rheumatische Grunderkrankungen berücksichtigt werden. Das steigende Patientenalter und die damit einhergehende Zunahme an Komorbiditäten sowie die zulegende Prävalenz der Adipositas und die steigende Zahl an Revisionseingriffen dürften sich in Zukunft weiter negativ auf die perioperative Infektionsrate auswirken.

Gefäß- und Nervenverletzungen

In dieser Auswertung wurden postoperativ keine Nervenläsionen beobachtet. In einem Fall kam es zu einer arteriellen Nachblutung mit Interventions- und deutlichem Transfusionsbedarf und dreimal musste ein Hämatom bzw. Hämatoserom einer operativen Entlastung zugeführt werden. Trotz aller Sorgfalt in Bezug auf das operative Vorgehen werden Gefäß- und Nervenschäden nie gänzlich vermeidbar sein. Unter Berücksichtigung des Quadrantensystems nach Wasielewski et al. kann jedoch bei der transacetabulären Positionierung der Fixierschrauben im posterosuperioren bzw. posteroinferioren Quadranten das Risiko eben solch einer Gefäß- und Nervenläsion minimiert werden.¹⁶⁰ Angesichts des zunehmenden Patientenalters wird mit einem steigenden Anteil therapeutisch antikoagulierter Patienten zu rechnen sein, was wiederum mit einem erhöhten Risiko für postoperative Blutungskomplikationen assoziiert sein dürfte.

Explantationen des integrierten Systems

Innerhalb des 5-jährigen Auswertungszeitraums wurden fünf der 52 MUTARS® RS Cup-Systeme explantiert, was einer Ausfallrate von 9,6% entspricht.

Hierbei entfielen zwei Revisionsoperationen auf Patienten, die kurz nach dem Indexeingriff eine Luxation des Prothesenkopfs mit sekundärer Dislokation der Revisionspfanne erlitten und diese somit einer aseptisch-mechanischen Ursache zugeordnet wurden. Betroffen waren ein 91-jähriger männlicher Patient mit einer primären Acetabulumfraktur Paprosky-Typ 4 und eine 83-jährige weibliche Patientin mit einer periprothetischen Acetabulumfraktur Paprosky-Typ 3B. Außer, dass beide Patienten bereits präoperativ durch eine hochgradige Defektsituation auffielen, erschwerte in beiden Fällen eine weiche bis sehr weiche Knochentextur die Fixierung der Revisionspfanne, sodass es in einem der beiden Fälle intraoperativ beim Festziehen der Schrauben zum Durchschneiden der kaudalen Sitzbeinlasche kam. Hieraus lassen sich mit der Diskontinuität des Beckens und einer massiven Beeinträchtigung der

Knochenqualität zwei Situationen ableiten, in denen das MUTARS® RS Cup-System an die Grenzen seiner Einsatzmöglichkeiten stößt bzw. weitere Therapiemaßnahmen notwendig werden. Beide Patienten konnten in einer Revisionsoperation jeweils durch Re-Implantation eines neuen MUTARS® RS Cup-Systems mit ergänzender Acetabuloplastik zufriedenstellend behandelt werden.

Drei integrierte Systeme wurden aufgrund septischer Ursachen explantiert. Darunter fand sich ein Re-Re-Protheseninfekt, der jedoch nach Ausbau des Systems, antibiotischer Therapie und einem infektfreien Intervall erneut mit einem MUTARS® RS Cup-System versorgt werden konnte, wodurch das betreffende Gelenk in der Folge ohne weitere Infektionskomplikation blieb. Zwei Gelenke verblieben nach septischem Ausbau des Prothesenmaterials als Girdlestone-Hüften, wovon ein Patient aufgrund der desolaten Gesamtsituation zur Weiterbehandlung in ein Hospiz verlegt wurde.

Internistische Komplikationen

Die Inzidenz nosokomialer Infektionen chirurgischer Patienten auf Normalstation liegt bei 6% und für intensivpflichtige Patienten bei 15-20%.³⁹ Auf den Normalstationen entfallen ungefähr 40% auf Infektionen der Harnwege und 20% auf Pneumonien. Im intensivmedizinischen Setting erhöht sich der Anteil der Pneumonien auf über 50%, da die Komplikation der ventilatorassoziierten Pneumonie deutlich an Bedeutung gewinnt. Tritt eine nosokomiale Infektion auf, verdoppelt sich das Sterberisiko.³⁹ Gerade große Beckenchirurgische Eingriffe mit einer damit verbundenen Notwendigkeit der Immobilisation in Verbindung mit der Anlage eines transurethralen Blasendauerkatheters stellen relevante Risikofaktoren für die Ausbildung einer Pneumonie oder eines katheterassoziierten Harnwegsinfekts dar. Drei Patienten des Studienkollektivs wiesen bereits zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme eine manifeste pulmonale und/oder urogenitale Infektion auf, weshalb diese von dieser Auswertung ausgeschlossen wurden. Im übrigen Kollektiv wurden postoperativ bei 18% der Studienteilnehmer eine Pneumonie und bei 14% eine Harnwegsinfektion diagnostiziert. Retrospektiv war keine weitere Differenzierung zwischen Erwerb der Infektion auf Normalstation bzw. Intensivstation möglich. Eine Korrelation zwischen zunehmendem Infektionsrisiko bei steigendem Patientenalter ist aufgrund einer im Alter schwächer werdenden Infektabwehrlage bekannt. Die sog. Immunseneszenz beschreibt eine Abnahme der zellvermittelten Immunfunktion und eine reduzierte humorale Immunantwort des

geriatrischen Patienten¹⁶¹ und nimmt daher auch in dieser Auswertung Einfluss auf die Beurteilung der perioperativen Morbidität.

Des Weiteren ließen sich drei tiefe Beinvenenthrombosen – in einem Fall in Verbindung mit einer peripheren Lungenarterienembolie – feststellen. Bekanntermaßen gehen ausgedehnte Beckeneingriffe mit einem hohen Risiko für thromboembolische Komplikationen einher.^{130,131} In einem der drei Fälle lag mit einer noch erstgradigen Adipositas (BMI 34,6 kg/m²) ein weiterer relevanter Risikofaktor vor. Die farbkodierte Duplexsonografie der Becken- und Beinvenen, wie sie an der Universitätsklinik Frankfurt am Main vor der ersten Mobilisation durchgeführt wird, bietet einen sinnvollen Ansatz zur frühzeitigen Diagnosestellung und Beginn einer adäquaten Therapie. Einen Einfluss auf die Thromboseentstehung nimmt sie jedoch nicht, weshalb das Spektrum der prophylaktischen Maßnahmen, wozu vor allem eine frühe Mobilisation gehört, die wiederum entscheidend durch eine suffiziente Primärstabilität des Implantats bedingt wird, voll ausgeschöpft werden sollte.

5.4 Perioperative Einflussfaktoren

Eine Zunahme der Anämie-Prävalenz im Alter ist bekannt, wobei die Ursachen hierfür vielfältig sind. Neben einem Eisenmangel spielen chronische Erkrankungen wie Nierenerkrankungen und Entzündungen die größte Rolle.¹⁶² Zwei von drei Patienten wiesen zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme bereits eine Anämie auf, was bei diesem geriatrisch-multimorbiden Studienkollektiv wenig überraschte. Des Weiteren gehen Acetabulumverletzungen, insbesondere bei therapeutisch antikoagulierten Patienten, mit einem nicht unerheblichen Risiko für Einblutungen in die umliegenden Weichteile einher.³⁸ So lässt sich aus dem Hb-Wert bei Krankenhausaufnahme und dem präoperativ zuletzt gemessenen Wert für die gesamte Population ein mittlerer Hb-Verlust von 1,4g/dl bis zur Operation errechnen. Zudem benötigten 18% der Patienten bereits in Vorbereitung auf die Operation eine Fremdblutgabe, was ebenfalls die hohe Anämie-Prävalenz innerhalb der Kohorte sowie das Blutungsrisiko der Acetabulumverletzung belegt.

Die Beurteilung des intraoperativen Blutverlusts war mit einigen Fehlerquellen behaftet. So fehlte diese Angabe in 17% der Fälle vollständig und bei den übrigen Operationen war retrospektiv keine differenzierte Bilanzierung möglich bzw. blieb z.B. der etwaige Anteil von Spülflüssigkeiten am dokumentierten Gesamtblutverlust unklar. Zudem wurden in

diese Studie sowohl primäre Versorgungen einer Acetabulumverletzung als auch Prothesenwechseloperationen eingeschlossen, was zu einer gewissen Unschärfe dieser Analyse führte. Zur besseren Vergleichbarkeit der Werte erfolgte daher eine differenzierte Betrachtung hinsichtlich des operativen Vorgehens. So wiesen Patienten, die sich einer Wechseloperation von Prothesenpfanne und -schaft unterzogen mit durchschnittlich 2358 (1150-3500) ml einen deutlich höheren intraoperativen Blutverlust auf, als alleinige Pfannenwechsel mit einem mittleren Blutverlust von 1249 (650-2400) ml oder MUTARS® RS Cup-Neuimplantationen inklusive Prothesenschaft zur primären Versorgung der Acetabulumverletzung, die bei durchschnittlich 1056 (100-3500) ml rangierten. Des Weiteren zeichnete sich in der Gruppe der adipösen Patienten im Mittel mit 1893 (700-3500) ml tendenziell ein höherer intraoperativer Blutverlust ab als für die normalgewichtige Vergleichsgruppe, die einen mittleren Blutverlust von 1255 (100-3500) ml aufwies. Auch wenn die Bewertung dieser Ergebnisse mit weiteren Einflussgrößen behaftet ist, ließ sich aus den vorliegenden Daten jeweils eine Tendenz erkennen. Außerdem erfolgte eine weitere Unterteilung des Gesamtkollektivs gemäß der intraoperativen Anwendung einer maschinellen Autotransfusion. So zeigte sich, dass die Gruppe von 22 Patienten, die eine MAT erhielten, sowohl intraoperativ mit durchschnittlich 0,8 (0-4) als auch postoperativ mit 2,7 (0-8) EK-Einheiten einen niedrigeren Bedarf an Fremdbluttransfusionen aufwiesen als die Gruppe ohne MAT, deren Bedarf intraoperativ bei 1,0 (0-6) respektive postoperativ bei 3,1 (0-30) EK-Einheiten lag. Somit liefert diese Auswertung einen weiteren Hinweis darauf, dass die perioperative Anwendung einer maschinellen Autotransfusion bei geeigneter Indikationsstellung einen positiven Einfluss auf das Transfusionsregime nehmen kann, wodurch Fremdblutgaben und damit assoziierte Nebenwirkungen wie Immunmodulation sowie ein erhöhtes Risiko für nosokomiale Infektionen reduziert werden können.¹³³

Sowohl die Tatsache, dass ein intraoperativ aufgetretener hämorrhagischer Schock in zwei Fällen die Nachbeatmung und Stabilisierung auf der Intensivstation notwendig machte, als auch der vielfache Einsatz diverser gerinnungssupplementierender Produkte bei initial überwiegend blander laborchemischer Gerinnungssituation sind weitere Anzeichen dafür, dass die operative Versorgung der ausgedehnten Acetabulumdefekte mit einem nicht unerheblichen Blutverlust sowie hohen Volumenumsatz einhergeht.

Gerade die intraoperative Blutungssituation und der damit assoziierte Hb-Verlauf stellen ein höchst dynamisches Geschehen dar, das trotz aller Weitsicht und Erfahrung des

narkoseführenden Anästhesisten mit Fehleinschätzungen bezüglich des Transfusionszeitpunkts und der Art und Menge des Transfusionsbedarfs behaftet sein kann. Einem individuellen patientenorientierten Vorgehen gemäß den Ressourcen zur Kompensation einer anämischen Hypoxie sowie einer eng abgestimmten interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Anästhesisten, Chirurgen und Intensivmedizinern kommt dabei die oberste Priorität zu.

5.5 Studien zum Burch-Schneiderring

Es existieren zahlreiche Publikationen zum Konzept des BS-Rings und seinem Einsatz in der chirurgischen Therapie acetabulärer Defektsituationen. Im Folgenden werden einige Studienergebnisse skizziert.

Die ersten Langzeitergebnisse nach Implantation des BS-Rings wurden von Berry und Müller bereits im Jahr 1992 publiziert. Dabei bezieht sich ihre Studie ausschließlich auf Revisionseingriffe nach fehlgeschlagener Hüftendoprothetik und bildet damit eine Risikogruppe im Hinblick auf postoperative Komplikationen ab. Die Autoren benennen für eine Fallzahl von 42 implantierten BS-Ringen und einem mittleren Follow-up von fünf Jahren jeweils eine Rate von 12% für die Komplikation des septischen bzw. aseptischen Versagens der Revisionsschale.¹⁶³

Perka et al. fanden in ihrer Untersuchung 2001 bei einer Fallzahl von 62 Patienten und einem Nachbeobachtungszeitraum von 5,45 Jahren für die Komplikation der aseptischen Lockerung eine Rate von knapp 5% sowie für die septische Lockerung von ca. 3%.¹⁰³ Außerdem verdeutlicht diese Studie nochmals die immense Bedeutung einer intakten hinteren Säule für eine stabile und somit langfristig erfolgreiche Implantation des BS-Rings. Defekte der hinteren Säule bzw. kraniale Defekte des Acetabulumdachs waren mit einer signifikant höheren Rate aseptischer Lockerungen bzw. mit einer erhöhten Migrationsrate der Revisionspfanne assoziiert.¹⁰³

Die Arbeit von Auersperg et al. aus dem Jahr 2003 berichtet von 90 implantierten BS-Ringen, wobei nur 61 Patienten mit einem durchschnittlichen Follow-up von 4,2 Jahren nachuntersucht werden konnten. Hierbei berichten sie von einer Revisionsrate um 5% und einer Lockerungsrate aufgrund aseptischer oder septischer Einflüsse von 15%.¹⁶⁴

Gallo et al. untersuchten in ihrer 2006 veröffentlichten Studie 69 Implantationen des BS-Rings an 68 Patienten mit ausschließlich ausgedehnten Acetabulumdefekten der Paprosky-Schweregrade Typ 3A und 3B. Bei einem mittleren Follow-up von 8,3 Jahren wurden 8,7% der Implantate aufgrund einer aseptischen Lockerung entfernt.¹⁰² Des Weiteren mussten 7,2% der Implantate aufgrund einer septischen Lockerung und 2,9% bei wiederkehrender Instabilität revidiert werden. Das mittlere Patientenalter dieser Auswertung unterscheidet sich mit 67,9 Jahren jedoch deutlich von dem Altersdurchschnitt des in dieser Arbeit untersuchten Studienkollektivs.

Eine aktuelle Auswertung der Kollegen Hsu et al. aus dem Jahr 2015 präsentiert Ergebnisse nach Implantation des BS-Rings in Kombination mit strukturellen Allotransplantaten. Sie schlossen in ihre Studie ebenfalls nur fehlgeschlagene H-TEP mit hochgradigen acetabulären Substanzdefekten ein. Bei 31 Hüften mit einem mittleren Nachbeobachtungszeitraum von 5,5 Jahren fanden sie eine Ausfallrate des BS-Rings von 22,6%.¹⁶⁵

Diese Studien variieren zuweilen stark bezüglich Fallzahl, Nachbeobachtungszeitraum und Einschlusskriterien wie Schweregrad und Genese des Acetabulumdefekts. Des Weiteren bestehen mitunter große Diskrepanzen in puncto Altersstruktur der Studienpopulation und damit einhergehende Risikofaktoren, die wie bereits oben erläutert deutlichen Einfluss auf die unterschiedlichen Komplikationsraten nehmen. Aufgrund dieser differierenden Beurteilungskriterien gelingt ein Vergleich der einzelnen Studien sowie eine direkte Gegenüberstellung der in dieser Arbeit präsentierten Ergebnisse nur bedingt. Zusammengefasst werden in der Literatur für einen mittelfristigen Nachverfolgungszeitraum Ausfallraten des BS-Rings von 10-34% berichtet.^{102,163,165} Dass die Ergebnisse der einzelnen Studien teils stark voneinander abweichen und die publizierten Komplikationsraten der aktuelleren Arbeiten eher zunehmen, dürfte neben der Heterogenität des Patientenguts wahrscheinlich an dem älter und damit multimorbider werdenden Patientenkontext liegen, welches sich einer solch umfangreichen Prozedur unterzieht. Auch hier darf einmal mehr auf die Osteoporose verwiesen werden, die von der Defektschwere über eine verminderte Primärstabilität des Implantats bis hin zu einer verzögerten Osteointegration zahlreiche Aspekte negativ beeinflusst.¹⁴³

In der vorliegenden Arbeit errechnet sich aus der Explantationsquote des MUTARS® RS Cup-Systems von 9,6% eine Überlebensrate des integrierten Systems bis zum Ende des

Auswertungszeitraums von 90,4%. Zusammen mit den genannten Komplikationsraten von 12% Luxationen sowie 10% tiefer Wundinfektionen liegen die Ergebnisse dieser Untersuchung im Bereich der oben aufgeführten Studien.

5.6 Vorteile und geeignete Indikationen

Die MUTARS® RS Cup ist ein gut konzipiertes System, das auch bei schwerwiegenden Acetabulumdefekten in den meisten Fällen eine sichere Rekonstruktion ermöglicht. Vorzugsweise höhergradige Substanzverluste der Paprosky-Schweregrade Typ 3A bzw. 3B, wie sie zu 80% in dem Patientenkollektiv dieser Arbeit vorlagen, können gemäß unseren Erfahrungen durch die Anwendung dieser Revisionspfanne mit überzeugendem Ergebnis behandelt werden.

Pfannenwechseloperationen, wie sie nach aseptischen Lockerungen, periprothetischen Infektionen oder periprothetischen Acetabulumfrakturen notwendig werden, können ebenso geeignete Indikationen wie die Defektüberbrückung nach osteolytischen Knochenmetastasen oder komplexen alterstraumatologischen Acetabulumfrakturen sein.

Obwohl in diesem Studienkollektiv eine ausgeprägte Heterogenität hinsichtlich der Körpergröße mit einer Spannweite von 1,38 bis 1,90 Metern vorlag, konnten alle Patienten mit einer geeigneten Pfannengröße versorgt und diese zufriedenstellend im Bereich des Acetabulums verankert werden. Dies verdeutlicht den erfolgreichen Einsatz des MUTARS® RS Cup-Systems auch in schwierigen anatomischen Grenzsituationen, wie sie z.B. bei minderwüchsigen Patienten sonst häufig den Einsatz individuell angefertigter Spezialprothesen erforderlich machen.

Die Modularität des Systems erlaubt auf der femoralen Seite vielseitige Kombinationsmöglichkeiten mit den Standardprothesen- und Revisionschäften der unterschiedlichen Hersteller. Zudem können die Schäfte mit Keramik- oder Metallköpfen besetzt und mit allen gängigen Halslängen ggf. in Ergänzung einer zusätzlichen Halsverlängerung erweitert werden. Weiterhin gibt es verschiedene PE-Inlays und die Option, ein tripolares Pfannensystem zu etablieren. Die Vielzahl an verfügbaren Prothesenkomponenten macht das MUTARS® RS Cup-System daher zu einem geschätzten Instrument in der Therapie anspruchsvoller Revisionsarthroplastiken.

In einem Fall fiel die Entscheidung zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems erst intraoperativ, da sich der ventrale Anteil des Acetabulums beim Fräsen der Pfanne als instabil erwies und daher keine Standardprothesenpfanne etabliert werden konnte. Dies ist ein gutes Beispiel dafür, dass das MUTARS® RS Cup-System auch in unvorhergesehenen Situationen zur adäquaten Lösung intraoperativ aufgetretener Probleme herangezogen werden kann, sofern der Operateur ausreichend mit der Handhabung dieses Systems vertraut ist.

Durch die drei Re-Implantationen des MUTARS® RS Cup-Systems konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden, was den Stellenwert des integrierten Systems gerade bei technisch sehr anspruchsvollen Rezidivarthroplastiken, auch nach vorausgegangener Infektsituation des Gelenks, verdeutlicht.

5.7 Kontraindikationen und Anwendungsbeschränkungen

Es gibt jedoch Situationen, die den Einsatz des integrierten Systems beschränken und einige Kontraindikationen, die berücksichtigt werden müssen.

Insbesondere spezielle anatomische Besonderheiten können eine Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems unmöglich machen. Ebenso stellt eine instabile Beckenringfraktur unter Beteiligung des Acetabulums eine eindeutige Limitation dar, sofern nicht zusätzlich eine Stabilisierung des Beckenrings erfolgt, um ausreichende Fixierungsverhältnisse für die Revisionspfanne zu schaffen.

Neuromuskuläre Erkrankungen bzw. eine chronisch muskuläre Insuffizienz der betroffenen Extremität können trotz technischer Verbesserungen des Systems hinsichtlich der Möglichkeit zur Anwendung einer tripolaren Pfannenvariante nicht die fehlende muskuläre Stabilität kompensieren.

Auch eine unzureichende Quantität und Qualität des restlichen Knochenstocks aufgrund einer Osteoporose oder Osteomalazie kann eine sichere Implantatfixierung scheitern lassen. In einzelnen Fällen kann eine zusätzliche Zementfixierung der Schraubenköpfe bzw. eine Verbundosteosynthese zu einer verbesserten Primärstabilität führen, aber auch hier sind die Möglichkeiten begrenzt, wenn sich die Knochentextur als zu porös und wenig tragfähig erweist. Ein Durchschneiden der kaudalen Lasche im Sinne einer (Teil-)Perforation im Bereich des Ramus ossis ischii kann ein relevanter Faktor sein, der zum

Misslingen der Operation beiträgt. Sobald der Halt des Implantats nicht ausreichend gegeben oder die Implantation einer ausreichend großen Prothese nicht möglich ist, sollte das integrierte System nicht angewendet werden. Da die MUTARS® RS Cup von ihrem Aufbau bis auf einige technische Weiterentwicklungen stark dem BS-Ring ähnelt, muss in diesen Fällen auf eine andere Implantatgruppe und eine alternative Versorgungsstrategie zurückgegriffen werden.

Darüber hinaus müssen diagnostizierte Gefäßkrankungen der betroffenen Extremität sowie Stoffwechselstörungen, die eine zuverlässige Implantateinheilung beeinträchtigen, berücksichtigt werden. Ebenso können große Knochentumore im Bereich der Implantatfixierung eine Kontraindikation sein.

5.8 Limitationen dieser Arbeit

Paprosky-Klassifikation

Als Beurteilungsgrundlage dient eine a.p.-Röntgenaufnahme des Beckens. In der Originalarbeit von Paprosky et al. beschreibt dieser eine Übereinstimmung der präoperativ erhobenen Klassifikation und des tatsächlichen Befunds, der zum Zeitpunkt der Operation gefunden wurde, für Typ 1 von 100%, für Typ 2 von 89% und Typ 3 für 95%.^{89,90} Dem gegenüber steht unter anderem die Auswertung von Jaenisch et al., die eine Korrelation zwischen präoperativ erhobenem Paprosky-Schweregrad und intraoperativ vorliegendem Substanzdefekt des Acetabulums in 74,1% aller revisionsendoprothetischen Eingriffe fanden.¹⁶⁶ Ihre Limitation hat die Klassifikation unter anderem darin, dass die komplexe dreidimensionale Architektur des Acetabulums nur unzureichend in einer a.p.-Standardprojektion abgebildet und beurteilt werden kann. Zudem enthält sie subjektive und damit vom Befunder abhängige Beurteilungskomponenten wie z.B. das Ausmaß des Knochenverlusts.⁹⁰ Außerdem können einliegende Endoprothesen durch Überlagerungsartefakte insbesondere die Beurteilung des hinteren Acetabulumrandes erschweren, was ebenfalls zur fehlerhaften Einordnung des Schweregrads führen kann.¹⁶⁷ Gemäß unseren Erfahrungen werden Acetabulumdefekte anhand der präoperativen Bilder eher unterschätzt und stellen sich intraoperativ meist größer dar. Außer den bereits genannten Gründen entstehen einige Substanzverluste erst durch das Ausschlagen der alten Prothesenpfanne bzw. durch das Entfernen des alten Zementmantels, sodass diese Aspekte nicht in die präoperative

Beurteilung einfließen. Ein zusätzlicher relevanter Faktor für die sichere Fixierung der Revisionspfanne wird durch die Qualität des Wirtsknochens bestimmt, die sich ebenfalls erst intraoperativ beurteilen lässt. Insofern darf die präoperative Erhebung der Paprosky-Klassifikation lediglich als ergänzendes strategisches Instrument betrachtet werden. Darüber hinaus sollten für Pfannenrevisionsoperationen stets ein umfassendes Implantatsortiment sowie die Möglichkeit zur Verwendung allogenen Knochenmaterials vorgehalten werden, um intraoperativ auf unerwartete Ereignisse adäquat reagieren zu können.⁹⁶

Material und Methoden

Retrospektive Analysen sehen sich immer mit der Problematik unvollständiger Datensätze konfrontiert. Über alle erhobenen Parameter hinweg fanden wir in dieser Auswertung eine Rate fehlender Werte von 4,2%.

Da alle in dem 5-Jahresintervall mit dem MUTARS® RS Cup-System operierten Patienten in die Studie eingeschlossen wurden, liegt dieser Arbeit ein sehr heterogenes Patientengut zugrunde, was einen interindividuellen Vergleich der Ergebnisse aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren fast unmöglich macht. Das Vorhaben, die Studienkohorte in Untergruppen zusammenzufassen, erwies sich bei einer Gesamtzahl von 49 Patienten mit stark differierenden Ausgangssituationen hinsichtlich Alter, Begleiterkrankungen und Ursache sowie Schweregrad der Defektsituation als schwierig, sodass dieser Gedanke als nicht zielführend erachtet und daher verworfen wurde.

Ein weiterer Kritikpunkt liegt in dem unterschiedlich langen postoperativen Nachbeobachtungszeitraum. Für die zuerst in die Studie eingeschlossenen Patienten können wir eine Zeitspanne von mehr als fünf Jahren überblicken, wohingegen die operative Versorgung der zuletzt eingeschlossenen Patienten erst wenige Monate zurückliegt. Aus diesem Grund können in dieser Arbeit ausschließlich kurz- bis mittelfristige Ergebnisse präsentiert werden und es wurde explizit auf die Angabe eines mittleren Follow-ups verzichtet, da dies die Beurteilung stark verzerren würde. Daher legt die vorliegende Arbeit ihren Fokus auf die intraoperative Handhabung des Revisionsystems und beschreibt Indikationen sowie Limitationen, die den Einsatz gemäß unseren Erfahrungen relevant beeinflussen.

Zukünftige Studien sollten für einen langfristigen Zeitraum Komplikationen sowie das funktionelle Outcome und Aspekte der subjektiven Langzeitzufriedenheit abbilden.

Gerade eine mit dem BS-Ring assoziierte Komplikation, wie das Ausbrechen der Zementfixierung des PE-Inlays aus der Revisionspfanne, wird wohl erst im Rahmen dieser langfristigen Nachbeobachtungsstudien einen weiteren Vorteil des MUTARS® RS Cup-Systems aufzeigen.

6 Fazit

Mit einer stetig steigenden Anzahl an Erstimplantationen einer H-TEP und einer damit zwangsläufig zunehmenden Häufigkeit an Prothesenwechseloperationen ist der Bedarf an Systemen zur operativen Behandlung schwerwiegender kavitärer und segmentaler Acetabulumdefekte aktuell und auch in Zukunft von großer Relevanz.⁷⁻⁹ Trotz aller technischer Weiterentwicklungen hinsichtlich neuer Implantate und verbesserter Operationstechniken stellt die Therapie ausgedehnter (peri-) acetabulärer Defektsituationen die Unfallchirurgie weiterhin vor eine schwierige Aufgabe. Unabhängig des Pathomechanismus, der der Acetabulumläsion zugrunde liegt, gelten eine suffiziente Überbrückung des Knochendefekts und die sichere Verankerung des Revisionsimplantats am verbliebenen Knochenstock als Schlüsselfaktoren einer gelungenen chirurgischen Intervention.⁹⁶ Die Wiederherstellung einer stabilen Gelenksituation und ein anatomisch korrekt positioniertes Rotationszentrum bilden dabei die Grundlagen für ein zufriedenstellendes funktionelles Outcome.^{118,122,123} Die Erfüllung dieser Forderungen wird jedoch durch verschiedene Faktoren erschwert. Zum einen verursachen Revisionsarthroplastiken durch das Entfernen gelockerter oder ausgebrochener Prothesenpfannen mitunter großflächige Knochensubstanzverluste und zum anderen lässt eine osteoporotisch verminderte Knochenqualität eines immer älter werdenden Patientenguts die solide Fixierung des Revisionsimplantats zu einer Herausforderung werden. In dieser Fragestellung haben sich Abstützschalen mit seitlichen Laschen wie der BS-Ring im klinischen Alltag über viele Jahrzehnte ohne wesentliche Veränderung als praktikable Möglichkeit zur Rekonstruktion höhergradiger Acetabulumsubstanzdefekte erwiesen. Studien zu Komplikationsraten zeigen voneinander abweichend mäßig bis gute Ergebnisse sowie Ausfallraten des BS-Rings im mittel- bis langfristigen Nachbeobachtungszeitraum von 10-34%.^{102,103,163,165} Es sind jedoch auch Einschränkungen mit seinem Einsatz verbunden – diese Schwachstellen wurden bei der innovativen Weiterentwicklung des integrierten MUTARS® RS Cup-Systems aufgegriffen und verbessert.

Die MUTARS® RS Cup ist ein Pfannenrevisionssystem mit einem integrierten Inlay, das – ähnlich wie bei einer Standardhüftprothese – in die Revisionspfanne eingeklickt wird. Dieses integrierte System zeichnet sich durch seine Modularität und die damit eingehenden vielseitigen Kombinationsmöglichkeiten aus, weshalb es sich hervorragend für den Einsatz technisch anspruchsvoller Revisionsarthroplastiken des

Hüftgelenks eignet. Wie bereits von anderen Revisionssystemen bekannt besteht auch bei der MUTARS® RS Cup die Möglichkeit, das acetabuläre Pfannenlager bei großen Substanzdefekten oder brüchiger Knochentextur mit Hilfe autologer oder allogener Knochentransplantate zu augmentieren. Hierdurch lässt sich der Knochenkontakt der Revisionspfanne verbessern, was im Zusammenspiel mit der hoch-porösen Oberflächenstruktur der dem Knochen zugewandten Pfannenanteile für eine zügige Osteointegration sorgt. Dies wiederum gewährleistet eine gute Sekundärstabilität und stellt die Basis für eine langlebige mechanische Belastbarkeit des Revisionsimplantats dar. Durch eine Auswahl an verschiedenen Inlay-Optionen mit oder ohne Offset kann das Drehzentrum des Hüftgelenks optimal positioniert werden. Auf der femoralen Seite ist eine Kombination mit den Standardprothesen- sowie Revisionsschäften unterschiedlicher Hersteller möglich. Des Weiteren stehen verschiedene Prothesenkopfgrößen zur Verfügung und das Pfannensystem kann darüber hinaus durch die Verankerung einer tripolaren Variante problemlos und ebenfalls zementfrei erweitert werden – ein Konzept, das sich als beste Option für wiederholte Luxationen nach instabiler Hüftendoprothetik etabliert hat.⁷¹ Dies stellt eine bedeutende Neuerung gegenüber der Technik des BS-Rings dar, bei dem das Inlay in die Revisionspfanne einzementiert werden muss. Durch Veränderungen der Materialeigenschaften des Zements kann die Inlayfixierung im Lauf der Zeit brüchig werden und in der Folge ausbrechen.

Obwohl die Markteinführung des integrierten Systems bereits 2012 erfolgte, existieren hierzu sehr wenige Veröffentlichungen. An der Universitätsklinik Frankfurt am Main findet das MUTARS® RS Cup-System seither regelmäßig Anwendung und liefert damit einen wertvollen Beitrag zur erfolgreichen operativen Versorgung ausgedehnter Acetabulumdefekte. Wie in der vorliegenden Studie abgebildet handelt es sich oftmals um ein geriatrisch-multimorbides und vielfach voroperiertes Patientengut und den Defektsituationen liegen mannigfaltige Ursachen zugrunde. Trotz dieser schwierigen Voraussetzungen konnten wir das integrierte System bei geeigneter Indikationsstellung innerhalb des untersuchten Patientenkollektivs sicher und zuverlässig anwenden. Bei einer Gesamtzahl von 52 MUTARS® RS Cup-Implantationen wurden verschiedene Komplikationen beobachtet – darunter fand sich eine arterielle Nachblutung, fünf tiefe Wundinfektionen und sechs Luxationen des Prothesenkopfs, die in zwei Fällen mit einer sekundären Dislokation der Revisionspfanne einhergingen. Innerhalb des 5-jährigen Auswertungszeitraums wurden insgesamt fünf der 52 MUTARS® RS Cup-Systeme

explantiert, wodurch sich eine Ausfallquote von 9,6% ergibt. Die Studienliteratur liefert für alternative Revisionsverfahren wie den BS-Ring vergleichbare Daten hinsichtlich der genannten Komplikationen – insbesondere vor dem Hintergrund, dass es sich bei den Patienten, die in dieser Studie von einer relevanten Komplikation betroffen waren, in 67% der Fälle um eine Revisionsarthroplastik des betroffenen Hüftgelenks handelte. Wie bereits durch zahlreiche Studien umfangreich analysiert sind Revisionseingriffe stets mit höheren Komplikationsraten assoziiert.^{13,14,42,58}

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass es sich bei der Acetabulumchirurgie und insbesondere bei Revisionsarthroplastiken nach endoprothetischer Versorgung des Hüftgelenks um komplexe und anspruchsvolle Operationen handelt, die mit einem hohen Risiko für perioperative chirurgische sowie internistische Komplikationen behaftet sind. Aufgrund der alternden Bevölkerung ist hiervon zunehmend ein geriatrisch-multimorbides Patientenklientel betroffen, welches für sich genommen bereits ein deutlich erhöhtes perioperatives Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko trägt. Sowohl der hohe Schweregrad der Defektsituation als auch die beträchtliche Krankheitslast innerhalb des untersuchten Studienkollektivs konnten anhand der vorgestellten Daten hinreichend dargelegt werden. Trotz der herausfordernden Faktenlage bleibt diese Operation oftmals die einzige Möglichkeit zur Wiederherstellung einer belastbaren Gelenksituation und stellt daher eine alternativlose Behandlungsstrategie dar, um dem Patienten weiterhin eine aktive Teilhabe am Alltagsleben zu ermöglichen. Unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit präsentierten Ergebnisse konnten wir zeigen, dass dem operativ tätigen Kollegen mit dem integrierten Revisionssystem der Firma implantcast GmbH bei vergleichbar guten klinischen Ergebnissen im kurz- bis mittelfristigen Nachbeobachtungszeitraum eine sichere und zuverlässige zementfreie Therapiealternative in der Behandlung schwerwiegender Defektsituationen des Acetabulums zur Verfügung steht, bei denen bisher ein BS-Ring mit zementiertem Inlay Anwendung fand. Zukünftige Studien müssen nun für ein langfristiges Nachuntersuchungsintervall belastbare Daten hinsichtlich Langzeitkomplikationen liefern und wichtige Aspekte der Patientenzufriedenheit in Bezug auf eine dauerhafte Schmerzfreiheit, die Rückkehr zur Belastung sowie eine dadurch verbesserte Lebensqualität bewerten. Trotz aller gewinnbringender Fortschritte der letzten Jahre bleibt die Acetabulumchirurgie eine der großen Herausforderungen der Unfallchirurgie und sollte daher stets an einem Zentrum mit entsprechender Expertise durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung

7.1 Zusammenfassung in deutscher Sprache

Einleitung

Das MUTARS® RS Cup-System der Firma implantcast GmbH (Buxtehude, Deutschland) ergänzt seit 2012 die Implantatgruppe der Abstützschalen mit seitlichen Laschen, die der operativen Versorgung ausgedehnter Acetabulumdefekte dienen. Diese technisch weiterentwickelte Revisionspfanne wird mittels Press-Fit Methode in das Acetabulum eingebracht und im Anschluss mit dem passenden Inlay zementfrei als integriertes System gekoppelt. Somit steht dieses innovative Konzept in Konkurrenz zu dem seit vielen Jahrzehnten angewandten BS-Ring, bei dem das Inlay in die Revisionspfanne einzementiert werden muss. Da Alterungsprozesse die Materialeigenschaften des Zements verändern, kann diese Fixierung im Lauf der Zeit brüchig werden. Lockerungen des Inlays bis hin zum Ausbrechen der Zementfixierung aus der Revisionspfanne sind die komplikationsträchtige Konsequenz. Durch Verwendung der MUTARS® RS Cup als integriertes System lassen sich diese Schnittstelle und die damit verbundenen Nachteile vermeiden. Neben der Möglichkeit, einen Standard-Prothesenkopf zu implantieren, kann das System für luxationsgefährdete Patienten problemlos und ebenfalls zementfrei auf ein tripolares Prothesendesign erweitert werden. Diese Arbeit beschreibt den Einsatz des MUTARS® RS Cup-Systems sowohl in der primären Acetabulumchirurgie als auch im Rahmen aufwendiger Revisionseingriffe nach endoprothetischen Hüftgelenkoperationen und zeigt geeignete Indikationen sowie Anwendungsbeschränkungen auf. Aspekte der präoperativen Planung und der intraoperativen Handhabung des Systems werden ebenso abgebildet wie Komplikationen, die sich im kurz- bis mittelfristigen postoperativen Intervall ergaben.

Material und Methode

In diese retrospektive Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die im Zeitraum von März 2016 bis März 2021 eine Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems am Universitätsklinik Frankfurt am Main erhielten.

Ergebnisse

Es wurden 52 Implantationen bei 49 Patienten durchgeführt, wobei sich das Studienkollektiv aus 28 Männern und 21 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 76,1 (Spannweite 36,9-94,4) Jahren zusammensetzt. Elf unterschiedliche Ursachen lagen den Acetabulumdefekten zugrunde. Wir implantierten das integrierte System erfolgreich sowohl bei Indikationen, die eine Wechseloperation der Prothesenpfanne notwendig machten, als auch bei Patienten mit schwerwiegenden primären Acetabulumfrakturen sowie instabilen Defekten anderer Genese. In mehr als der Hälfte der Fälle handelte es sich bei dem Indexeingriff um eine Revisionsarthroplastik des betreffenden Hüftgelenks und 80% der Patienten wiesen einen ausgedehnten Substanzdefekt auf (Paprosky-Typ 3A oder höher). Eine arterielle Nachblutung, fünf tiefe Wundinfektionen (10%) sowie sechs Luxationen des Prothesenkopfs (12%) – wobei diese in zwei Fällen mit einer sekundären Dislokation der Revisionspfanne einherging – führten zu Folgeinterventionen. Innerhalb des 5-jährigen Auswertungszeitraums wurden fünf der 52 MUTARS® RS Cup-Systeme explantiert (drei aufgrund septischer und zwei bei aseptisch-mechanischer Ursache), was einer Ausfallrate von 9,6% entspricht.

Schlussfolgerung

Eine älter werdende Gesellschaft und die steigende Zahl an Erstimplantationen einer H-TEP verdeutlichen die Forderung nach innovativen Systemen, wie sie gerade bei chirurgisch komplexen Revisionsarthroplastiken dringend benötigt werden. Entsprechend den Erfahrungen unserer Universitätsklinik und basierend auf den Ergebnissen dieser Studie liefert das MUTARS® RS Cup-System einen wertvollen Beitrag in dieser Fragestellung. Bei korrekter Indikationsstellung lässt sich eine gute Primärstabilität des Systems erzielen, weshalb es aus unserer Sicht ein sicheres Revisionssystem zur Wiederherstellung einer stabilen Gelenksituation bei schwerwiegenden Acetabulumverletzungen darstellt. Das technisch überarbeitete System überzeugt zudem durch seine zuverlässige intraoperative Handhabung und seine hervorragende Modularität, wobei die zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Prothesenkomponenten eine vielseitige Anwendung gewährleisten.

7.2 Zusammenfassung in englischer Sprache

Introduction

Since 2012, the MUTARS® RS cup system introduced by implantcast GmbH (Buxtehude, Germany) has enhanced the group of implant revision cups with lateral flaps, which are used for the surgical treatment of extensive acetabular defects. This technically advanced revision cup system is intended to be inserted into the acetabulum using the press-fit method and subsequently coupled with the matching inlay without cement as an integrated system. It competes as innovative concept with the Burch-Schneider anti-protrusio cage, which has been used for many decades and requires the inlay to be cemented into the revision cup. Post operative aging processes may change the material properties of the cement, and the fixation can become brittle over time. Loosening of the inlay or even a break-out of the cement fixation from the revision cup are the consequences that can lead to serious complications. Application of the MUTARS® RS cup as an integrated system, this interface and the associated disadvantages can be avoided. In addition to the possibility of implanting a standard prosthesis head, the system can be easily extended to a tripolar design for patients at risk of luxation, also without the need for fixation with cement. This study describes the use of the MUTARS® RS cup system in primary acetabular surgery as well as in the context of complex revision procedures after hip replacements and shows suitable indications as well as limitations of use. Aspects of preoperative planning and intraoperative handling of the system are illustrated, as are complications encountered in the short- to medium-term postoperative interval.

Materials and methods

All patients who underwent implantation of the MUTARS® RS cup system between March 2016 and March 2021 at the University Hospital Frankfurt am Main were included in this retrospective study.

Results

52 operations were performed in 49 patients, with the study population consisting of 28 men and 21 women with an average age of 76.1 (range 36.9-94.4) years. Eleven different causes underlay the acetabular defects in our cohort. We successfully implanted the loosening, periprosthetic acetabular fracture, and periprosthetic infection) as well as in

patients with large primary acetabular fractures and unstable defects of other etiologies. In more than half of the cases, the procedure was a revision arthroplasty of the hip joint, and 80% of the patients had large defects of the acetabulum (Paprosky classification 3A or higher). An arterial rebleeding, five deep wound infections (10%), and six dislocations of the prosthetic head (12%) – associated with secondary dislocation of the revision cup in two cases – led to necessity for revision. Within the 5-year evaluation period, five of the MUTARS® RS cup systems were explanted (three due to septic and two to aseptic-mechanical causes), which is equivalent to a failure rate of 9.6%.

Conclusion

An aging population and derived increasing number of hip replacements illustrate the demand for innovative systems as they are urgently needed especially for surgically complex revision arthroplasties. According to the experience of our university hospital and based on the results of this study, the MUTARS® RS cup system can provide a valuable contribution to this issue. Based on correct indication, a good primary stability can be achieved and therefore, from our point of view, it represents a safe valuable revision system for restoring a stable joint situation in severe acetabular injuries. The technically evolved system is also convincing due to its reliable intraoperative handling and its excellent modularity, with the numerous possible combinations of the individual components ensuring versatile application.

8 Literaturverzeichnis

1. Statistisches Bundesamt. Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Hauptvarianten 1-9.
2. Nehrer S, Neubauer M. Möglichkeiten und Grenzen der konservativen Therapie der Arthrose : Sportberatung, Trainingstherapie, Orthesen und Knorpeltherapeutika. *Orthopade*. 2021;50(5):346-355. doi:10.1007/s00132-021-04100-0.
3. Sacitharan PK, Vincent TL. Cellular ageing mechanisms in osteoarthritis. *Mamm Genome*. 2016;27(7-8):421-429. doi:10.1007/s00335-016-9641-z.
4. Vingård E. Overweight predisposes to coxarthrosis. Body-mass index studied in 239 males with hip arthroplasty. *Acta Orthop Scand*. 1991;62(2):106-109. doi:10.3109/17453679108999233.
5. Lohmander LS, Gerhardsson de Verdier M, Rollof J, Nilsson PM, Engström G. Incidence of severe knee and hip osteoarthritis in relation to different measures of body mass: a population-based prospective cohort study. *Ann Rheum Dis*. 2009;68(4):490-496. doi:10.1136/ard.2008.089748.
6. Wang Y, Simpson JA, Wluka AE, et al. Relationship between body adiposity measures and risk of primary knee and hip replacement for osteoarthritis: a prospective cohort study. *Arthritis Res Ther*. 2009;11(2):R31. doi:10.1186/ar2636.
7. Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. *Lancet*. 2007;370(9597):1508-1519. doi:10.1016/S0140-6736(07)60457-7.
8. Wengler A, Nimptsch U, Mansky T. Hip and knee replacement in Germany and the USA: analysis of individual inpatient data from German and US hospitals for the years 2005 to 2011. *Dtsch Arztebl Int*. 2014;111(23-24):407-416. doi:10.3238/arztebl.2014.0407.
9. Statistisches Bundesamt. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern (4-Steller) - 2019. 2020:22.
10. Evans JT, Evans JP, Walker RW, Blom AW, Whitehouse MR, Sayers A. How long does a hip replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up. *The Lancet*. 2019;393(10172):647-654. doi:10.1016/S0140-6736(18)31665-9.
11. Ates DM, Koenen P, Otchwemah R, Bähis H. Periprothetische Frakturen des Acetabulums und des Femurs : Ursache – Klassifikation – Therapiealgorithmen. *Orthopade*. 2019;48(4):322-329. doi:10.1007/s00132-019-03696-8.
12. Alexander Grimberg, Volkmar Jansson (Wissenschaftlicher Direktor), Jörg Lützner, Oliver Melsheimer, Michael Morlock, Arnd Steinbrück. Endoprothesenregister Deutschland - Jahresbericht 2021: Mit Sicherheit mehr Qualität:24-25. doi:10.36186/reportprd042021.
13. Sadoghi P, Liebensteiner M, Agreiter M, Leithner A, Böhler N, Labek G. Revision surgery after total joint arthroplasty: a complication-based analysis using worldwide arthroplasty registers. *J Arthroplasty*. 2013;28(8):1329-1332. doi:10.1016/j.arth.2013.01.012.
14. Wetters NG, Murray TG, Moric M, Sporer SM, Paprosky WG, Della Valle CJ. Risk factors for dislocation after revision total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(2):410-416. doi:10.1007/s11999-012-2561-7.

15. V. Krenn, C. Poremba, J. Schneider, D. Kendoff, T. Gehrke, J.P. Kretzer, M. Thomsen & M. Huber, Krenn V, Poremba C, et al. Histopathologische Differenzialdiagnostik bei gelenkimplantatallergischen Fragestellungen: Histopathological differential diagnostics in context of joint implant allergic reactions. *Der Orthopäde*. 2013;42(29 // 8):614-621. doi:10.1007/s00132-012-2034-4.
16. Müller M, Wassilew G, Perka C. Diagnostik und Behandlung von Abrieberkrankungen in der Hüftendoprothetik. *Z Orthop Unfall*. 2015;153(2):213-229. doi:10.1055/s-0035-1545827.
17. Sturnieks DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*. 2008;38(6):467-478. doi:10.1016/j.neucli.2008.09.001.
18. Ferrucci L, Cooper R, Shardell M, Simonsick EM, Schrack JA, Kuh D. Age-Related Change in Mobility: Perspectives From Life Course Epidemiology and Geroscience. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016;71(9):1184-1194. doi:10.1093/gerona/glw043.
19. Campbell AJ, Reinken J, Allan BC, Martinez GS. Falls in old age: a study of frequency and related clinical factors. *Age Ageing*. 1981;10(4):264-270. doi:10.1093/ageing/10.4.264.
20. Krappinger D, Kammerlander C, Hak DJ, Blauth M. Low-energy osteoporotic pelvic fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010;130(9):1167-1175. doi:10.1007/s00402-010-1108-1.
21. Rupp M, Walter N, Pfeifer C, et al. The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany—an Analysis From 2009 through 2019. *Dtsch Arztebl Int*. 2021;118(40):665-669. doi:10.3238/arztebl.m2021.0238.
22. Pohlemann T, Mörsdorf P, Culemann U, Pizanis A. Behandlungsstrategie bei Azetabulumfraktur. *Trauma Berufskrankh*. 2012;14(S2):125-134. doi:10.1007/s10039-012-1861-1.
23. Tosounidis G, Culemann U, Bauer M, et al. Osteosynthese bei Acetabulumfrakturen im Alter. Ist eine Rekonstruktion sinnvoll? *Unfallchirurg*. 2011;114(8):655-662. doi:10.1007/s00113-011-2021-y.
24. Simko P, Braunsteiner T, Vajcziková S. Včasná primárna implantácia totálnej protézy pri zlomeninách acetabula u pacientov pokročilého veku. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2006;73(4):275-282.
25. Cochu G, Mabit C, Gougam T, et al. L'arthroplastie totale de hanche dans le traitement des fractures récentes de l'acétabulum du sujet âgé. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2007;93(8):818-827. doi:10.1016/s0035-1040(07)78465-9.
26. Mears DC. Surgical treatment of acetabular fractures in elderly patients with osteoporotic bone. *J Am Acad Orthop Surg*. 1999;7(2):128-141. doi:10.5435/00124635-199903000-00006.
27. Gary JL, Paryavi E, Gibbons SD, et al. Effect of surgical treatment on mortality after acetabular fracture in the elderly: a multicenter study of 454 patients. *J Orthop Trauma*. 2015;29(4):202-208. doi:10.1097/BOT.0000000000000223.
28. Morison Z, Moojen DJF, Nauth A, et al. Total Hip Arthroplasty After Acetabular Fracture Is Associated With Lower Survivorship and More Complications. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(2):392-398. doi:10.1007/s11999-015-4509-1.
29. Mueller Greber P, Manzoni I, Ochsner PE, Ilchmann T, Zwicky L, Clauss M. Excellent long-term results of the Müller acetabular reinforcement ring in primary cup revision. *Acta Orthop*. 2017;88(6):619-626. doi:10.1080/17453674.2017.1361137.

30. Gill TJ, Sledge JB, Müller ME. Total hip arthroplasty with use of an acetabular reinforcement ring in patients who have congenital dysplasia of the hip. Results at five to fifteen years. *J Bone Joint Surg Am.* 1998;80(7):969-979. doi:10.2106/00004623-199807000-00005.
31. Höll S. Burch-Schneider-Ring-Rekonstruktion bei Metastasen im Acetabulum. [German Medical Science GMS Publishing House]. 2012. doi:10.3205/12dkou172.
32. Gaiani L, Bertelli R, Palmonari M, Vicenzi G. Total hip arthroplasty revision in elderly people with cement and Burch-Schneider anti-protrusio cage. *Chir Organi Mov.* 2009;93(1):15-19. doi:10.1007/s12306-009-0019-1.
33. Janko M, Verboket R, Genari M, Frank J, Marzi I. Primary or revision arthroplasty with an integrated acetabular cup-MUTARS® RS cup system. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022. doi:10.1007/s00068-022-01956-5.
34. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, eds. *PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2018.
35. Putz R, Simon U, Claes L, Nötzli HP, Wyss TF. Funktionelle Anatomie und Biomechanik. In: Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M, eds. *AE-Manual der Endoprothetik.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012:21-45.
36. Perl M, Hierholzer C, Woltmann A, Thannheimer A, Bühren V. Azetabulumchirurgie. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2015;10(01):3-26. doi:10.1055/s-0033-1358107.
37. Christoph J, Erichsen, Mario Perl, Alexander Woltmann. Klassifikation von Azetabulumfrakturen und prinzipielle Zugangswege. *OUP.* 2016:612-615. doi:10.3238/oup.2016.0612-0615.
38. Gänsslen A, Müller M, Nerlich M, eds. *Azetabulumfrakturen.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016.
39. Berchtold R, Bruch H-P, Keller R, Trentz O, eds. *Chirurgie: Mit 335 Tabellen und 343 Praxisfragen ; [Online-Zugang + interaktive Extras www.studentconsult.de. 6., aktualisierte Aufl. München, Jena: Elsevier Urban & Fischer; 2008.*
40. Rickman M, Bircher MD. Acetabular fractures in the 21st century. *Trauma.* 2008;10(3):149-173. doi:10.1177/1460408608094125.
41. Wirtz DC, Niethard FU. Ursachen, Diagnostik und Therapie der aseptischen Hüftendoprothesenlockerung--eine Standortbestimmung. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1997;135(4):270-280. doi:10.1055/s-2008-1039388.
42. Malchau H, Herberts P, Eisler T, Garellick G, Söderman P. The Swedish Total Hip Replacement Register. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A Suppl 2:2-20. doi:10.2106/00004623-200200002-00002.
43. Jones LC, Hungerford DS. Cement disease. *Clin Orthop Relat Res.* 1987;(225):192-206.
44. Galante J, Rostoker W, Lueck R, Ray RD. Sintered fiber metal composites as a basis for attachment of implants to bone. *J Bone Joint Surg Am.* 1971;53(1):101-114.
45. Judet R, Siguier M, Brumpt B, Judet T. Prothèse totale de hanche en poro-métal sans ciment. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64 Suppl 2:14-21.
46. Søballe K, Overgaard S. The current status of hydroxyapatite coating of prostheses. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(5):689-691.
47. Engh CA, Bobyn JD, Glassman AH. Porous-coated hip replacement. The factors governing bone ingrowth, stress shielding, and clinical results. *J Bone Joint Surg Br.* 1987;69(1):45-55. doi:10.1302/0301-620X.69B1.3818732.

48. Morshed S, Bozic KJ, Ries MD, Malchau H, Colford JM. Comparison of cemented and uncemented fixation in total hip replacement: a meta-analysis. *Acta Orthop.* 2007;78(3):315-326. doi:10.1080/17453670710013861.
49. Wirtz DC. *Knie*. Heidelberg: Springer; 2011. AE-Manual der Endoprothetik; Bd. 3.
50. Perino G, Sunitich S, Huber M, et al. Diagnostic guidelines for the histological particle algorithm in the periprosthetic neo-synovial tissue. *BMC Clin Pathol.* 2018;18:7. doi:10.1186/s12907-018-0074-3.
51. Prock-Gibbs H, Pumilia CA, Meckmongkol T, Lovejoy J, Mumith A, Coathup M. Incidence of Osteolysis and Aseptic Loosening Following Metal-on-Highly Cross-Linked Polyethylene Hip Arthroplasty: A Systematic Review of Studies with Up to 15-Year Follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(8):728-740. doi:10.2106/JBJS.20.01086.
52. Bottner F, Su E, Nestor B, Azzis B, Sculco TP, Bostrom M. Radiostereometric analysis: the hip. *HSS J.* 2005;1(1):94-99. doi:10.1007/s11420-005-0114-2.
53. Gudena R, Kuna S, Pradhan N. Aseptic loosening of total hip replacement presenting as an anterior thigh mass. *Musculoskelet Surg.* 2013;97(3):247-249. doi:10.1007/s12306-011-0167-y.
54. Ong KL, Kurtz SM, Lau E, Bozic KJ, Berry DJ, Parvizi J. Prosthetic joint infection risk after total hip arthroplasty in the Medicare population. *J Arthroplasty.* 2009;24(6 Suppl):105-109. doi:10.1016/j.arth.2009.04.027.
55. Blom AW, Taylor AH, Pattison G, Whitehouse S, Bannister GC. Infection after total hip arthroplasty. The Avon experience. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(7):956-959. doi:10.1302/0301-620x.85b7.14095.
56. Gundtoft PH, Overgaard S, Schönheyder HC, Møller JK, Kjærsgaard-Andersen P, Pedersen AB. The "true" incidence of surgically treated deep prosthetic joint infection after 32,896 primary total hip arthroplasties: a prospective cohort study. *Acta Orthop.* 2015;86(3):326-334. doi:10.3109/17453674.2015.1011983.
57. Urquhart DM, Hanna FS, Brennan SL, et al. Incidence and risk factors for deep surgical site infection after primary total hip arthroplasty: a systematic review. *J Arthroplasty.* 2010;25(8):1216-22.e1-3. doi:10.1016/j.arth.2009.08.011.
58. Otto-Lambertz C, Yagdiran A, Wallscheid F, Eysel P, Jung N. Periprosthetic Infection in Joint Replacement. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(20):347-353. doi:10.3238/arztebl.2017.0347.
59. Saupe N, Romero J, Hersche O, Zanetti M. Postoperative Bildgebung nach Gelenkersatz – Knie, Hüfte, Schulter. *Radiologie up2date.* 2017;17(04):323-343. doi:10.1055/s-0043-119185.
60. Lamagni T. Epidemiology and burden of prosthetic joint infections. *J Antimicrob Chemother.* 2014;69 Suppl 1:i5-10. doi:10.1093/jac/dku247.
61. Arbeitsgruppe der Gesellschaft für Muskel-Skelett-Infektionen. New definition for periprosthetic joint infection. *J Arthroplasty.* 2011;26(8):1136-1138. doi:10.1016/j.arth.2011.09.026.
62. Triantafyllopoulos GK, Soranoglou V, Memtsoudis SG, Poultsides LA. Implant retention after acute and hematogenous periprosthetic hip and knee infections: Whom, when and how? *World J Orthop.* 2016;7(9):546-552. doi:10.5312/wjo.v7.i9.546.
63. Schmalzried TP. The infected hip: telltale signs and treatment options. *J Arthroplasty.* 2006;21(4 Suppl 1):97-100. doi:10.1016/j.arth.2006.02.090.

64. Berry DJ, Knoch M von, Schleck CD, Harmsen WS. Effect of femoral head diameter and operative approach on risk of dislocation after primary total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(11):2456-2463. doi:10.2106/JBJS.D.02860.
65. Parvizi J, Picinic E, Sharkey PF. Revision total hip arthroplasty for instability: surgical techniques and principles. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(5):1134-1142.
66. Dargel J, Oppermann J, Brüggemann G-P, Eysel P. Dislocation following total hip replacement. *Dtsch Arztebl Int.* 2014;111(51-52):884-890. doi:10.3238/arztebl.2014.0884.
67. Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(2):217-220.
68. Forde B, Engeln K, Bedair H, Bene N, Talmo C, Nandi S. Restoring femoral offset is the most important technical factor in preventing total hip arthroplasty dislocation. *J Orthop.* 2018;15(1):131-133. doi:10.1016/j.jor.2018.01.026.
69. Charissoux J-L, Asloum Y, Marcheix P-S. Surgical management of recurrent dislocation after total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(1 Suppl):S25-34. doi:10.1016/j.otsr.2013.11.008.
70. Masonis JL, Bourne RB. Surgical approach, abductor function, and total hip arthroplasty dislocation. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;(405):46-53. doi:10.1097/00003086-200212000-00006.
71. Fink B. Tripolare Pfannen. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie.* 2015;153(2):187-191. doi:10.1055/s-0035-1545682.
72. Trulson A, Beck M, Friederichs J, et al. Periprothetische Frakturen des Acetabulums: Osteosynthese. *Chirurg.* 2020;91(10):813-822. doi:10.1007/s00104-020-01228-1.
73. Ochs BG, Stöckle U. Periprothetische Frakturen bei einliegender Hüfttotalendoprothese. *Trauma Berufskrankh.* 2012;14(3):162-170. doi:10.1007/s10039-012-1896-3.
74. Li J, Ji Q, Ni M, Zheng Q, Sun J, Zhang G. Management of intraoperative acetabular fracture in primary total hip arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):383. doi:10.1186/s12891-020-03356-5.
75. Brown JM, Borchard KS, Robbins CE, Ward DM, Talmo CT, Bono JV. Management and Prevention of Intraoperative Acetabular Fracture in Primary Total Hip Arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2017;46(5):232-237.
76. Letournel E, Judet R. *Fractures of the Acetabulum.* Second Edition Entirely Revised and Enlarged. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1993.
77. Tile M, Helfet DL, Kellam JF, Vrahas M, eds. *Fractures of the Pelvis and Acetabulum.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2015.
78. Römer M, Wittner B. Klassifikation von Acetabulumfrakturen. *OP-JOURNAL.* 2003:151-155.
79. Müller-Mai C, Ekkernkamp A, eds. *Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoptionen ; [mit Farbleitsystem.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2010.
80. Borens O, Wettstein M, Garofalo R, et al. Die Behandlung von Acetabulumfrakturen bei geriatrischen Patienten mittels modifizierter Kabelcerclage und primärer Hüfttotalprothese. Erste Ergebnisse. *Unfallchirurg.* 2004;107(11):1050-1056. doi:10.1007/s00113-004-0827-6.
81. Siebler JC, Mormino MA. Geriatric Elementary-Type Acetabulum Fractures: Open Reduction and Internal Fixation Techniques. *Operative Techniques in Orthopaedics.* 2011;21(4):280-285. doi:10.1053/j.oto.2011.07.002.

82. Culemann U, Tosounidis G, Pohlemann T. Die Therapie bei Azetabulumfrakturen--aktuelle Diagnostik und Behandlungsstrategie. *Zentralbl Chir.* 2005;130(5):W58-71; quiz W72-3. doi:10.1055/s-2005-836926.
83. Tunn P-U. Maligne Tumoren des muskuloskelettalen Systems. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2008;3(05):317-344. doi:10.1055/s-2008-1077699.
84. Tubiana-Hulin M. Incidence, prevalence and distribution of bone metastases. *Bone.* 1991;12 Suppl 1:S9-10. doi:10.1016/8756-3282(91)90059-r.
85. Khan W. Revision Hip Arthroplasty in the Rheumatoid Patient. *MOJOR.* 2016;6(5). doi:10.15406/mojor.2016.06.00236.
86. Bohndorf K, Imhof H, Wörtler K, eds. *Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke: 10 Rheumatologische Erkrankungen (I).* 4. unveränderte Auflage. Thieme; 2017.
87. Rademacher G. Verletzungen von Becken und Azetabulum. *Trauma Berufskrankh.* 2012;14(S2):118-124. doi:10.1007/s10039-011-1763-7.
88. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(151):81-106.
89. Paprosky WG, Perona PG, Lawrence JM. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. A 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty.* 1994;9(1):33-44. doi:10.1016/0883-5403(94)90135-x.
90. Telleria JJM, Gee AO. Classifications in brief: Paprosky classification of acetabular bone loss. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(11):3725-3730. doi:10.1007/s11999-013-3264-4.
91. Sheth NP, Nelson CL, Springer BD, Fehring TK, Paprosky WG. Acetabular bone loss in revision total hip arthroplasty: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(3):128-139. doi:10.5435/JAAOS-21-03-128.
92. Ahmad AQ, Schwarzkopf R. Clinical evaluation and surgical options in acetabular reconstruction: A literature review. *J Orthop.* 2015;12(Suppl 2):S238-43. doi:10.1016/j.jor.2015.10.011.
93. Templeton JE, Callaghan JJ, Goetz DD, Sullivan PM, Johnston RC. Revision of a cemented acetabular component to a cementless acetabular component. A ten to fourteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83(11):1706-1711. doi:10.2106/00004623-200111000-00014.
94. Katz RP, Callaghan JJ, Sullivan PM, Johnston RC. Long-term results of revision total hip arthroplasty with improved cementing technique. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(2):322-326. doi:10.1302/0301-620x.79b2.7245.
95. Roth P von, Wassilew GI. Jumbocups in der Revision. *Z Orthop Unfall.* 2017;155(5):534-538. doi:10.1055/s-0043-108648.
96. Trieb K. Unterschiedliche Pfannenrevisionsimplantate im Vergleich. *Orthopäde.* 2009;38(8):704-710. doi:10.1007/s00132-009-1429-3.
97. Dearborn JT, Harris WH. Acetabular revision arthroplasty using so-called jumbo cementless components: an average 7-year follow-up study. *J Arthroplasty.* 2000;15(1):8-15. doi:10.1016/s0883-5403(00)90999-9.
98. Torres-Campos A, Albareda Albareda J, Seral García B, Blanco Rubio N, Gómez Vallejo J, Ezquerro Herrando L. Anillo de Burch-Schneider asociado a injerto óseo triturado, supervivencia y resultados clínicos en revisión acetabular. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed).* 2018;62(6):428-435. doi:10.1016/j.recot.2018.02.009.

99. Enocson A, Blomfeldt R. Acetabular fractures in the elderly treated with a primary Burch-Schneider reinforcement ring, autologous bone graft, and a total hip arthroplasty: a prospective study with a 4-year follow-up. *J Orthop Trauma*. 2014;28(6):330-337. doi:10.1097/BOT.000000000000016.
100. Oh I, Harris WH. Design concepts, indications, and surgical technique for use of the protrusio shell. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;(162):175-184.
101. Gross AE. Revision arthroplasty of the acetabulum with restoration of bone stock. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;(369):198-207. doi:10.1097/00003086-199912000-00021.
102. Gallo J, Rozkydal Z, Sklenský M. Rekonstrukce závazných acetabulárních defektů pomocí Burchova-Schneiderova prstence. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2006;73(3):157-163.
103. Perka C, Ludwig R. Reconstruction of segmental defects during revision procedures of the acetabulum with the Burch-Schneider anti-protrusio cage. *J Arthroplasty*. 2001;16(5):568-574. doi:10.1054/arth.2001.23919.
104. Udomkiat P, Dorr LD, Won YY, Longjohn D, Wan Z. Technical factors for success with metal ring acetabular reconstruction. *J Arthroplasty*. 2001;16(8):961-969. doi:10.1054/arth.2001.27669.
105. Koudela K, Malotín T. Rekonstrukce acetabula při výměně asepticky uvolněné polyetylenové jamky. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2001;68(3):162-167.
106. Olsen F, Kotyra M, Houltz E, Ricksten S-E. Bone cement implantation syndrome in cemented hemiarthroplasty for femoral neck fracture: incidence, risk factors, and effect on outcome. *Br J Anaesth*. 2014;113(5):800-806. doi:10.1093/bja/aeu226.
107. Razuin R, Effat O, Shahidan MN, Shama DV, Miswan MFM. Bone cement implantation syndrome. *Malays J Pathol*. 2013;35(1):87-90.
108. Branca, Francesco, Nikogosian, Haik & Lobstein, Tim. The challenge of obesity in the WHO European Region and the strategies for response: summary. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/328775>.
109. Deutsche Adipositas-Gesellschaft e.V. Definition von Übergewicht und Adipositas. <https://adipositas-gesellschaft.de/ueber-adipositas/definition-von-adipositas/>. Accessed December 14, 2021.
110. American Society of Anesthesiologists®. ASA Physical Status Classification System. Accessed December 14, 2021.
111. Böhmer A, Defosse J, Geldner G, Rossaint R, Zacharowski K, Zwißler B. Die aktualisierte Version der ASA-Klassifikation. *Anästhesiologie & Intensivmedizin*. 2021;62, Sonderbeiträge:223-228. doi:10.19224/ai2021.223.
112. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis*. 1987;40(5):373-383. doi:10.1016/0021-9681(87)90171-8.
113. Charlson M, Szatrowski TP, Peterson J, Gold J. Validation of a combined comorbidity index. *J Clin Epidemiol*. 1994;47(11):1245-1251. doi:10.1016/0895-4356(94)90129-5.
114. Souza RC de, Pinheiro RS, Coeli CM, Camargo KR de. The Charlson comorbidity index (CCI) for adjustment of hip fracture mortality in the elderly: analysis of the importance of recording secondary diagnoses. *Cad Saude Publica*. 2008;24(2):315-322. doi:10.1590/s0102-311x2008000200010.

115. Varady NH, Gillinov SM, Yeung CM, Rudisill SS, Chen AF. The Charlson and Elixhauser Scores Outperform the American Society of Anesthesiologists Score in Assessing 1-year Mortality Risk After Hip Fracture Surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2021;479(9):1970-1979. doi:10.1097/CORR.0000000000001772.
116. Tang P-L, Lin H-S, Hsu C-J. Predicting in-hospital mortality for dementia patients after hip fracture surgery - A comparison between the Charlson Comorbidity Index (CCI) and the Elixhauser Comorbidity Index. *J Orthop Sci.* 2021;26(3):396-402. doi:10.1016/j.jos.2020.04.005.
117. Grading R, Gollwitzer H. *Ossäre Integration: Mit 258 Abbildungen und 28 Tabellen.* Heidelberg: Springer Medizin; 2006.
118. Diehl P, Haenle M, Bergschmidt P, et al. Zementfreie Hüftendoprothetik: eine aktuelle Übersicht / Cementless total hip arthroplasty: a review. *Biomed Tech (Berl).* 2010;55(5):251-264. doi:10.1515/BMT.2010.037.
119. Boby JD, Pilliar RM, Cameron HU, Weatherly GC, Kent GM. The effect of porous surface configuration on the tensile strength of fixation of implants by bone ingrowth. *Clin Orthop Relat Res.* 1980;(149):291-298.
120. Manjubala I, Sivakumar M, Sureshkumar RV, Sastry TP. Bioactivity and osseointegration study of calcium phosphate ceramic of different chemical composition. *J Biomed Mater Res.* 2002;63(2):200-208. doi:10.1002/jbm.10128.
121. Furlong RJ, Osborn JF. Fixation of hip prostheses by hydroxyapatite ceramic coatings. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(5):741-745. doi:10.1302/0301-620X.73B5.1654336.
122. Kutzner KP, Pfeil J, Kovacevic MP. Preoperative digital planning versus postoperative outcomes in total hip arthroplasty using a calcar-guided short stem: frequent valgization can be avoided. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017;27(5):643-651. doi:10.1007/s00590-017-1948-2.
123. Bartel DL, Johnston RC. Mechanical analysis and optimization of a cup arthroplasty. *J Biomech.* 1969;2(1):97-103. doi:10.1016/0021-9290(69)90045-1.
124. Watson-Jones R. Fractures of the neck of the femur. *British Journal of Surgery.* 2005;23(92):787-808. doi:10.1002/bjs.1800239213.
125. Nogler M, Thaler M. Operative Zugangswege zur Hüfte beim älteren Menschen. *Orthopade.* 2017;46(1):18-24. doi:10.1007/s00132-016-3366-2.
126. Oommen AT, Krishnamoorthy VP, Poonnoose PM, Korula RJ. Fate of bone grafting for acetabular defects in total hip replacement. *Indian J Orthop.* 2015;49(2):181-186. doi:10.4103/0019-5413.152462.
127. Pierannunzii L, Zagra L. Bone grafts, bone graft extenders, substitutes and enhancers for acetabular reconstruction in revision total hip arthroplasty. *EFORT Open Reviews.* 2016;1(12):431-439. doi:10.1302/2058-5241.160025.
128. Morscher E. Principles of acetabular fixation in THR with special reference to the "press-fit cup". *Acta Orthop Belg.* 1993;59 Suppl 1:260-266.
129. Morscher E, Bereiter H, Lampert C. Cementless press-fit cup. Principles, experimental data, and three-year follow-up study. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(249):12-20.
130. Yu X, Wu Y, Ning R. The deep vein thrombosis of lower limb after total hip arthroplasty: what should we care. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):547. doi:10.1186/s12891-021-04417-z.

131. Senay A, Trottier M, Delisle J, et al. Incidence of symptomatic venous thromboembolism in 2372 knee and hip replacement patients after discharge: data from a thromboprophylaxis registry in Montreal, Canada. *Vasc Health Risk Manag.* 2018;14:81-89. doi:10.2147/VHRM.S150474.
132. Quintero JJ, Cárdenas LL, Navas M, Bautista MP, Bonilla GA, Llinás AM. Primary Joint Arthroplasty Surgery: Is the Risk of Major Bleeding Higher in Elderly Patients? A Retrospective Cohort Study. *J Arthroplasty.* 2016;31(10):2264-2268. doi:10.1016/j.arth.2016.03.025.
133. Marx G, Zacharowski K, Kluge S, et al., eds. *Referenz Intensivmedizin.* Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2020. Referenz.
134. Cuker A, Siegal DM, Crowther MA, Garcia DA. Laboratory measurement of the anticoagulant activity of the non-vitamin K oral anticoagulants. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64(11):1128-1139. doi:10.1016/j.jacc.2014.05.065.
135. Neubart R, ed. *Repetitorium Geriatrie.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015.
136. Raichandani K, Agarwal S, Jain H, Bharwani N. Mortality profile after 2 years of hip fractures in elderly patients treated with early surgery. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;18:1-5. doi:10.1016/j.jcot.2021.04.009.
137. Miettinen SSA, Savolainen S, Kröger H. Charlson comorbidity index predicts the 10-year survivorship of the operatively treated hip fracture patients. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2022. doi:10.1007/s00590-022-03259-2.
138. Kienapfel H, Sprey C, Wilke A, Griss P. Implant fixation by bone ingrowth. *J Arthroplasty.* 1999;14(3):355-368. doi:10.1016/S0883-5403(99)90063-3.
139. Karuppall R. Biological fixation of total hip arthroplasty: Facts and factors. *J Orthop.* 2016;13(3):190-192. doi:10.1016/j.jor.2016.06.002.
140. Alberton GM, High WA, Morrey BF. Dislocation after revision total hip arthroplasty : an analysis of risk factors and treatment options. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(10):1788-1792.
141. Dr. Mike Barbeck, Phil Donkiewicz M. Sc., Prof. Dr. Sabine Wensch, Prof. Allogene Knochenersatzmaterialien. *Implanologie Journal.* [Update zum aktuellen wissenschaftlichen Stand]. 2017.
142. Hinsenkamp M, Muylle L, Eastlund T, Fehily D, Noël L, Strong DM. Adverse reactions and events related to musculoskeletal allografts: reviewed by the World Health Organisation Project NOTIFY. *Int Orthop.* 2012;36(3):633-641. doi:10.1007/s00264-011-1391-7.
143. Finnilä S, Moritz N, Svedström E, Alm JJ, Aro HT. Increased migration of uncemented acetabular cups in female total hip arthroplasty patients with low systemic bone mineral density. A 2-year RSA and 8-year radiographic follow-up study of 34 patients. *Acta Orthop.* 2016;87(1):48-54. doi:10.3109/17453674.2015.1115312.
144. Kavanagh BF, Fitzgerald RH. Multiple revisions for failed total hip arthroplasty not associated with infection. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(8):1144-1149.
145. Morrey BF. Difficult complications after hip joint replacement. Dislocation. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;(344):179-187.
146. Fessy MH, Putman S, Viste A, et al. What are the risk factors for dislocation in primary total hip arthroplasty? A multicenter case-control study of 128 unstable and

- 438 stable hips. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(5):663-668. doi:10.1016/j.otsr.2017.05.014.
147. Jolles BM, Zangger P, Leyvraz P-F. Factors predisposing to dislocation after primary total hip arthroplasty: a multivariate analysis. *J Arthroplasty.* 2002;17(3):282-288. doi:10.1054/arth.2002.30286.
148. Garbuz DS, Masri BA, Duncan CP, et al. The Frank Stinchfield Award: Dislocation in revision THA: do large heads (36 and 40 mm) result in reduced dislocation rates in a randomized clinical trial? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(2):351-356. doi:10.1007/s11999-011-2146-x.
149. Conroy JL, Whitehouse SL, Graves SE, Pratt NL, Ryan P, Crawford RW. Risk factors for revision for early dislocation in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2008;23(6):867-872. doi:10.1016/j.arth.2007.07.009.
150. Hermida JC, Bergula A, Chen P, Colwell CW, D'Lima DD. Comparison of the wear rates of twenty-eight and thirty-two-millimeter femoral heads on cross-linked polyethylene acetabular cups in a wear simulator. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(12):2325-2331. doi:10.2106/00004623-200312000-00009.
151. Harris WH, Muratoglu OK. A review of current cross-linked polyethylenes used in total joint arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;(430):46-52. doi:10.1097/01.blo.0000152603.58384.e9.
152. Kung PL, Ries MD. Effect of femoral head size and abductors on dislocation after revision THA. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;465:170-174. doi:10.1097/BLO.0b013e318159a983.
153. Girard J, Kern G, Migaud H, Delaunay C, Ramdane N, Hamadouche M. Primary total hip arthroplasty revision due to dislocation: prospective French multicenter study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(5):549-553. doi:10.1016/j.otsr.2013.03.026.
154. Hanssen AD, Spanghehl MJ. Treatment of the infected hip replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(420):63-71. doi:10.1097/00003086-200403000-00010.
155. Verboket R, Marzi I, Fleck SC, Frank J, Janko M. Local fixation of antibiotics with fibrin spray on soft tissues: experimental study on the relevance of the application techniques. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2020;46(3):635-640. doi:10.1007/s00068-018-1054-0.
156. Paul-Ehrlich-Gesellschaft. Resistenzdaten: Arbeitsgemeinschaft "Empfindlichkeitsprüfung und Resistenz". [Individuelle Datenbankabfrage]. <https://www.p-e-g.org/resistenz/database/auswertung.php?antibiotika%5B%5D=GEH&antibiotika%5B%5D=GEHE&x=60&y=10&study=2016&erreger=820&material=1&age=1&area=1&field=1>. Accessed May 23, 2022.
157. Lim S-J, Park J-C, Moon Y-W, Park Y-S. Treatment of periprosthetic hip infection caused by resistant microorganisms using 2-stage reimplantation protocol. *J Arthroplasty.* 2009;24(8):1264-1269. doi:10.1016/j.arth.2009.05.012.
158. NCD Risk Factor Collaboration. Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128·9 million children, adolescents, and adults. *Lancet.* 2017;390(10113):2627-2642. doi:10.1016/S0140-6736(17)32129-3.

159. Haverkamp D, Klinkenbijn MN, Somford MP, Albers GHR, van der Vis HM. Obesity in total hip arthroplasty--does it really matter? A meta-analysis. *Acta Orthop.* 2011;82(4):417-422. doi:10.3109/17453674.2011.588859.
160. Wasielewski RC, Cooperstein LA, Kruger MP, Rubash HE. Acetabular anatomy and the transacetabular fixation of screws in total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(4):501-508.
161. Djukic M, Nau R, Sieber C. Das alternde Immunsystem. *Dtsch Med Wochenschr.* 2014;139(40):1987-1990. doi:10.1055/s-0034-1370283.
162. Guralnik JM, Eisenstaedt RS, Ferrucci L, Klein HG, Woodman RC. Prevalence of anemia in persons 65 years and older in the United States: evidence for a high rate of unexplained anemia. *Blood.* 2004;104(8):2263-2268. doi:10.1182/blood-2004-05-1812.
163. Berry DJ, Müller ME. Revision arthroplasty using an anti-protrusio cage for massive acetabular bone deficiency. *J Bone Joint Surg Br.* 1992;74(5):711-715. doi:10.1302/0301-620X.74B5.1527119.
164. Auersperg V, Pieringer H, Böhler N. Rekonstruktion schwerer knöcherner Defekte des Azetabulums unter Verwendung der Burch-Schneider-Pfannendachschale. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2003;141(S 1). doi:10.1055/s-2003-821676.
165. Hsu C-C, Hsu C-H, Yen S-H, Wang J-W. Use of the Burch-Schneider cage and structural allografts in complex acetabular deficiency: 3- to 10-year follow up. *Kaohsiung J Med Sci.* 2015;31(10):540-547. doi:10.1016/j.kjms.2015.08.001.
166. Jaenisch M, Osterhaus T, Gathen M, Wimmer MD, Randau T, Wirtz DC. Acetabuläre Defekte in der Revisionsendoprothetik – eine Therapie-orientierte Klassifikation für die Anwendung von modularen Implantatsystemen. 2018. doi:10.3205/18dkou120.
167. Yu R, Hofstaetter JG, Sullivan T, Costi K, Howie DW, Solomon LB. Validity and reliability of the Paprosky acetabular defect classification. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(7):2259-2265. doi:10.1007/s11999-013-2844-7.

9 Abbildungen

Abb. 1: Postoperative Röntgenkontrolle als Beckenübersichtsaufnahme nach Implantation der M.-E.-Müller-Dachschale und einer Standardprothese

Abb. 2: Nach rezidivierenden Subluxationen wurde ein Teil der H-TEP ausgetauscht.

Abb. 3: Wiederkehrende Subluxation der Revisions-H-TEP auf der rechten Seite

Abb. 4: Die postoperative Röntgenkontrolle nach Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems (unter Beibehaltung des alten Prothesenschafts) zeigt die korrekte Lage des eingebrachten Fremdmaterials.

Abb. 5: Periprothetische Femurfraktur rechts (Typ Vancouver A_G und A_L)

Abb. 6: Nach Implantation einer 6-Loch-Hakenplatte und zweier Kabel-Cerclagen am rechten proximalen Femur

Abb. 7: Zeichnerische Darstellung des Os coxae mit farblicher Markierung der beiden Pfeiler (a Ansicht von lateral, b Ansicht von medial)

Abb. 8: Radiologische Ansicht einer rechten a.p.-Hüftübersicht mit relevanten Kennlinien des Acetabulums

Abb. 9: Paprosky-Klassifikation (Acetabulum) – grafische Darstellung der Schweregrade des knöchernen Substanzverlusts

Abb. 10 zeigt den konventionellen Therapieansatz mit einem BS-Ring und die Komplikation eines Einbruchs des distalen Pfannenringsystems ins kleine Becken.

Abb. 11: Häufigkeitsverteilung des Studienkollektivs nach Altersgruppen und Geschlecht

Abb. 12: Grafische Darstellung der präoperativen Situation des betroffenen Hüftgelenks zum Zeitpunkt des Indexeingriffs

Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Schweregrade nach der Paprosky-Klassifikation im untersuchten Studienkollektiv

Abb. 14: MUTARS® RS Cup-Prothese

Abb. 15: Präoperative Planung der Prothesenkomponenten mit dem Software-Programm mediCAD Classic®

Abb. 16: Intraoperatives Röntgenbild des linken Acetabulums nach sorgfältigem Debridement und Auffräsen auf die zuvor ermittelte Größe

Abb. 17: Eröffnung des Os ischii mit dem geraden Öffnungsinstrument

Abb. 18: Eröffnung des Os ischii mit dem gekrümmten Instrument

Abb. 19: Intraoperative Darstellung der MUTARS® RS Cup-Prothese auf dem dazugehörigen Einschläger

Abb. 20: Die MUTARS® RS Cup wird mit der Lasche in das eröffnete Sitzbein eingeführt. (Sie befindet sich noch nicht in der korrekten Endlage und muss noch in die gewünschte Position eingeschlagen werden.)

Abb. 21: Intraoperatives Röntgenbild der korrekt eingeschlagenen Abstützschale mit guter Verankerung der kaudalen Lasche im Sitzbein

Abb. 22: Intraoperative Sicht auf den Situs nach Implantation und Schraubenfixierung der MUTARS® RS Cup

Abb. 23: Das intraoperative Röntgenbild zeigt das eingebrachte MUTARS® RS Cup-System – hier für eine tripolare Versorgung.

Abb. 24: Intraoperative Ansicht nach Einsetzen des 2M 15°-Inlays zur tripolaren Prothesenversorgung

Abb. 25a: Hb-Wertänderung innerhalb des weiblichen Studienkollektivs über die Zeitdauer des stationären Aufenthalts

Abb. 25b: Hb-Wertänderung innerhalb des männlichen Studienkollektivs über die Zeitdauer des stationären Aufenthalts

Abb. 26: Transfusionstrigger und deren relative Häufigkeiten in der Studienkohorte

10 Tabellen

Tab. 1: Paprosky-Klassifikation (Acetabulum) – Einteilung des Schweregrads anhand der knöchernen Substanzdefekte

Tab. 2: Geschlechtergetrennte Zuordnung der nicht normalgewichtigen Patienten zu den Gewichtsklassifikationen anhand des BMI

Tab. 3: Definition der ASA-Klassen und Häufigkeitsverteilung im Studienkollektiv

Tab. 4: Erkrankungen und Punktegewichtung des Charlson-Komorbiditätsindex

Tab. 5: Altersadjustierung als Ergänzung des CCI

Tab. 6: Indikationen, die zur Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems führten.

Tab. 7: Zeitangaben des stationären Aufenthalts

Tab. 8: Implantierte Größen der MUTARS® RS Cup

Tab. 9: Eingesetzte Inlays

Tab. 10: Implantierte Prothesenschäfte

Tab. 11: Verwendete Prothesenköpfe und -hälse

Tab. 12: Zusammenfassung der intraoperativ aufgetretenen Besonderheiten und die gewählten Therapieansätze

Tab. 13: Übersicht der postoperativ aufgetretenen Komplikationen sowie die gewählten Therapiestrategien

Tab. 14: Auswertung des intraoperativen Blut- und des postoperativen Drainageverlusts

Tab. 15: Tabellarische Zusammenfassung der Hb-Werte für beide Geschlechter zu verschiedenen Zeitpunkten des stationären Aufenthalts

Tab. 16: Intraoperativer Einsatz einer maschinellen Autotransfusion und hierbei retransfundiertes Blutvolumen

Tab. 17: Auswertung der Fremdblutgaben über die gesamte Dauer des stationären Aufenthalts

Tab. 18: Auswahlmöglichkeiten der Transfusionstrigger und deren absolute Häufigkeiten im Patientenkollektiv

Tab. 19: Geschlechtergetrennte Übersicht der drei Standard-Gerinnungsparameter zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme und vor dem Indexeingriff

Tab. 20: Überblick über die unterschiedlichen gerinnungshemmenden Präparate und deren Vorkommen im Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme

Tab. 21: Auflistung der intraoperativ verabreichten Gerinnungspräparate

11 Abkürzungen

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anteroposterior
aPTT	aktivierte partielle Thromboplastinzeit
ASA	American Society of Anesthesiologists
ASS	Acetylsalicylsäure
BMI	Body-Mass-Index
BS	Burch-Schneider
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CCI	Charlson Comorbidity Index
CoCrMo	Cobalt-Chrom-Molybdän
CT	Computertomografie
DHS	Dynamische Hüftschraube
DOAK	direkte orale Antikoagulantien
EK	Erythrozytenkonzentrat
et al.	et alii
etc.	et cetera
Fa.	Firma
ggf.	gegebenenfalls
Hb	Hämoglobin
H-TEP	Hüftgelenk-Totalendoprothese
ICD	International Statistical Classification of Diseases
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MAT	Maschinelle Autotransfusion
Max.	Maximum
Min.	Minimum
MUTARS®	Modular Universal Tumor And Revision System
PE	Polyethylen

PMMA	polymerisiertes Methylmethacrylat
Re- oder RS	Revision
SD	Standardabweichung
sog.	sogenannt
Tab.	Tabelle
VKA	Vitamin K-Antagonist
WHO	World Health Organization
z.B.	zum Beispiel

12 Einheiten

°	Grad (Winkelmaß)
cm	Zentimeter
dl	Deziliter
g	Gramm
IE oder IU	Internationale Einheit/international unit
kg	Kilogramm
m	Meter
m ²	Quadratmeter
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
nl	Nanoliter
sec.	Sekunden

13 Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

Implantation des MUTARS® RS Cup-Systems bei acetabulärer Defektsituation – eine retrospektive Auswertung perioperativer Daten

in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Frankfurt am Main unter Betreuung und Anleitung von PD Dr. Maren Janko mit Unterstützung durch Prof. Dr. Ingo Marzi ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

Vorliegende Ergebnisse der Arbeit wurden in folgendem Publikationsorgan veröffentlicht:

Janko, M., Verboket, R., Genari, M., Frank, J., Marzi, I., Primary or revision arthroplasty with an integrated acetabular cup–MUTARS® RS cup system, Eur J Trauma Emerg Surg (2022). <https://doi.org/10.1007/s00068-022-01956-5>

(Ort, Datum)

(Unterschrift)