

Aus der Universitätsklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
des Universitätsklinikums Bonn

Direktor: Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz

**Die Versorgung ausgeprägter acetabulärer Knochendefekte
mit sonderangefertigten Individualimplantaten in der
Revisionsendoprothetik**

Habilitationsschrift

zur Erlangung der *venia legendi*

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

für das Lehrgebiet „Orthopädie und Unfallchirurgie“

vorgelegt von

Dr. med. Frank Sebastian Fröschen

aus Bonn

Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie am Universitätsklinikum
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

2024

Meiner Frau

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Bernd Weber

Mentor: Univ.-Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz

**Vorsitzender des Habilitationsausschusses: Univ.-Prof. Dr. med. Henning
Boecker**

Datum des Habilitationskolloquiums: 09. November 2023

Publikationsgrundlage der vorliegenden kumulativen Habilitationsschrift:

1. **Fröschen FS**, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG (2019) Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. Arch Orthop Trauma Surg. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03318-0>
2. **Fröschen FS**, Randau TM, Walter SG, Dally F, Wirtz DC, Gravius S (2022) Custom-made acetabular components (CMAC) beim zweizeitigen Wechsel und bei höhergradigen periazetabulären Knochendefekten. Oper Orthop Traumatol. <https://doi.org/10.1007/s00064-022-00766-7>
3. **Fröschen FS**, Randau TM, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2021) Risk factors for implant failure of custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss and combined pelvic discontinuity. Technol Health Care 1–9. <https://doi.org/10.3233/THC-202236>
4. **Fröschen FS**, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2020) Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series. HIP Int 30:64–71. <https://doi.org/10.1177/1120700020928247>

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	4
2. Einleitung	5
3. Publikationsgrundlage der vorliegenden kumulativen Habilitationsschrift	10
Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG (2019) Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. Arch Orthop Trauma Surg. https://doi.org/10.1007/s00402-019-03318-0	10
Fröschen FS, Randau TM, Walter SG, Dally F, Wirtz DC, Gravius S (2022) Custom-made acetabular components (CMAC) beim zweizeitigen Wechsel und bei höhergradigen periacetabulären Knochendefekten. Oper Orthop Traumatol. https://doi.org/10.1007/s00064-022-00766-7	23
Fröschen FS, Randau TM, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2021) Risk factors for implant failure of custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss and combined pelvic discontinuity. Technol Health Care 1–9. https://doi.org/10.3233/THC-202236	36
Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2020) Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series. HIP Int 30:64–71. https://doi.org/10.1177/1120700020928247	47
4. Diskussion	57
5. Zusammenfassung und Ausblick	71
6. Überlappung durch geteilte Autorenschaften	73
7. Literaturverzeichnis	74
8. Danksagung	80

2. Einleitung

Der künstliche Gelenkersatz des Hüftgelenkes ist heutzutage eine der erfolgreichen orthopädischen Therapieoptionen bei Patienten mit konservativ therapierefraktärer Arthrose des Hüftgelenks. Aktuell werden weltweit über 1 Million Patienten pro Jahr mit einem künstlichen Hüftgelenk versorgt [5]. Hierbei sind über 90 % der Patienten nach endoprothetischer Versorgung sehr zufrieden mit ihrem peri- und postoperativen Verlauf [6]. Dennoch zeigen die Ergebnisse vorheriger Studien, dass bereits 10 Jahre nach initialer Versorgung Revisionsraten von bis zu 12 % erwartet werden können [7]. Folglich kommt der revisionsendoprothetischen Versorgung im Falle eines Versagens nach Primärimplantation eine besondere Bedeutung zu. In Anbetracht der steigenden Zahlen der Primärendoprothetik, ist somit auch ein Anstieg der revisionsendoprothetischen Eingriffe zu erwarten. Die Besonderheiten der revisionsendoprothetischen Versorgung liegen im Gegensatz zur Primärendoprothetik in der oftmals schwierigeren Rekonstruktion bzw. Augmentation eines konsekutiven acetabulären Knochenverlustes. Der acetabuläre Knochenverlust stellt hierbei das Kernproblem in der endoprothetischen Revisionschirurgie dar.

Aktuell stehen mehrere Klassifikationssysteme zur Beurteilung der knöchernen Defektsituation mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen zur Verfügung. Hierbei ist eine der älteren und gebräuchlichsten Klassifikationen von Paprosky et al. 1994 veröffentlicht worden [8]. In dieser erfolgt eine detaillierte Beschreibung möglicher Knochendefekte. Fortgeschrittene Knochendefekte mit Verlust des Pfannenrandes, nicht mehr tragfähiger Knochensubstanz und sklerotischem Defektlager bzw. ehemaligem Implantlager werden hierbei als Typ IIIa bzw. Typ IIIb beschrieben. Bei beiden kann zusätzlich eine begleitende Beckendiskontinuität vorliegen.

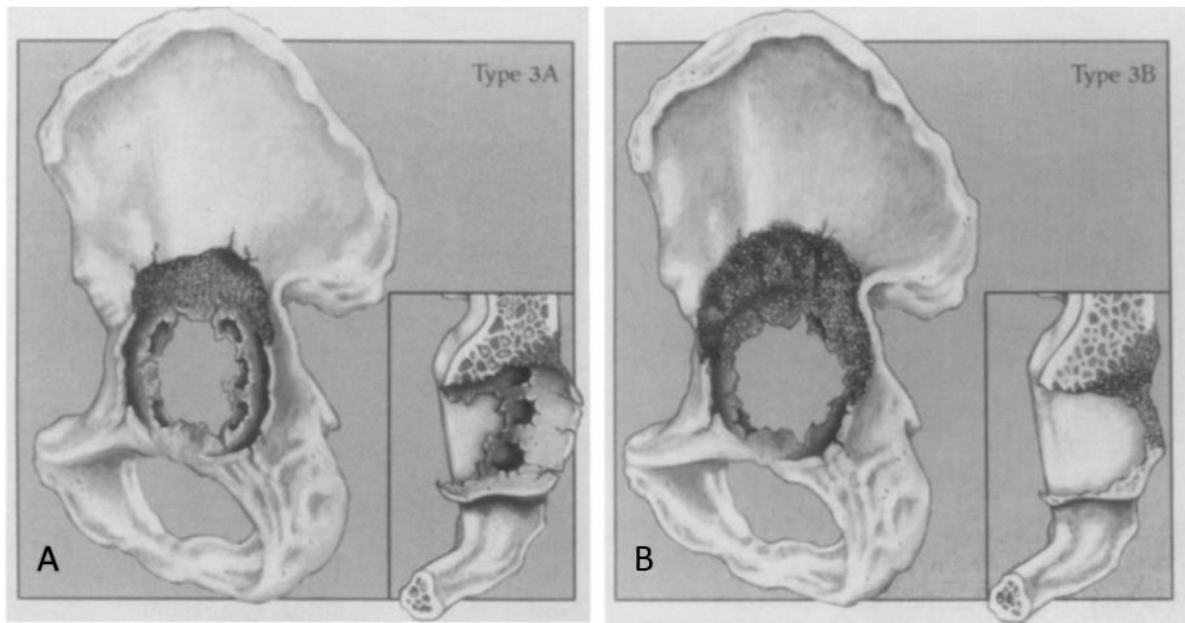


Abbildung 1: Schematische Darstellung von ausgeprägten acetabulären Knochendefekten vom Typ IIIa und IIIb nach Paprosky et al. [8]. Typ III Defekte sind hierbei gekennzeichnet durch einen ausgeprägten Knochenverlust des Acetabulums zwischen 10 und 2 Uhr (Abb. 1A; Typ IIIa) bzw. 9 bis 5 Uhr (Abb. 1B; Typ IIIb), oftmals in Kombination mit einem Defekt der medialen Begrenzung als Resultat einer kranialen bzw. kraniolateralen Migration der Komponente.

Die Klassifikation beschränkt sich hierbei auf die Beschreibung des Defektes mit Empfehlung einer grundsätzlichen Therapie, wobei hier aufgrund des Alters der Klassifikation die aktuell verfügbaren Revisionsimplantate und Möglichkeiten einer biologischen bzw. metallischen Defektaugmentation nicht vollständig thematisiert werden. Zusätzlich kann bei Typ III Defekten eine Beckendiskontinuität begleitend vorliegen, das Vorliegen dieser hat jedoch keinen Einfluss auf die Klassifikation des Defektes nach Paprosky.

Ein neueres, aktuell veröffentlichtes Klassifikationssystem zur Beurteilung acetabulärer Defekte ist von Wirtz et al. 2020 publiziert worden [9]. Die Acetabuläre Defekt Klassifikation (ADC) stellt hierbei ein intuitives Klassifikationssystem zur Beurteilung und Therapieempfehlung von acetabulären Defekten in der Revisionsendoprothetik des Hüftgelenks dar. Im Unterschied zur Klassifikation nach Paprosky wird das Vorliegen einer Beckendiskontinuität bei der Klassifikation des Defektes nach Wirtz et al. berücksichtigt (s. Abbildung 2). Im Rahmen dieser wird

herausgearbeitet, dass insbesondere bei fortgeschrittenen acetabulären Knochendefekten das Ziel der Primärstabilität mit adäquater Kraftübertragung der Belastung auf die verbliebene periacetabuläre Knochensubstanz essenziell für ein gutes Langzeitergebnis ist. Hierbei kommt dem Implantatdesign eine besondere Rolle zu, da fortgeschrittene Knochendefekte eine passgenaue metallische Defektaugmentation, insbesondere im lasttragenden Bereich zur Verkleinerung des Knochendefektes und Kaudalisierung des kranialisierten Drehzentrums, benötigen.

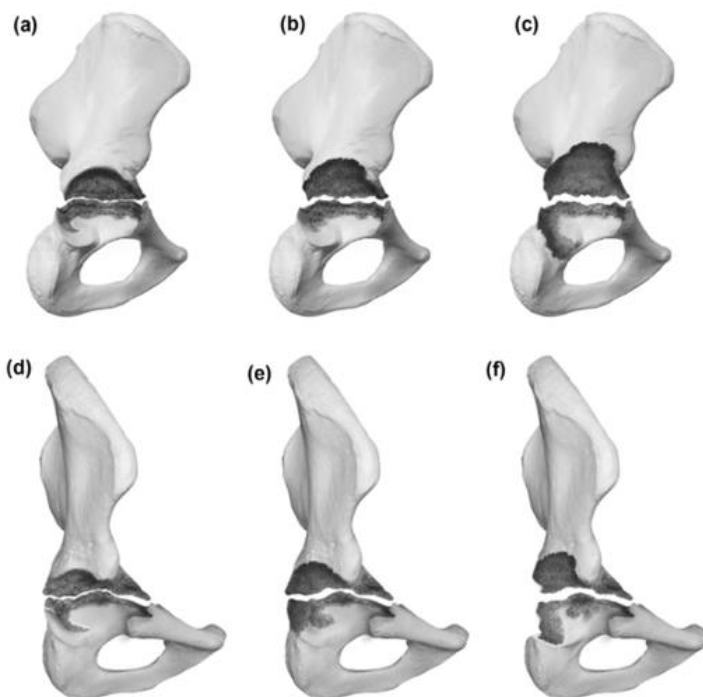


Abbildung 2: acetabuläre Knochendefekte vom Typ 4 nach Wirtz et al. [9]. Ansicht von lateral (a-c) bzw. im 45 ° Winkel von ventral (d-f). Kennzeichen von Typ 4 Defekten ist ein nicht mehr tragfähiger vorderer und hinterer Pfeiler mit begleitender Becken-

diskontinuität. Die Subklassifikationen A (Abb. 2a, 2d; kranio-lateraler Pfannenerker tragfähig), B (Abb. 2b, 2e; kranio-lateraler Pfannenerker mit Knochendefekt bis max. 10 mm in der Vertikalebene) und C (Abb. 2c, 2f; kranio-lateraler Pfannenerker mit Knochendefekt größer 10 mm in der Vertikalebene) ermöglichen eine detailliertere Einteilung.

Oftmals wird das genaue Ausmaß der acetabulären Defekte erst intraoperativ sichtbar und kann präoperativ nur abgeschätzt werden. Die Tragfähigkeit der verbliebenen Knochensubstanz kann häufig durch die präoperative nativradiologische Bildgebung bzw. computertomographische Schnittbildgebung nicht abschließend beurteilbar sein.

Grundsätzlich ist bei der Indikation für eine operative Revision der acetabulären Komponente bei ausgeprägten Knochendefekten zwischen einer aseptischen und einer septischen Lockerung zu unterscheiden. Im ersten Fall handelt es sich um eine

multifaktoriell bedingtes Implantatversagen der einliegenden acetabulären Komponente. Hier steht zunächst die Explantation des einliegenden acetabulären Implantats an, mit Ausschluss einer zusätzlichen Lockerung der femoralen Komponente. Bei intraoperativer Bestätigung der fehlenden Möglichkeit einer Rekonstruktion mit standardmäßig verfügbaren Revisionsimplantaten, erfolgt die Implantation eines Großkopfes/Liners auf den Kopf der einliegenden femoralen Komponente zum Schutz des Acetabulums und hierdurch Erhalt der Weichteilspannung.

Im Falle einer septischen Lockerung oder chronischen periprothetischen Infektion mit fest einliegendem oder gelockertem (Revisions-)Implantat, jedoch mit fehlender Möglichkeit des Erhalts des einliegenden Implantates, besteht zunächst die Notwendigkeit zur Explantation des gesamten einliegenden Fremdmaterials. Bei fest integrierten Implantaten zeigt sich das genaue Ausmaß der Defektsituation erst nach Explantation der einliegenden Komponente sowie Débridement des Implantatlagers. Oftmals kann nach septischer Explantation intraoperativ bereits die Defektsituation und die Tragfähigkeit der verbliebenen Knochensubstanz erfasst werden. Vor Planung einer Reimplantation muss hier aber zusätzlich eine Infektkonsolidierung gegeben sein.

Hierbei sollte sowohl im Fall einer septischen Lockerung als auch im Fall einer aseptischen Lockerung bereits bei der ersten/initialen Revisionsoperation eine sorgfältige Präparation des zukünftigen Implantatlagers mit Entfernung von eventuellen periartikulären Ossifikationen erfolgen.

Unmittelbar postoperativ erfolgt anschließend eine postoperative Dünnschicht-CT-Bildgebung des Beckens mit einer Schichtdicke von 1 mm. Hierbei ist es essenziell, dass das gesamte knöcherne Becken abgebildet wird, um die verbliebenen ipsilateralen Landmarken sowie die Geometrie des kontralateralen Acetabulums zu erfassen. Die erhaltenen Daten sind hierbei erforderlich, um die bestmögliche Implantatpositionierung zur Rekonstruktion des Drehzentrums, eine Defektaugmentation und das Design der Ileumlasche(n) festzulegen.

Trotz des weiterhin bestehenden Bedarfs gibt es aktuell keinen Goldstandard für die optimale Versorgung von acetabulären Knochendefekten. Dieser Umstand wird durch die Vielfalt der unterschiedlichen Behandlungsstrategien und Implantatdesigns verdeutlicht. Zur Rekonstruktion stehen, in Abhängigkeit der individuellen Defektausprägung und der Kenntnisse und Fähigkeiten des Operateurs, grundsätzlich metallene Augmente, ovale acetabuläre Komponenten, Abstützschalen, ggf. in Kombination mit Allografts, zur Verfügung [9–12].

Auch in Abwesenheit eines Goldstandards ist hierbei die Versorgung mittels patientenindividueller Implantate innerhalb der vergangenen Jahre eine valide Behandlungsstrategie bei Patienten mit fortgeschrittenen oder ausgeprägten acetabulären Knochendefekten geworden [1, 13]. Wobei die bisherigen Publikationen in Abhängigkeit der zugrundeliegenden Klassifikation unterschiedliche Versorgungsstrategien und Implantatdesigns, besonders im Hinblick auf die Anzahl der Ileumlaschen, wählen.

Bedingt durch die oben dargelegten Ausführungen ergeben sich verschiedene Fragestellungen. Allen voran muss hier die Frage beantwortet werden, ob eine Versorgung von ausgeprägten acetabulären Knochendefekten durch individuelle Sonderimplantate reproduzierbar möglich ist, bzw. wie die postoperative Funktion einzuschätzen ist, wie hoch die Komplikationsrate ist, welche Komplikationen hier im Detail zu erwarten sind und ob es veränderliche präoperative Risikofaktoren für ein Implantatversagen gibt. Zudem ist zu beantworten, wie man Patienten nach Therapieversagen, d.h. Notwendigkeit einer Explantation des individuellen Sonderimplantates, und Wunsch einer Reimplantation behandelt bzw. welche intraoperativen Besonderheiten für eine erfolgreiche Reimplantation grundsätzlich zu beachten sind.

3. Publikationsgrundlage der vorliegenden kumulativen Habilitationsschrift

Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG (2019) Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. Arch Orthop Trauma Surg. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03318-0>

Zielsetzung der Arbeit:

Ein fortgeschrittener acetabulärer Knochenverlust mit oder ohne begleitende Beckendiskontinuität bleibt eine Herausforderung in der Revisionsendoprothetik des Hüftgelenks. Das Ziel dieser Studie ist die Evaluation der mittelfristigen Ergebnisse von aufeinanderfolgenden Patienten mit acetabulären Knochendefekten vom Typ III nach Paprosky, mit oder ohne zusätzliche Beckendiskontinuität, und Notwendigkeit eines revisionsendoprothetischen Eingriffs mit Implantation eines sonderangefertigten, patientenindividuellen acetabulären Implantates sowie der Vergleich der erhobenen Ergebnisse mit der aktuellen Literatur.

Material und Methoden:

68 Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten (Paprosky Typ IIIa oder IIIb) und Notwendigkeit einer revisionsendoprothetischen Versorgung wurden in die Studie eingeschlossen. Die Konstruktion aller Implantate erfolgte auf Grundlage einer Dünnschicht-Computertomographie des Beckens. Es wurden die Visuelle Analogskala (VAS), der Harrison Hip Score (HHS) sowie die Daten der klinischen und radiologischen Nachsorgeuntersuchungen herangezogen, um das Outcome zu evaluieren.

Ergebnisse:

Die durchschnittliche Follow-up Zeit nach Implantation betrug 43 Monate (Spannweite: 1-120 Monate). Das Implantatüberleben bei letzter Vorstellung betrug 75 % (51 von 68 Fällen). Eine Überlebenszeitanalyse nach Kaplan-Meier, mit Explantation des sonderangefertigten Implantates als Endpunkt, zeigte eine Überlebensrate von 82,7 % (3 Jahre) und 77 % (5 Jahre). Patienten mit alleiniger Revision der acetabulären Komponente zeigten eine signifikant höhere Überlebensrate (p 0,012). Die Gesamtrevisionsrate betrug 36,7 %. Die Reinfektionsrate betrug 34,4 %. Die

postoperativen Komplikationen beinhalteten 15 periprothetische Infektionen (22 %), 7 Luxationen (10,2 %) und 2 aseptische Lockerungen (2,9 %). Der durchschnittliche VAS bei letzter Vorstellung betrug 1,45 im Vergleich mit 3,2 unmittelbar präoperativ, wohingegen der durchschnittliche HHS sich von präoperativ 21,1 Punkten auf 61 Punkte postoperativ bei letzter Vorstellung verbesserte. Die Änderungen auf beiden Skalen war signifikant ($p < 0,001$).

Schlussfolgerung:

Die acetabuläre Defektrekonstruktion mit sonderangefertigten, patientenindividuellen Implantaten stellt, vor dem Hintergrund jüngerer Publikationen, eine gute - wenn auch kostenintensive - Behandlungsstrategie mit klinisch und nativradiologisch zufriedenstellenden Ergebnissen dar.



Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss

F. S. Fröschen¹ · T. M. Randau¹ · G. T. R. Hischebeth² · N. Gravius¹ · S. Gravius^{1,3} · S. G. Walter¹

Received: 23 July 2019 / Published online: 9 December 2019
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

Abstract

Introduction Severe acetabular bone loss, both with or without pelvic discontinuity, remains a challenge in revision total hip arthroplasty (RTHA). The goal of our study was to evaluate the mid-term results for consecutive patients with Paprosky III acetabular bone loss with or without pelvic discontinuity who needed RTHA with custom-made acetabular implants and to compare the results to those of other studies.

Materials and methods Sixty-eight (68) patients with severe acetabular bone loss (Paprosky Type IIIa and IIIb), who required RTHA, were included in our study. All prostheses were constructed on the basis of thin-layer computed tomography (CT) scans of the pelvis. The visual analogue scale (VAS), Harrison hip score (HHS), and clinical and radiographic follow-up assessments were used to evaluate the outcome.

Results The average follow-up time was 43 months (range 1–120 months). Implant survival at last follow-up was 75% (51 of 68). Kaplan–Meier survival analysis, with explantation as the endpoint, revealed survival rates of 82.7% (3 years) and 77% (5 years). Patients with revision of the acetabular component only had a significant higher survival rate (p 0.012). Overall revision rate was 36.7%. Reinfection rate was 34.4%. Complications included 15 (22%) periprosthetic joint infections (PJI), 7 dislocations (10.2%), and 2 aseptic loosening (2.9%). Mean VAS at last follow-up was 1.45 compared to 3.2 preoperatively, while mean HHS improved from 21.1 points preoperatively to 61 at last follow-up. The change in both scores was thus significant ($p < 0.001$).

Conclusion Defect reconstruction with custom-made modular acetabular implants can be a good, nevertheless expensive, treatment option with clinically and radiologically satisfying results in comparison to recent studies in the literature. Nevertheless, high postoperative complication rates, especially in terms of PJI, remain a challenge.

Keywords Revision hip arthroplasty · Pelvic discontinuity · Acetabular bone loss · Custom-made implant · Defect reconstruction

✉ F. S. Fröschen
Frank.Froeschen@ukbonn.de

¹ Department of Orthopaedics and Trauma Surgery, University Hospital Bonn, Sigmund-Freud-Straße 25, 53127 Bonn, Germany

² Institute of Medical Microbiology, Immunology and Parasitology, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

³ Orthopaedic and Trauma Surgery Centre, University Hospital Mannheim, Medical Faculty Mannheim of the University of Heidelberg, Mannheim, Germany

Introduction

Total hip arthroplasty (THA) is currently still one of the most successful orthopaedic options in patients with osteoarthritis of the hip and failed conservative treatment. Worldwide, over 1 million total hip arthroplasties are performed per year [1]. The results from previous studies, however, reveal that revision rates of up to 12% can be expected 10 years after the procedure [2–4]. In view of the rising numbers of THAs, these recent studies thus predict a significant increase in the number of revision total hip arthroplasties (RTHAs). A common reason for revision surgery is loosening of the acetabular component of the prosthesis with subsequent periacetabular bone stock loss. This loss

of bone stock also remains the main problem in acetabular revision surgery [2, 5].

The general principles followed in the treatment of severe periacetabular bone loss include stable restoration of the continuity between the ischium and the ileum, with reconstruction of the anatomical hip centre [6]. Previous studies have described several options available for reconstruction, such as metal augments, oblong acetabular components, reinforcement rings, or allografts [2, 3, 5, 7–9].

Currently, there is no gold standard for the treatment of severe bone loss. This circumstance is also reflected by the variety of treatment options described for such cases. The most common complications of RTHA in the setting of severe bone loss still remain (aseptic) component loosening with dislocation and migration, periprosthetic joint infections (PJI), and implant failure of the implanted megaprotheses [2, 5].

Regardless of the method used, the main goal of RTHA is to achieve good clinical function and stable integration of the implant. In patients with massive periacetabular bone loss, standard implants often do not fit well, or fail to reconstruct the anatomical hip centre. Such ill-fitting or poorly positioned prostheses can thus increase implant failure, with severe consequences for the patient, e.g., due to immobilization.

An alternative, but expensive treatment option available for patients with massive periacetabular bone loss is, therefore, the use of custom-made acetabular components designed on the basis of data from recent thin-layer CT scans of the patient's pelvis. The advantage of custom-made implants is that they offer an individualized treatment strategy because the hip centre, cup orientation, and flange geometry can be adapted to the patient's individual geometry for the best possible fixation of the implant on the remaining bone stock. Custom-made implants, hence, allow a mechanically stable primary fixation that supports healing of the discontinuity and, consequently, optimizes secondary fixation of the implant after healing (biological fixation).

We hypothesized that by rebuilding the acetabular bone stock and restoring the centre of rotation (COR) in pelvic discontinuity with a custom-made acetabular component, (1) the overall implant survival rate and (2) the clinical (functional) and radiological results in our cases would be comparable to those published in the current literature for reconstruction procedures with custom-made implants.

Materials and methods

Patients

Between December 2008 and September 2018, 68 consecutive patients with a Paprosky III or AAOS type III/IV

periacetabular defect were included in our retrospective study. Inclusion criteria were the need for revision surgery due to implant failure with a periacetabular bone defect and the unfeasibility of biological downsizing or implantation of standard implants, such as a cranial socket or a modular revision system. No patient was excluded, because of patient-related characteristics such as number of previous surgeries. In these patients, a two-stage procedure was performed, and a CT scan was carried out after explantation of the existing acetabular component. The study was approved by our local institutional review board (Institutional Ethics Committee, No. 226/13).

Between surgeries, patients were managed at home with the help of a mobile nursing service or in stationary short-term care, depending on their wishes, their family support and their social environment after comprehensive consultation with our inhouse social service team.

Custom-made implants

A thin-layer CT scan was performed preoperatively to acquire detailed planning shots. Figure 1 exemplifies the preoperative planning procedure. This CT scan must encompass the entire pelvis, including both iliac crests, so that a three-dimensional reconstruction of the patient's pelvis can be created. The remaining (ipsilateral) landmarks around the defect were used in conjunction with the geometry of the contralateral hip joint to reconstruct the acetabula and to find the original COR. In addition, these data were used to design the most suitable flange geometry and cup position for the custom-made prosthetic component. For optimal orientation, the inclination of the cup was set to 45°, and the anteversion of the cup was set to 10°. After the best possible cup position had been established, the best directions and axes for primary stability were determined for the polished screws (Ø 8 mm). Where technically feasible, the screw heads ended in counterbore holes. The drilling axes for the screws aimed for the remaining stable bone of the ilium and pubis. The flange geometry was adapted to the remaining bone stock. One to three flanges were used to prevent medial migration of the implant. The flanges were additionally fixated with 6.5-mm cancellous screws. In general, either two flanges, or a flat monoflange with large contact area, adapted to the ilium and ischium, were used (Figs. 1, 2). Once the planning proposal had been finalized, the operating surgeon could either suggest modifications or confirm construction of a clay prototype. An implant blank was subsequently manufactured with the help of an EBM (electron beam melting) procedure. The component was built up, layer-by-layer, by melting metal powder (TiAl6V4) with an electron beam. Through this process, a homogeneous implant structure can be achieved with very good static and dynamic strength values. Afterwards, a five-axis milling machine was used to modify the blank

Fig. 1 Exemplary preoperative planning proposal with a monoflange (a) and a triflange (b) design. In b, the pole screws, respectively, the screw needed for fixation to the pubis, are numbered 1–4

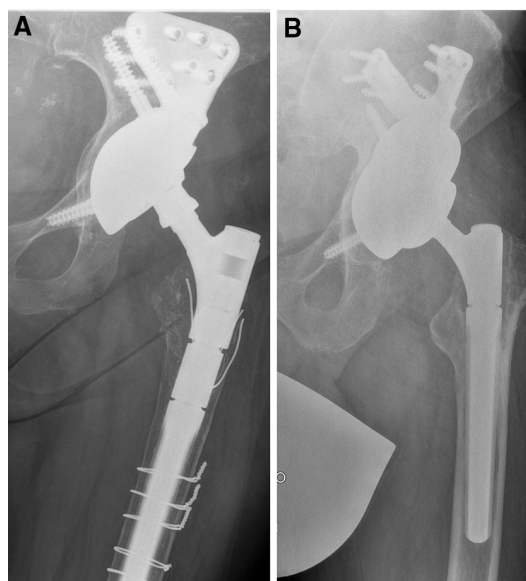
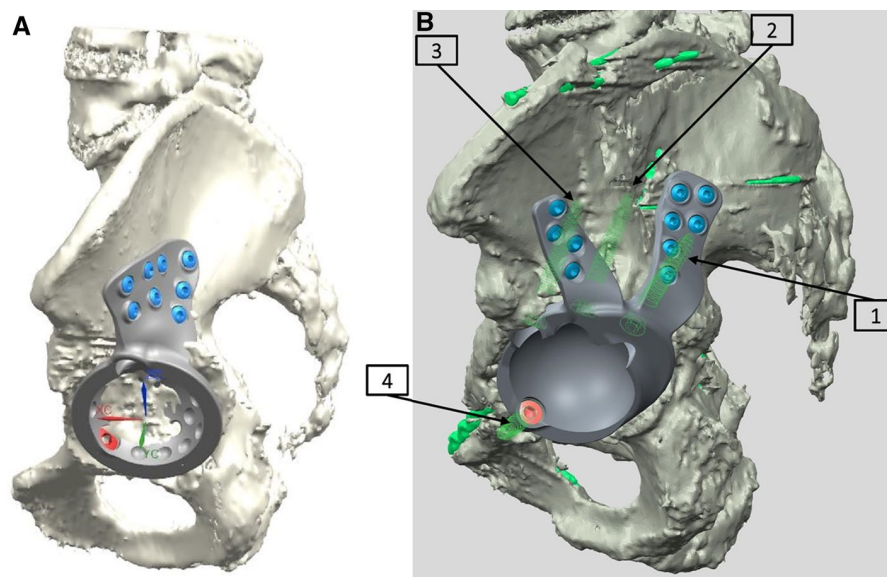


Fig. 2 Postoperative radiological images of a monoflange (a) and a triflange (b) design

according to the CAD data from the planning CT. For best possible osseointegration of the implant, the implant surface facing the bone either consisted of a highly porous structure based on a titanium alloy (EPORE®, Implantcast), or was covered with a macroporous 3D coating (AQ implants), a porous plasma spray coating underneath an additional outer layer of hydroxyapatite (Zimmer Biomet), or an approximately 300- μ m-thick TiRC (titanium rough coating) coating on the entire outside surface of the shell (Peter Brehm). In the last named option, the TiRC coating was composed of pure titanium that had been applied by vacuum plasma

spray technique (VPS). The custom-made implants used in this study were manufactured by Peter Brehm ($n = 50$) (Peter Brehm GmbH, Weisendorf, Germany), Implantcast ($n = 4$) (Implantcast GmbH, Buxtehude, Germany), Biomet ($n = 3$) (Zimmer Biomet Deutschland GmbH, Freiburg im Breisgau, Germany), and AQ Implants ($n = 11$) (AQ Implants GmbH, Ahrensburg, Germany).

Surgical technique

The operative procedures were performed through a lateral, transgluteal ($n = 42$, 61.7%), or a posterolateral approach ($n = 26$, 38.2%). If possible, the pre-existing approach was used and, if necessary, extended proximally and distally for best visualization of the acetabular bone defect. If explantation of the femoral implant was not necessary, a liner was used to protect the conus to avoid an additional loss of leg length and to prevent interference during planning. In cases with PJI, all inlying components were explanted, followed by radical surgical debridement of the site. A two- or multi-stage procedure, according to Wimmer et al., was performed in these patients [10].

The following surgical technique was used during reimplantation: first, the pelvic discontinuity or the acetabular defect was visualized after complete circumferential exposure of the remaining bone and removal of the fibrotic pseudocapsula. To improve revitalization and to ensure that the surrounding bone was vital, the bone was then debrided. In all patients, morselized cancellous allografts were used to fill cavity defects with the impaction bone grafting technique. Afterwards, the iliac wing was prepared for the adaption of the flanges to the bone, allowing indirect positioning of the cup in the defect. The sciatic nerve was visualized during the

approach and special care was taken to protect the superior gluteal artery and nerve beavor, elevating the gluteus medius and minimus from the iliac wing. The screw hole in the pubis was used to establish a temporary three-point fixation for best possible reconstruction of the COR. If X-ray imaging confirmed correct positioning of the implant, one to two, 6.5 mm, cancellous stabilization screws were used to fixate the flanges to the iliac wing, then angle-stable, 8 mm, pole screws were used for fixation of the implant to the remaining acetabular bone stock. Subsequently, 6.5-mm cancellous stabilization screws were placed in the remaining empty screw holes of the flanges to achieve best possible fixation of the flanges. After primary stable fixation of the implant and X-ray imaging, either a polyethylene cup ($n = 20$) or a dual-mobility cup ($n = 48$) was cemented into the implant (anteversion 10° , inclination 45°). In patients with an intraoperative stable situation without tendency towards (partial) dislocation and good soft tissue tensioning, a plain liner was used, otherwise (insufficient soft tissue tensioning, with or without intact hip abductors/need for proximal femoral replacement) a dual-mobility cup was used.

In cases, with a long interval between explantation and reimplantation, another CT scan was carried out preoperatively to verify the fit of the implant.

Clinical and radiological follow-up

Clinical and radiographic follow-up assessments were performed postoperatively at 6 weeks, 6 months, and 1 year, and, thereafter, in 1-year intervals. The Harrison Hip Score (HHS) and the visual analogue scale (VAS) were assessed preoperatively and again postoperatively at 6 weeks and at final follow-up [11]. The evaluation of the pre- and postoperative radiological imaging was carried out by three independent examiners in respect to new osteolysis, significant or progressive radiolucent lines in comparison with previous images, changes of the COR, and migration of the acetabular or femoral prosthesis component.

The definitions of the THA complication work group were used to evaluate postoperative complications [12]. Implant failure was defined as an increasing change of the COR (> 4 mm), screw failure, or material failure, as published by Roessler et al. [13].

Outcome analysis

To evaluate the outcome of the intervention and to confirm the hypothesis of the study, the rate of implant failure for any reason was assessed. This included failure as a result of (recurrent) PJI or aseptic loosening with a change in the radiological landmarks. The treatment success rate was thus the rate of surviving implants.

For correlation and comparison with relevant literature, a “PubMed”-search for studies on custom-made acetabular components and trabecular titanium implants was performed using two Boolean Search Strings: “custom-made AND revision arthroplasty AND acetabulum” and “trabecular titanium AND revision arthroplasty AND acetabulum”. Further relevant studies were identified by references in detected studies.

Statistical analysis

Data were collected in Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Richmond, USA). Statistical analysis was carried out with SPSS statistics 25 for Windows (SPSS, Inc, an IBM company, Chicago, IL). Descriptive statistics, including arithmetic mean value and standard deviation were calculated. Data are given as means \pm standard deviation (SD) and ranges, if not indicated otherwise. For comparison of the VAS, HHS, intraoperative blood loss, hospital stay and surgery time, a paired two-tailed t test ($p < 0.05$) was performed. A Kaplan–Meier survival analysis with the end-point explantation is shown in Figs. 1 and 2a, b, respectively and the need for revision surgery (Fig. 2c, d) was calculated to assess the survival rate. The log-rank test was used to assess statistical significance between two different subgroups ($p < 0.05$). For categorical variables, Fisher’s exact chi-square analysis was used to test for an association ($p < 0.05$). Pearson’s correlation was calculated and tested for statistical significance, to evaluate a possible correlation between time, between explantation and reimplantation and the variables surgery time, intraoperative blood loss and HHS at last follow-up ($p < 0.05$).

Results

Clinical reevaluation

Sixty-eight (68) patients received custom-made acetabular implants. For demographic data, see Table 1. The time between preoperative planning request and confirmation of the implant order was 25.6 ± 14 days. The required time between confirmation of the order to completion of the custom-made products and implantation was 93.7 ± 68.2 days. There was no statistically significant relationship between the time between explantation and reimplantation and the variables surgery time, intraoperative blood loss and HHS at last follow-up ($p > 0.25$). The average duration of surgery was $229 \text{ min} \pm 69.7 \text{ min}$. The average stay in hospital was 18.9 ± 10.6 days (range 6–54 days).

In total, the mean number of previous hip surgeries for any reason before implantation of the custom-made implants had been five (range 1–43; 95% CI 3.5–6.5).

Table 1 Descriptive summary of the clinical and laboratory data at admission (*)

Number of patients	68 (49 W, 19 M)
Age* (range) [years]	69.80 ± 11.58 (27–89)
BMI* (range) [kg/m ²]	27.29 ± 3.92 (18.93–39.18)
Intraoperative blood loss [ml]	1247.1 ± 437.5 (600–3000)
Acetabular defect (Paprosky): IIIA/IIIB*	28 (41.2%)/40 (58.8%)
Type of revision: acetabular revision/THA revision	28 (41.2%)/40 (58.8%)
Hospital stay (range) [days]	18.9 ± 10.6 (6–54)
Surgery time (cutting/suture) [min]	229 ± 69.7 (95–400)
Postoperative leg length [cm]	– 1.22 ± 1.0 (–4–0)

The HHS improved from 21.1 ± 10.1 points (range 12–56), preoperatively, to 50.2 ± 7.1 points (range 35–68), 6 weeks postoperatively. The mean HHS score at last follow-up was 61.0 ± 13.8 points (range 20–86). The mean improvement was 39.9 ± 12.7 points (range 2–71).

The VAS changed from 3.2 ± 1.4 points (range 1–8), preoperatively, to 3.2 ± 1.5 points (range 0–6), 6 weeks postoperatively, to 1.5 ± 1.5 points (range 0–5) at last follow-up. The mean decrease was 1.6 (95% CI 1.1–2.1) points.

The improvement in the HHS score and the decrease in the VAS score were both statistically significant ($p < 0.001$).

Postoperative complications

In 51 of the 68 cases (75%), reimplantation of a custom-made prosthetic hip component was considered clinically successful. There were 17 cases in which treatment failure occurred with need for explantation of the custom-made implant. In these 17 cases, 15 patients had needed explantation of the custom-made implant because of a PJI, and 2 patients had needed explantation because of aseptic loosening of the implant. Both had a severe IIIB defect and a severe osteoporosis. In the group of 15 patients who had required explantation because of PJI, ten explantations had been necessary due to recurrent PJI (34.4%; 10 out of 29 patients; Table 2). In the five remaining explantations in this category, one had been necessary due to PJI that had been diagnosed 3 weeks after surgery. The explantation in this case had been performed 1.5 months later, after failed DAIR (debridement, antibiotics, irrigation, and retention). On average, explantation due to PJI had been performed after 40.2 ± 33.2 months (range 1.5–100 months). In the two cases with aseptic loosening, the explantations had been performed after 35 and after 86 months, respectively. No significant intraoperative complications occurred during implantation of the custom-made acetabular implants. No vessel or nerve lesions were reported.

Seven (7) patients had postoperative hip dislocations (10.3%). In three cases, closed reduction was possible, whereas three of the other patients needed open reduction and conversion to a dual-mobility cup after repeated

dislocations. In the remaining case, although open reduction had also been necessary, the patient had not experienced any subsequent dislocations. After treatment, no recurrent dislocation occurred.

Two other patients had postoperative traumatic interprosthetic femur shaft fractures with need for osteosynthesis. One of these patients needed explantation of the prosthesis 8 months later because of PJI. Another two patients had needed revision surgery because of wound dehiscence, due, in one case, to postoperative haematoma. In total, 25 of the 68 patients included in this study underwent revision surgery up to the time of the last follow-up. In total, the revision rate was thus 36.7% (Table 2).

The mean follow-up duration was 43.0 ± 34.7 months (range 1.5–120 months). 58 patients had a follow-up > 24 months. Ten (10) < 24 months, three of them needed explantation 1.5, 3 and 5 months, respectively, after surgery. Ten (10) patients (14.7%) were lost to follow-up, despite our best efforts to contact them.

Radiological evaluation

In 51 patients, the acetabular components showed no signs of horizontal or vertical migration, implant rotation, or screw breakage at last follow-up. In two cases, a vertical migration of the acetabular component was visible with a change of the COR > 4 mm. This was regarded as aseptic loosening.

Outcome evaluation

Fifty-one (51) of the 68 RTHAs with custom-made implants (75%) were considered clinically successful (Fig. 3), as opposed to 15 implant failures due to periprosthetic joint infection and 2 implant failures due to aseptic loosening. Overall, the clinical failure rate was thus 25%.

To evaluate the survival rate of the custom-made implants a Kaplan–Meier survival analysis was conducted. According to the Kaplan–Meier survival analysis, with the endpoint defined as implant failure, the survival rate of the custom-made acetabular implants was 82.7% after 3 years, 77.0% after 5 years, and 66.2% after 7 years (Fig. 4). The median

Table 2 Descriptive summary of subgroups

	Indication for revision		Type of revision arthroplasty		Type of liner	
	Aseptic loosening	Septic loosening	THA revision	Acetabular revision	Plain liner	Dual-mobility liner
Number of patients	39 (57.3%) (28 F; 11 M)	29 (42.7%) (21 F; 8 M)	40 (58.8%) (29 F; 11 M)	28 (41.2%) (20 F; 8 M)	20 (29.4%) (15 F; 5 M)	48 (70.6%) (34 W; 14 M)
Age* (range) [years]	69.3 ± 11.5 (37–89)	70.5 ± 11.9 (27–83)	69.1 ± 12.7 (27–85)	70.1 ± 9.9 (52–89)	69.6 ± 12.7 (27–82)	69.8 ± 11.2 (37–89)
BMI* (range) [kg/m ²]	26.6 ± 3.9 (19–39)	28.3 ± 3.6 (22–39)	27.7 ± 3.8 (22–39)	26.7 ± 4.0 (18–38)	26.4 ± 4.2 (18–38)	27.7 ± 3.7 (21–39)
Acetabular defect (Paprosky): IIIA/IIIB	14/25	13/16	16/24	11/17	4/16	19/29
Type of revision: acetabular revision/THA revision	28/11	0/9	–	–	11/9	17/31
Reason for custom-made implant: septic/aseptic	–	–	11/29	0/28	8/12	21/27
Number of previous surgeries (range)	2.9 ± 1.4 (1–6)	7.6 ± 8.3 (2–43)	6.3 ± 7.6 (1–43)	3.2 ± 1.3 (1–6)	3.2 ± 1.2 (1–5)	5.7 ± 7.1 (1–43)
Intraoperative blood loss (range) [ml]	1179.5 ± 508 (600–3000)	1337.9 ± 300 (700–2200)	1362.5 ± 469 (600–3000)	1082.1 ± 330 (600–1900)	1090 ± 229 (700–1500)	1312.5 ± 486.6 (600–3000)
Hospital stay (range) [days]	16.4 ± 9.8 (6–54)	22.3 ± 10.8 (9–54)	22.1 ± 11.9 (6–54)	14.3 ± 5.4 (7–31)	17.4 ± 6.3 (8–31)	19.6 ± 11.9 (6–54)
Surgery time (cutting/suture) [min]	213 ± 71 (95–400)	250 ± 62 (137–379)	257 ± 73 (137–400)	188 ± 38 (95–276)	202 ± 39.6 (128–276)	240.5 ± 76.4 (95–400)
VAS preoperative (range)	3.6 ± 1.5 (1–8)	2.6 ± 1 (1–5)	2.8 ± 1.1 (1–5)	3.7 ± 1.7 (1–8)	3.2 ± 1.4 (1–6)	3.2 ± 1.4 (1–8)
VAS postoperative (range) ^a	1.4 ± 1.5 (0–5)	1.5 ± 1.5 (0–4)	1.8 ± 1.5 (0–4)	1.5 ± 1.5 (0–5)	1.9 ± 1.6 (0–5)	1.5 ± 1.5 (0–5)
HHS preoperative (range)	24.2 ± 10.1 (12–56)	17.2 ± 8.1 (12–46)	19.9 ± 10.5 (12–56)	22.8 ± 9.6 (12–46)	21.9 ± 11.4 (12–46)	20.7 ± 9.7 (12–56)
HHS postoperative (range) ^a	62.9 ± 12.9 (20–83)	57.7 ± 14.8 (20–86)	59.6 ± 13.7 (20–86)	62.6 ± 14.1 (20–83)	65.1 ± 13.1 (44–86)	59.3 ± 13.9 (20–83)
Revision (no. of patients) [#] : implant-related /non-implant-related	6/6	3/10	6/13	3/3	5/7	5/8
Postoperative leg length [cm] ^a (range)	−0.97 ± 1.0 (−4 to +1)	−1.55 ± 1.0 (−4 to 0)	−1.49 ± 1.1 (−4 to 0)	−0.84 ± 1.0 (−3 to +1)	−0.67 ± 0.8 (−2 to +1)	−1.44 ± 1.1 (−4 to +1)
Dislocation*: (sole closed reduction ^b /open reduction ^c /conversion ^d)	4 (1/3/2)	3 (2/1/1)	5 (2/3/2)	2 (1/1/1)	5 (2/3/3)	2 (1/1/0)
Explantation ^e (no. of patients): implant related (aseptic)/non-implant related (septic)	1/5	1/10	2/13	0/2	2/7	0/8

^aAt last follow-up; [#]reason for initial revision surgery: implant-related (aseptic loosening, dislocation, implant failure) vs. non-implant-related (PJI, haematoma, wound dehiscence); *No. of patients with dislocation; ^bcases which needed sole closed reduction; ^ccases with need for open reduction; ^dcases with need for conversion to dual-mobility liner due to repeated dislocation; ^eNo. of patients, who needed explantation

survival rate according to the Kaplan–Meier survival analysis was 8.25 years.

Subgroup analysis

For better outcome analysis, we defined several subgroups (Table 2).

In 28 of the patients, only the acetabular component was replaced during revision surgery, while, in 40 of the patients, both the femoral and acetabular components had to be revised. Patients with revision of the femoral and acetabular component had a statistically significant higher intraoperative blood loss, a longer hospital stay, a longer surgery time ($p < 0.002$) and a higher risk for postoperative

Fig. 3 Preoperative (a), intraoperative (b), and postoperative (c) images demonstrating severe loosening and migration of the acetabular and femoral component and reconstruction with a custom-made acetabular implant

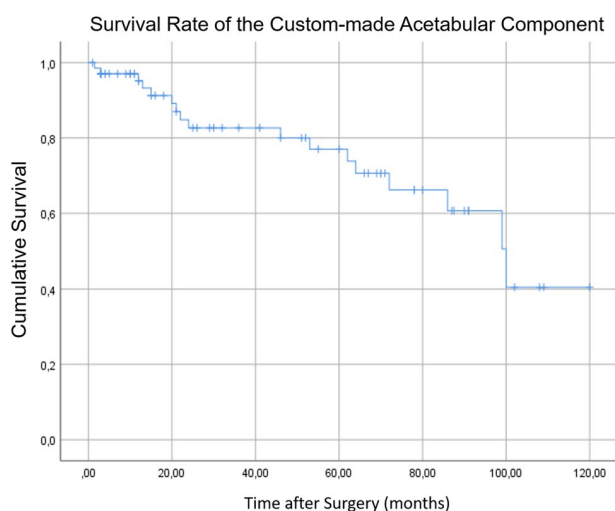


Fig. 4 Kaplan–Meier survivorship for the custom-made acetabular components with the need for explantation as the endpoint

revision ($p: 0.041$), while there was no statistically significant difference in HHS and VAS, postoperatively.

For 39 (57.3%) of the hips, the reason for revision surgery had been aseptic loosening of the previous acetabular component. In the other 29 (42.6%) hips, revision surgery had been due to PJI that had necessitated a two- or multi-staged procedure. Number of patients with dislocation was significantly lower in patients with a dual-mobility liner ($p=0.02$), while there was no association between the type of arthroplasty and dislocation.

In addition, Kaplan–Meier survival analysis was performed for different subgroups (Fig. 5). Log-rank test did show a statistically significant higher survival rate for patients without need for additional revision of the femoral component ($p: 0.012$, Fig. 5a), while reason for revision surgery did not have a statistically significant impact ($p: 0.077$). In addition, Kaplan–Meier analysis with the endpoint need for revision surgery was used to evaluate the influence of implant-related vs. non-implant-related revision surgery on the estimated survival (Fig. 5c, d). There was no difference in the calculated survival of the two different subgroups.

Discussion

Even today, appropriate management of severe acetabular bone loss in association with pelvic discontinuity remains a challenging situation in RTHA. Because treatment success is also determined by the amount and quality of remaining bone stock, a well-fitting implant and an appropriate surgical technique are decisive, as the final goal in RTHA should always be stable fixation of the implant with best possible reconstruction of the COR.

Although the use of custom-made implants is still rare in such cases, previous studies that have used custom-made implants have reported promising results [5, 14–16]. Moreover, the development of custom-made implants on the basis of thin-layer CT scans is continuously evolving. Preoperative detection of pelvic discontinuity and subsequent reconstruction of the bone defect along with stable primary fixation of the implant through intimate contact between the remaining

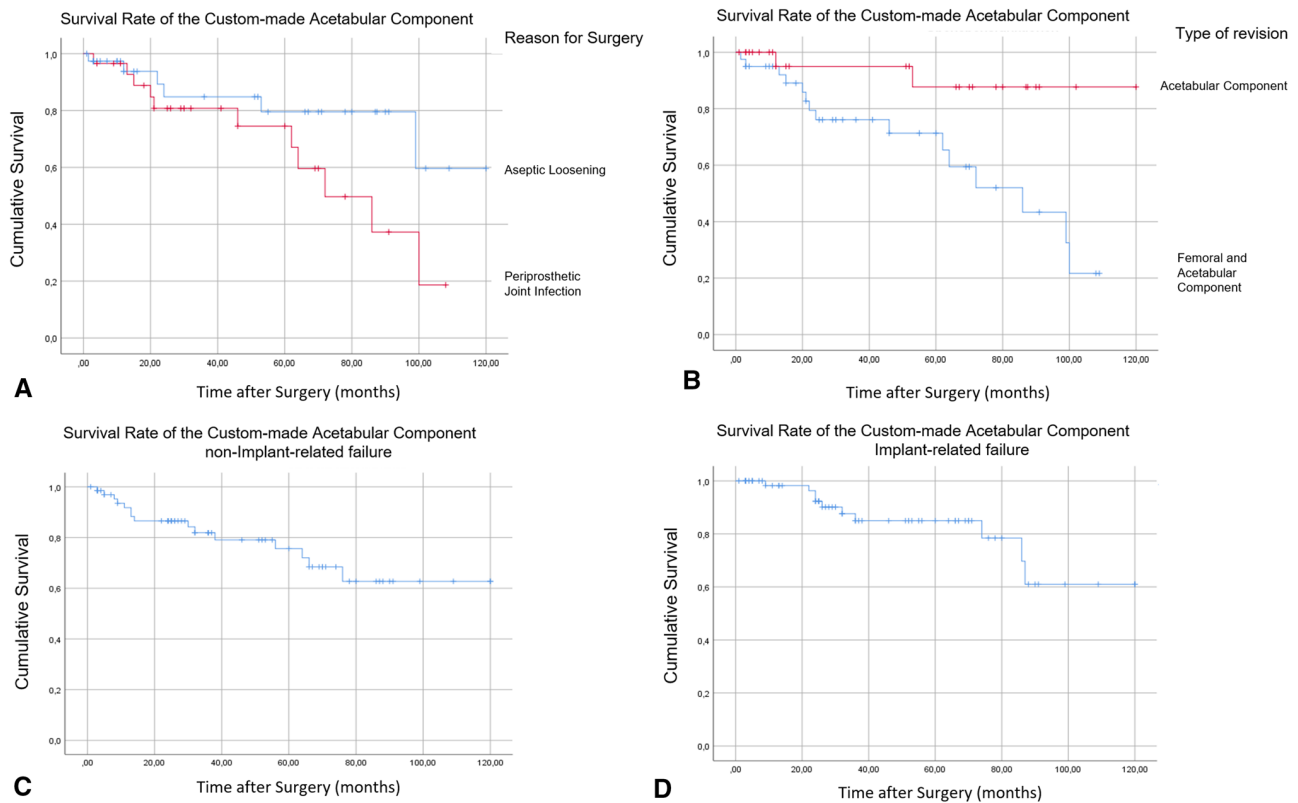


Fig. 5 Kaplan–Meier survivorship for subgroup analysis, with the need for explantation (**a, b**), need for (non-)implant-related revision surgery (**c, d**) as the endpoint

bone stock and the outer implant surface remains crucial to a good outcome. As has been reported in previous studies, the goal of primary fixation is to transfer the mechanical load to the ilium and ischium to provide stability and to promote healing of the discontinuity [5, 14, 17].

The methods using custom-made implants also have disadvantages, such as increased costs in comparison to standard implants, delay in surgery due to production time, need for an extensive surgical approach for implantation, and a long surgery time.

The aim of our study was thus to assess the survival rate and clinical outcome of RTHAs with custom-made implants and to compare the results with those published in the literature. The first part of our hypothesis was that our overall implant survival rate would be comparable to the relevant rates in the literature. In this context, with explantation defined as the endpoint, we found an overall Kaplan–Meier survival rate of 82.7% after 3 years, and of 77% after 5 years. The corresponding failure rates were 17.3% and 23%, respectively.

Our failure rates were higher than those published in comparable studies, which have described failure rates of 0% (Christie et al.), 9% (Taunton et al.) and 11% (Wind et al.), for custom-made implants. However, in contrast to

our study, these studies did not perform a Kaplan–Meier survival analysis with the endpoint as the explantation [8, 9, 14, 18]. It is difficult to identify precisely why the failure rates in these studies were lower than in our study.

Noteworthy, alternative (off-the-shelf-implant) solutions for large acetabular defects such as pure trabecular titanium (TT) implants with metal augmentation and/or cages were reported to yield satisfying overall survival rates as well. De Meo et al. described an overall survival rate of 94% after 5 years and demonstrated that these implants can successfully be implanted in patients with IIIA and IIIB defects [19–22]. Yet, the extent of the acetabular defect according to the Paprosky classification was identified as major risk factor for revision surgery [21]. In fact, it remains to be investigated whether TT implants represent a solid and potentially more cost-efficient treatment solution for complicated large-sized acetabular defects as the studies investigating survival of these implants included Paprosky type III defects to a minor percentage only (Table 3).

Also with the use of custom-made implants, (recurrent) PJI remains a main complication in revision surgery. In our group of patients, explantation of the custom-made implant due to PJI had to be performed in 15 of the 68 cases (22%). In ten cases (14.7%) this had been a reinfection. As previous

Table 3 Complication rate, clinical results and details of current studies for trabecular titanium (TT) cups and custom-made acetabular implants

	No. of hips	Implant type	Follow-up (months)	Acetabular defect (Paprosky or AAOS)	Complications: revision rate ^a /explantations	Dislocation rate	HHS	Implantation survival
De Meo et al. [18]	58	TT cup	48	IIB: 25; IIC: 15; IIIA: 15; IIIB: 9	10.3%/5.2%	5%	83	94% (4 year KM) ^a
Hipfl et al. [21]	34	TM shell/TT cage	47	IIC: 3; IIIA: 7; IIIB: 25	11%/–	6%	71	89% (5 year KM) ^b
Steno et al. [19]	80	TT cage/TT augment	38	I: 9; IIA: 11; IIB: 27; IIC: 6; IIIA: 15; IIIB: 13	6.2%/–	1%	– ^c	– ^c
Gallart et al. [20]	67	TT cup/modular TT augment	30	I: 19; IIA: 19; IIB: 9; IIC: 16; IIIA: 12; IIIB: 4	11.9%/7%	5%	– ^c	90% (5 year KM) ^b
Myncke et al. [27]	25	CMAC	25	III ^d : 25	36%/0%	5%	68	– ^c
Taunton et al. [14]	57	CMAC	65	AAOS IV ^e : 57	35%/9%	21%	75	– ^c
Christie et al. [8]	76	CMAC	53	AAOS III ^e : 39 AAOS IV ^e : 39	22%/0%	16%	82	– ^c
DeBoer et al. [26]	18	CMAC	123	AAOS IV ^e : 28	30%/0%	30%	80	– ^c
Friedrich et al. [5]	18	CMAC	30	IIIB: 18	28%/11%	17%	69	89% (2.5 year KM) ^b
Jones et al. [28]	91	CMAC	25	IIA: 2; IIB: 4; IIIA: 43; IIIB: 47	23%/13%	– ^c	– ^c	87% (2.5 year KM) ^b
Wind et al. [17]	19	CMAC	31	IIIA: 3; IIIB: 16	32%/11%	26%	63	– ^c

[#]For any reason; ^aendpoint explantation; ^bendpoint revision for any cause; ^cnot evaluated; ^dno differentiation between IIIA and IIIB; ^ePaprosky not evaluated; custom-made acetabular component (CMAC); Kaplan–Meier (KM)

studies have outlined [2, 23], possible reasons for this high PJI rate could be the long surgery time, a previous PJI, or the size of the implants. Especially previous PJI could be an important risk factor, considering that in 10 of the 15 patients in our study in the category of explantation due to PJI, the PJI had been recurrent. Therefore, our results are in line with findings from other studies that have reported infection rates of 3–33% [24, 25] in similar cases, although our subgroup Kaplan–Meier analysis did not show a significant difference in survival between those two groups. In this context, it is essential to keep in mind that, even under optimal conditions, a total operation time of 3–4 h is not unusual for RTHA, especially not if the revision of the femoral component is also needed. Myncke et al. and DeBoer et al. reported, in this context, mean overall surgery times of 241 (150–390), respectively, 300 (140–575) min, which is comparable to our results. Nevertheless, subgroup analysis was not performed. Duration of surgery is crucial. Keswani et al. could show that an extended surgery time is a risk factor for complications after revision arthroplasty [26]. Our results are, therefore, in line with the literature

as patients without the need for additional revision of the femoral component had a higher estimated survival rate in the Kaplan–Meier analysis and a significant lower rate of postoperative revision surgery.

The amount of blood loss in extended RTHA is another important factor for preoperative planning. Knowledge is essential for best possible preoperative planning. Today, only scanty data exist for RTHA. For custom-made implants, DeBoer et al. evaluated a mean blood loss of 2060 ml during surgery, which is higher than our mean blood loss [27]. Additional revision of the femoral component caused, in our study, a significant increase in blood loss. To our knowledge, data for TT implants in severe acetabular defects do not exist. Nevertheless, these data might be helpful especially in old and multimorbid patients.

Hip dislocation is a further frequent postoperative problem (Table 3). Although, in our group, the dislocation rate was only 10.2%, three out of these seven patients had needed revision of the cup component, either through implantation of a liner that provided higher constraint or through implantation of a dual-mobility cup. In comparison to dislocation

rates of up to 30% in similar studies for custom-made acetabular components, the results from our study are acceptable, but nevertheless higher than described rates of 1.3–5.2% for TT acetabular components [8, 15, 19–21]. In addition, subgroup analysis revealed that only one patient with sole revision of the acetabular component needed revision of the cup component. This is in line with the literature as Hipfl et al. described the need for revision of the femoral component during initial reimplantation as a statistically significant risk factor (p 0.01) [22].

In summary, our overall revision rate of 36.7% for any kind is nevertheless high, but in line with previous studies, which have described revision rates of 22–36% for custom-made implants [8, 14, 16, 27–29]. However, these are still higher than rates of 1–6% for TT implants (Table 3). A possible explanation might be the extent of the acetabular defect as these studies included patients with type I and II defects, which might, therefore, limit comparability.

Concerning the second part of our hypothesis, in regard to the clinical outcome of the RTHAs with custom-made implants, our results, which showed a significant improvement of 39.9 points for the HHS, from 21.1 points (range 12–56) preoperatively to 61 points (range 20–86) at last follow-up, and a significant decrease of the VAS from 3.2 (range 1–8) preoperatively to 1.5 (range 0–5) at the last follow-up, can also be regarded as comparable to those reported in the relevant literature [8, 14, 15].

These results remain inferior to reported mean HHS scores of 71 (Hipfl et al.) or 83 (De Meo et al.) for TT implants [19, 22]. Nevertheless, as stated above, these studies also include patients with type I or II defects, which has to be considered for direct comparison. With an, in addition, significantly lower revision rate of 6–11%, compared to 34.6% in our study, further studies have to show if TT implants remain an alternative in patients with IIIA and IIIB defects.

Our study does, however, have several potential limitations. The first limitation of our study is its retrospective design without a control group. A second limitation is that the sample size in our study was relatively small for a retrospective study compared to retrospective studies about primary total hip arthroplasty. Nonetheless, our sample size easily equals that of comparable studies; so, to our best knowledge, our study still remains one of the largest studies in this thematic field to date. A third limitation of our study is the circumstance that the studied cohort was heterogeneous in terms of the extent of periacetabular bone loss or pelvic discontinuity and derived from a tertiary endoprosthetic referral centre.

Another point that has to be considered are the costs for the used custom-made implants, which are with 12,000 € significantly higher than those of standard revision implants. Therefore, from a financial point of view, custom-made

implants should only be considered in cases where no other solution is adequate. However, the study was intended to cover a reality-based patient selection without strong restrictions due to inclusion criteria or comorbidities.

Despite somewhat higher implant failure rates, our findings were, nevertheless, in terms of clinical and radiological success, generally consistent with those from similar studies as a recent meta-analysis by Martino et al. could show [16].

Conclusion

In patients with severe acetabular bone loss, custom-made acetabular components may be a promising option to reconstruct the COR and to achieve a mechanically stable reconstruction adapted to the individual bone loss. With these implants, acceptable survival rates and a significantly improved clinical function can be achieved. Nevertheless, complication rates are high for all reconstructive options. The patient and the surgeon must be aware of the possible complications of the described method and must know how to handle them.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they do not have a conflict of interest. No benefits directly or indirectly related to the subject matter of this article have been or will be received from a commercial party.

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Formal consent is not required for this type of study.

References

1. Khanduja V (2017) Total hip arthroplasty in 2017—current concepts and recent advances. *Indian J Orthop* 51:357–358. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_367_17
2. Schmolders J, Friedrich MJ, Michel RD, Randau TM, Wimmer MD, Strauss AC, Kohlhof H, Wirtz DC, Gravius S (2015) Acetabular defect reconstruction in revision hip arthroplasty with a modular revision system and biological defect augmentation. *Int Orthop* 39:623–630. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2533-5>
3. Zuiderbaan HA, Visser D, Sierevelt IN, Penders J, Verhart J, Vergroesen DA (2018) Long-term clinical results of the Metasul metal-on-metal total hip arthroplasty: 12.6 years follow-up of 128 primary total hip replacements. *HIP Int* 28:330–335. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000574>
4. Labek G, Thaler M, Janda W, Agreiter M, Stöckl B (2011) Revision rates after total joint replacement: cumulative results from worldwide joint register datasets. *J Bone Joint Surg Br* 93-B:293–297. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.93B3.25467>

5. Friedrich MJ, Schmolders J, Michel RD, Randau TM, Wimmer MD, Kohlhof H, Wirtz DC, Gravius S (2014) Management of severe periacetabular bone loss combined with pelvic discontinuity in revision hip arthroplasty. *Int Orthop* 38:2455–2461. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2443-6>
6. Gravius S, Pagenstert G, Weber O, Kraska N, Röhrig H, Wirtz DC (2009) Acetabular defect reconstruction in revision surgery of the hip. Autologous, homologous or metal? *Orthop* 38:729–740. <https://doi.org/10.1007/s00132-009-1428-4>
7. D'Antonio JA, Capello WN, Borden LS, Bargar WL, Bierbaum BF, Boetcher WG, Steinberg ME, Stulberg SD, Wedge JH (1989) Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 243:126–137
8. Christie MJ, Barrington SA, Brinson MF, Ruhling ME, DeBoer DK (2001) Bridging massive acetabular defects with the triflange cup: 2- to 9-year results. *Clin Orthop* 393:216–227
9. Berasi CC, Berend KR, Adams JB, Ruh EL, Lombardi AV (2015) Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res* 473:528–535. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3969-z>
10. Wimmer MD, Randau TM, Petersdorf S, Pagenstert GI, Weißkopf M, Wirtz DC, Gravius S (2013) Evaluation of an interdisciplinary therapy algorithm in patients with prosthetic joint infections. *Int Orthop* 37:2271–2278. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-1995-1>
11. Harris WH (1969) Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 51:737–755
12. Healy WL, Iorio R, Clair AJ, Pellegrini VD, Della Valle CJ, Berend KR (2016) Complications of total hip arthroplasty: standardized list, definitions, and stratification developed by the hip society. *Clin Orthop Relat Res* 474:357–364. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4341-7>
13. Roessler PP, Jaenisch M, Kuhlmann M, Wacker M, Johannes Wagenhäuser P, Gravius S, Wirtz DC (2018) The augment-and-modular-cage revision system for reconstruction of severe acetabular defects—two-year clinical and radiographic results. *Int Orthop*. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4271-6>
14. Taunton MJ, Fehring TK, Edwards P, Bernasek T, Holt GE, Christie MJ (2012) Pelvic discontinuity treated with custom triflange component: a reliable option. *Clin Orthop Relat Res* 470:428–434. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-2126-1>
15. Schwarzkopf R, Ihn HE, Ries MD (2015) Pelvic discontinuity: modern techniques and outcomes for treating pelvic disassociation. *HIP Int* 25:368–374. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000270>
16. De Martino I, Strigelli V, Cacciola G, Gu A, Bostrom MP, Sculco PK (2019) Survivorship and clinical outcomes of custom triflange acetabular components in revision total hip arthroplasty: a systematic review. *J Arthroplasty* 34:2511–2518. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.05.032>
17. Goodman GP, Engh CA Jr (2016) The custom triflange cup: build it and they will come. *Bone Jt J* 98-B:68–72. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B.36354>
18. Wind MA, Swank ML, Sorger JI (2013) Short-term results of a custom Triflange acetabular component for massive acetabular bone loss in revision THA. *Orthopedics* 36:e260–e265. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130222-11>
19. De Meo F, Cacciola G, Bellotti V, Bruschetta A, Cavaliere P (2018) Trabecular Titanium acetabular cups in hip revision surgery: mid-term clinical and radiological outcomes. *HIP Int* 28:61–65. <https://doi.org/10.1177/1120700018812992>
20. Steno B, Kokavec M, Necas L (2015) Acetabular revision arthroplasty using trabecular titanium implants. *Int Orthop* 39:389–395. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2509-5>
21. Gallart X, Fernández-Valencia JA, Riba J, Borí G, García S, Tornero E, Combalá A (2016) Trabecular titanium™ cups and augments in revision total hip arthroplasty: clinical results, radiology and survival outcomes. *HIP Int* 26:486–491. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000378>
22. Hipfl C, Janz V, Löchel J, Perka C, Wassilew GI (2018) Cup-cage reconstruction for severe acetabular bone loss and pelvic discontinuity: mid-term results of a consecutive series of 35 cases. *Bone Jt J* 100-B:1442–1448. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B11.BJJ-2018-0481.R1>
23. Schmolders J, Koob S, Schepers P, Pennekamp PH, Gravius S, Wirtz DC, Placzek R, Strauss AC (2017) Lower limb reconstruction in tumor patients using modular silver-coated megaprotheses with regard to perimegaprothetic joint infection: a case series, including 100 patients and review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 137:149–153. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2584-8>
24. Pilge H, Gradl G, von Eisenhart-Rothe R, Gollwitzer H (2012) Incidence and outcome after infection of megaprotheses. *HIP Int* 22:83–90. <https://doi.org/10.5301/HIP.2012.9576>
25. Artiaco S, Boggio F, Colzani G, Titolo P, Zoccola K, Bianchi P, Bellomo F (2015) Megaprotheses in the revision of infected total hip arthroplasty. Clinical series and literature review. *Bull Hosp Jt Dis* 2013 73:229–232
26. Keswani A, Chi D, Lovy AJ, London DA, Cagle PJ, Parsons BO, Bosco JA (2019) Risk factors for and timing of adverse events after revision total shoulder arthroplasty. *Shoulder Elb* 11:332–343. <https://doi.org/10.1177/1758573218780517>
27. DeBoer DK, Brinson MR, Morrison IC (2007) Revision total hip arthroplasty for pelvic discontinuity. *Revis Total HIP Arthroplasty* 89:835–840. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00313>
28. Myncke I, van Schaik D, Scheerlinck T (2017) Custom-made triflanged acetabular components in the treatment of major acetabular defects. Short-term results and clinical experience. *Acta Orthop Belg* 83:341–350
29. Jones CW, Choi DS, Sun P, Chiu Y-F, Lipman JD, Lyman S, Bostrom MPG, Sculco PK (2019) Clinical and design factors influence the survivorship of custom flange acetabular components. *Bone Jt J* 101-B:68–76. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1455.R1>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Fröschen FS, Randau TM, Walter SG, Dally F, Wirtz DC, Gravius S (2022) Custom-made acetabular components (CMAC) beim zweizeitigen Wechsel und bei höhergradigen periacetabulären Knochendefekten. Oper Orthop Traumatol. <https://doi.org/10.1007/s00064-022-00766-7>

Zielsetzung der Arbeit:

Die Implantation von „custom-made acetabular components“ (CMAC) mit direkter Kraftübertragung auf den verbliebenen Knochen in der Hauptbelastungszone stellt eine Behandlungsoption zur Rekonstruktion des „Center of Rotation“ (COR) mit Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik bei Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochenverlusten, mit und ohne begleitende Beckendiskontinuität, mit fehlender Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers und/oder großen supraacetabulären Defekten dar. Das Ziel dieser Arbeit ist die Beschreibung der Operationstechnik unter Angabe von „Tipps und Tricks“ beginnend bei der Planung bis zur operativen Umsetzung und Nachbehandlung mit Thematisierung von intraoperativen „Fallstricken“ und der Behandlung von potenziellen Komplikationen.

Material und Methoden:

Unter Schonung neurovaskulärer sowie muskulärer Strukturen erfolgt ein Eingehen über den vorherigen lateralen oder posterolateralen Zugang. Das Implantatlager wird anhand der präoperativen Planung vorbereitet. Hierbei werden kavitätäre Defekte biologisch augmentiert. Die primär stabile Verankerung erfolgt mit 2 Pfahlschrauben im Os ilium, optional einer zusätzlichen Pfahlschraube im Os pubis zur einfacheren Rekonstruktion des COR sowie Laschenschrauben (optional winkelstabil). Zusätzlich können zementierte Dual-Mobility-Pfannen in Abhängigkeit der intraoperativen Stabilität und insbesondere bei Patienten mit insuffizienter pelvirochantären Muskulatur verwendet werden.

Ergebnis:

Zwischen 2008 und 2018 wurde bei 47 Patienten ein CMAC mit einer großflächig aufliegenden Iliumlasche (Monoflange) bei einem Paprosky Typ III Defekt implantiert. Als Hauptkomplikation ist die periprothetische Protheseninfektion (PPI) zu nennen, welche in 9 von 10 Fällen (90 %) ursächlich für die Explantation war. Der HHS bei letzter Vorstellung verbesserte sich von 21,1 auf 61,5 Punkte. Nativradiologisch

zeigten sich ein Inklinationswinkel von $42,3 \pm 5,3^\circ$, eine Anteversion von $16,8 \pm 6,2^\circ$, sowie ein ΔH von $0,5 \pm 0,2$ mm bei einem ΔV von $17,7 \pm 1,1$ mm als Maß für die vertikale (ΔV) bzw. horizontale (ΔH) Differenz zwischen dem postoperativen COR und dem geplanten bzw. physiologischen COR.

Schlussfolgerung:

Die Anfertigung und Implantation eines CMAC stellt eine Einzelfallentscheidung nach ausführlicher Aufklärung und Information des Patienten zur Remobilisation und Wiederherstellung der Aktivitäten des alltäglichen Lebens dar. Selbst bei detaillierter präoperativer Planung kann es zu Abweichungen des postoperativ erreichten vom geplanten COR kommen. Ursächliche Faktoren für eine Kranialisierung (ΔV) trotz optimaler Planung können zu ausgiebige „Freihand“-Präparationen des Implantatlagere bei der Reimplantation in Kombination mit einer osteopenen bzw. nicht tragfähigen Knochensubstanz sein.

Oper Orthop Traumatol
<https://doi.org/10.1007/s00064-022-00766-7>
 Eingegangen: 15. September 2020
 Überarbeitet: 5. März 2021
 Angenommen: 15. April 2021

© The Author(s), under exclusive licence to
 Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
 Springer Nature 2022

Editor
 Martin Hessmann, Fulda
Zeichner
 H. Konopatzki, Heidelberg



„Custom-made acetabular components“ (CMAC) beim zweizeitigen Wechsel und bei höhergradigen periazetabulären Knochendefekten

Frank Sebastian Fröschen¹ · Thomas Martin Randau¹ · Sebastian Gottfried Walter¹ · Franz Dally² · Dieter Christian Wirtz¹ · Sascha Gravius²

¹ Department of Orthopaedics and Trauma Surgery, University Hospital Bonn, Bonn, Deutschland

² Orthopaedic and Trauma Surgery Centre, Medical Faculty Mannheim of the University of Heidelberg, University Hospital Mannheim, Mannheim, Deutschland

Vorbemerkungen

Der künstliche Ersatz des Hüftgelenks ist die am häufigsten in Deutschland durchgeführte orthopädisch endoprothetische Operation. Weltweit werden aktuell mehr als 1 Mio. künstliche Hüftgelenke implantiert [1]. Die steigenden Zahlen des künstlichen Hüftgelenkersatzes sind auch mit einem Anstieg der revisionsendoprothetischen Eingriffe verbunden.

Auch wenn die Anzahl der Revisionseingriffe am Hüftgelenk in Deutschland mit ca. 20.000 Eingriffen nur einen Anteil von ca. 15 % aller endoprothetischen Eingriffe am Hüftgelenk (Endocert Jahresbericht 2020) ausmacht, handelt es sich hierbei um ein einschneidendes Ereignis für den Patienten [2].

Der häufigste Grund für Revisionseingriffe am Hüftgelenk ist die (infektbedingte oder aseptische) Lockerung der azetabulären Komponente mit konsekutivem Verlust der periazetabulären Knochensubstanz. Dieser Verlust an Knochensubstanz ist hierbei das Hauptproblem in der azetabulären Revisionsendoprothetik [3, 4].

Insbesondere bei massiven Knochendefekten muss das azetabuläre Revisionsimplantat neben einer primär- und belastungsstabilen Verankerung mit direkter Kraftübertragung auf den autochthonen Knochen eine Rekonstruktion des anatomischen Rotationszentrums gewährleisten [5]. Die Augmentation verbliebener ka-

vitärer Knochendefekte dient dem „Downgrading“ der Defektsituation und langfristig dem Wiederaufbau des Knochenlagers als Grundlage einer dauerhaften Osseointegration und Sekundärstabilität des Implantates. Übergeordnetes Ziel ist die Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik des betroffenen Gelenkes und konsekutiv der klinischen Funktion [4, 6].

Bei ausgeprägten Defekten (Paprosky IIIA/B respektive „acetabular defect classification“ [ADC] Typ III und IV [5] mit und ohne begleitende Beckendiskontinuität) mit fehlender Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers und/oder großen supraazetabulären Defekten kann eine Rekonstruktion mit Standardrevisionsimplantaten nicht mehr möglich sein (fehlende Primärstabilität und/oder Unmöglichkeit der Rekonstruktion des Drehzentrums mit konsekutiv hohem Hüftzentrum). In diesen Fällen kann die Implantation eines sonderangefertigten azetabulären Revisionsimplantates („custom-made acetabular component“ [CMAC]) eine Behandlungsalternative darstellen. Dieser Therapieansatz ermöglicht die Berücksichtigung des individuellen Knochenverlustes und der individuellen Anatomie. Bei korrekter Planung und Durchführung ist diese Technik eine wertvolle Behandlungsalternative trotz der – im Vergleich zur Primärendoprothetik – hohen Komplikationsrate und der hohen Kosten [7–9].



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

In der Literatur sind für die Rekonstruktion bisher unterschiedlichste Rekonstruktionsverfahren, u. a. mit Trabecular-Metal-Augmenten (Trabecular Metal™ Acetabular Revision System, Zimmer Biomet, Warsaw, IN, USA), Allografts, längssovalen Implantaten, Rekonstruktionsschalen, „Cup-and-Cage“-Implantaten und sonderangefertigten acetabulären Implantaten beschrieben worden. Aufgrund der geringen Fallzahlen in bisherigen Publikationen und in Ermangelung von prospektiven randomisierten Multicenterstudien besteht aktuell kein Konsens in der Auswahl des Verfahrens, was in den oben erwähnten unterschiedlichen Versorgungsstrategien seinen Ausdruck findet [6, 9]. In diesem Zusammenhand konnten de Meo et al. 5-Jahres-Überlebensraten von 94% nach Versorgung mit Trabecular-Titan-Implantaten mit oder ohne Augment bei Patienten mit Paprosky-II-Bis-III-B-Defekten beschreiben [10], welche durch Hipfl bzw. Steno bestätigt werden konnten [11, 12]. Ähnliche Ergebnisse beschrieben Löchel et al. bzw. Russel et al. bei der Versorgung von periazetabulären Knochendefekten mit Revisionsimplantaten und Augment aus Trabecular Metal mit einem Langzeitimplantatüberleben von 92,5% nach 10 Jahren [13, 14].

Die folgende Operationsanleitung soll (1.) eine erstmalige Beschreibung der Operationstechnik von CMAC sowie (2.) Tipps und Tricks von der Planung bis zur operativen Umsetzung und Nachbehandlung liefern.

Operationsprinzip und -ziel

(1) **Biologische Defektrekonstruktion kavitärer Defekte zur Schaffung eines „langfristig“ tragfähigen Implantatlaggers mit (2) Implantation eines sonderangefertigten acetabulären Revisionsimplantates mit direkter Kraftübertragung auf den verbliebenen Knochen in der Hauptbelastungszone (kranialer Erker und dorsaler Pfeiler) mit metallischer Defektrekonstruktion zur Erreichung der Primärstabilität und Rekonstruktion des „center of rotation“ (COR) zur Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik mit optimaler Hüftfunktion mit sekundärer Osseointegration (Se-**

Operationsziel: Implantation von „custom-made acetabular components“ (CMAC) mit direkter Kraftübertragung auf den verbliebenen Knochen in der Hauptbelastungszone und Rekonstruktion des „center of rotation“ (COR) zur Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik bei ausgeprägten periazetabulären Knochenverlusten.

Indikationen: Acetabuläre Knochendefekte (Typ Paprosky IIIA/B) mit und ohne begleitende Beckendiskontinuität mit fehlender Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers und/oder großen supraacetabulären Defekten.

Kontraindikationen: Lokale oder systemische Infektionen, mangelnde Compliance, in Abwägung der eingriffsspezifischen Risiken und Komplikationen fehlender oder eingeschränkter erwartender postoperativer Funktionsgewinn, multimorbide Patienten mit potenzieller Inoperabilität beim Erst- und/oder Zweiteingriff.

Operationstechnik: Eingehen über einen lateralen oder posterolateralen Zugang unter Schonung neurovaskulärer sowie muskulärer Strukturen. Vorbereitung des Implantatlaggers anhand der präoperativen Planung und biologische Defektaugmentation kavitärer Defekte. Primärstabile Verankerung mit 2 Pfahlschrauben im Os ilium, optional Pfahlschraube ins Os pubis zur Bestimmung des COR und Laschenschrauben (optional winkelstabil). Optional Verwendung von zementierten Dual-Mobility-Pfannen in Anbetracht der Weichteilspannung und der intraoperativen Stabilität, insbesondere bei insuffizienter pelvitrochantärer Muskulatur.

Weiterbehandlung: Für 6 Wochen postoperativ Teilbelastung mit 20 kg Körpergewicht, anschließend Aufbelastung mit 10 kg Körpergewicht pro Woche.

Ergebnisse: Zwischen 2008 und 2018 wurde bei 47 Patienten ein CMAC mit einer großflächig aufliegenden Iliumlasche (Monoflange) bei einem Paprosky-Typ-III-Defekt implantiert. Als Hauptkomplikation ist die periprothetische Protheseninfektion (PPI) zu nennen, welche in 9 von 10 Fällen (90%) ursächlich für die Explantation war. Der HHS bei letzter Vorstellung verbesserte sich von 21,1 auf 61,5 Punkte. Nativradiologisch zeigten sich ein Inklinationwinkel von $42,3 \pm 5,3^\circ$, eine Anteversion von $16,8 \pm 6,2^\circ$ sowie ein ΔH von $0,5 \pm 0,2$ mm bei einem ΔV von $17,7 \pm 1,1$ mm nach Roessler et al.

Schlüsselwörter

Hüftgelenk · Hüftendoprothetik · Acetabuläre Defekte · Sonderangefertigte acetabuläre Implantate · Revisionsendoprothetik

kundärstabilität) mit dem Ziel der dauerhaften Implantatverankerung.

Vorteile

- Patientenindividuelle, CT-gestützte Anpassung des CMAC an die Knochendefektsituation zur Wiederherstellung des COR und der Biomechanik des Hüftgelenkes
- Hohe „Passgenauigkeit“ mit konsekutiver Primärstabilität und unmittelbarer Kraftübertragung auf den verbliebenen Knochen (metallische Defektrekonstruktion) bei Defekten (fehlender Tragfähigkeit) des dorsalen Pfeilers und/oder großen supraacetabulären Knochendefekten
- Intraoperativ optimale Einstellung der Inklination und Anteversion der Pfanne durch Einzementierung einer PE-Pfanne (alternativ Dual-Mobility-Pfanne) in die CMAC (unabhängig der Positionierung); die geplante Ausrichtung des

CMAC (Inklination und Anteversion) kann bei großen Knochendefekten und/oder in Seitenlagerung als Referenz herangezogen werden

- Nutzung einer Dual-Mobility-Pfanne zur Erhöhung der Luxationsstabilität, u. a. bei fehlender muskulärer Stabilisierung des Hüftgelenkes (insuffiziente pelvitrochantäre Muskulatur)

Nachteile

- Zwei-/mehrzeitiger Prothesenwechsel mit potenziell erhöhter peri- und postoperativer Morbidität und Mortalität gegenüber einer einzeitigen Versorgung mit nicht sonderangefertigten Revisionsimplantaten
- Prothesenloses Intervall bedingt durch die Planungs- und Herstellungsdauer des CMAC mit Limitation der Mobilisierungsfähigkeit bis hin zur Notwendigkeit einer Kurzzeitpflege

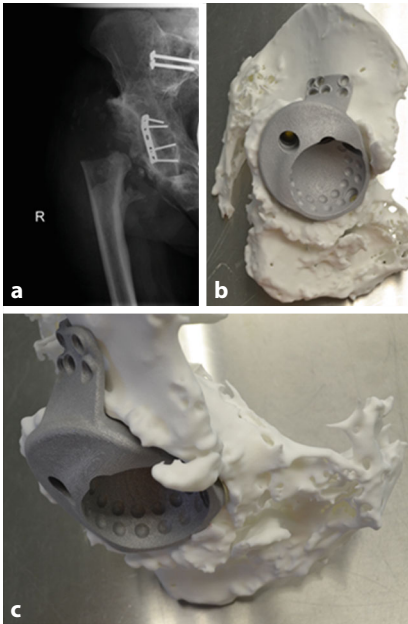


Abb. 1 ▲ Präoperatives a.-p. Röntgenbild (a) mit Paprosky-III A-Defekt und 8. Ansicht von laterokaudal (b) und kaudoventral (c). (Mit freundl. Genehmigung der Peter Brehm GmbH, Weisendorf, Deutschland)

- Deutlich höhere Implantatkosten im Vergleich mit Standardrevisionsimplantaten; Vereinbarung von Zusatzentgelten (ZE) mit den Kostenträgern empfehlenswert
- Steifheit des sonderangefertigten Implantates, bedingt durch die Ausmaße in Abhängigkeit von der Defektgröße
- Notwendige „extended“ Exposition des Operationssitus zur Darstellung der Knochendefekte sowie zur Positionierung des CMAC (u. a. Darstellung des Os ilium zur Laschenpositionierung) mit konsekutiver Kompromittierung der Weichteil- und Muskelführung mit dem Risiko einer Gefäß- und Nervenschädigung mit Auswirkung auf die postoperative Funktion und die subjektive Patientenzufriedenheit

Indikationen

- Ausgeprägte acetabuläre Knochendefekte (Typ Paprosky IIIA/B bzw. „acetabular defect classification“ [ADC] Typ III und IV) mit und ohne begleitende Beckendiskontinuität mit fehlender Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers und/oder großen supraacetabulären Defekten, sowie fehlender

Versorgungsmöglichkeit durch vorhandene Standardrevisionsimplantate im Rahmen eines individuellen Behandlungskonzeptes mit dem Ziel der primärstabilen Verankerung und Rekonstruktion der Gelenkbiomechanik

Kontraindikationen

- Persistierende Infektion/Neuinfektion im Zuge eines zwei-/mehrzeitigen Prothesenwechselregimes
- Fehlende Compliance
- In Abwägung der eingriffsspezifischen Risiken und Komplikationen fehlender oder eingeschränkter erwartender postoperativer Funktionsgewinn
- Multimorbide Patienten mit potenzieller Inoperabilität beim Erst-/Zweiteingriff

Patientenaufklärung

- Allgemeine Operationsrisiken wie u. a. Thrombose, Emboli, Blutung, Nachblutung, heterotope Ossifikation, allergische Reaktion, Wundheilungsstörungen, ggf. Einwilligung in die Datenübermittlung an das Endoprothesenregister
- Spezifische Operationsrisiken wie u. a. Gefäß- und Nervenverletzungen (A. femoralis, A. glutea superior, N. ischiadicus, N. femoralis, N. gluteus superior und inferior), Verletzung von intrapelvinen Strukturen bei knöchernen Pfannenbodendefekten
- Iatrogene Femur- oder Acetabulumfraktur
- Akute oder chronische periprothetische Infektionen
- Luxation (insbesondere bei fehlender pelvirochantärer Muskulatur bei prox. Femurersatz)
- Prothesenlockerung (infektbedingt/aseptisch)
- Nervendehnungsschäden bei intraoperativer Verlängerung bei ausgeprägter präoperativer Beinlängendifferenz
- Transfusionsbedarf mit konsekutiven Transfusionsrisiken (gesonderte Aufklärung)
- Postoperative Bewegungs- und Funktionseinschränkungen, u. a. bei glutealer Insuffizienz: 1. muskulär bedingt bei

bereits z. B. präoperativ geschädigter glutealer Muskelfunktion oder 2. neurogen bedingt bei intraoperativer Verletzung des N. gluteus superior im Rahmen der Darstellung des Os ilium zur Anlage und Fixation der Os-iliu-Lasche

- Ungeplante erneute Revision bei intraoperativ weiterhin bestehendem Infektverdacht (mehrzeitiges Wechselregime)
- Abweichende Knochendefektsituation zwischen dem Zeitpunkt der Planung und der Replantation (bei minimalem Zeitintervall von ca. 6 Wochen [4])
- Dezierte Aufklärung des Patienten über alternative Versorgungsmöglichkeiten im Rahmen eines einzeitigen Vorgehens mit Standardrevisionsimplantaten in Abhängigkeit der knöchernen Defektsituation
- Implantat- oder Materialversagen (CMAC) und/oder Dislokation der einzementierten Pfannenkomponente
- Persistierende postoperative Beinlängendifferenz

Operationsvorbereitungen

■ Abb. 1, 2 und 3.

- Nativradiologische Bildgebung (Beckenübersicht und axiale Aufnahme nach Lauenstein; bei makroskopisch nicht durch Voroperationen bekanntem Ausmaß des knöchernen Defektes zusätzliche nativradiologische Bildgebung zur Visualisierung des vorderen und hinteren Pfeilers [Ala-, Obturator-Aufnahmen] bzw. alternativ CT-Bildgebung)
- Bei makroskopischer Kenntnis des knöchernen Defektes durch den Operateur bei Explantation des einliegenden Implantates und Stellung der Indikation zur Anfertigung eines CMAC bzw. weiterer operativer Eingriffe beim mehrzeitigen Vorgehen bei periprothetischer Infektion. Wesentliche Entscheidungskriterien sind die fehlende Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers, ein supraacetabulärer (längsovaler Defekt) mit einer Kranialisierung des COR > 3 cm und/oder eine Beckendiskontinuität
- Durchführung eines Dünnschicht-Planungs-CTs (1 mm Schichten mit

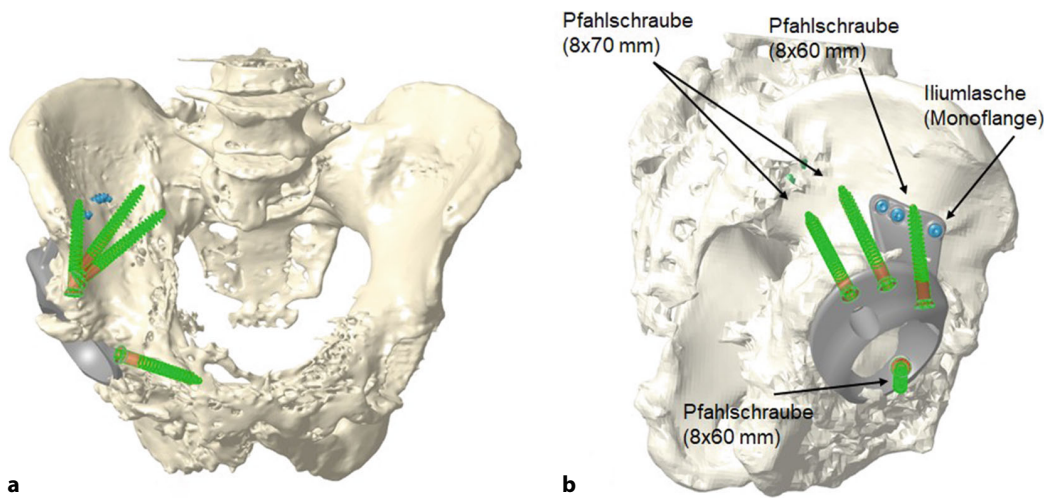


Abb. 2 ◀ Präoperative Planung analog zu **Abb. 1** mit Konstruktionszeichnung der Pfahlschrauben (Ansicht von ventral (a) und dorsolateral (b)). (Mit freundl. Genehmigung der Peter Brehm GmbH, Weisendorf, Deutschland)

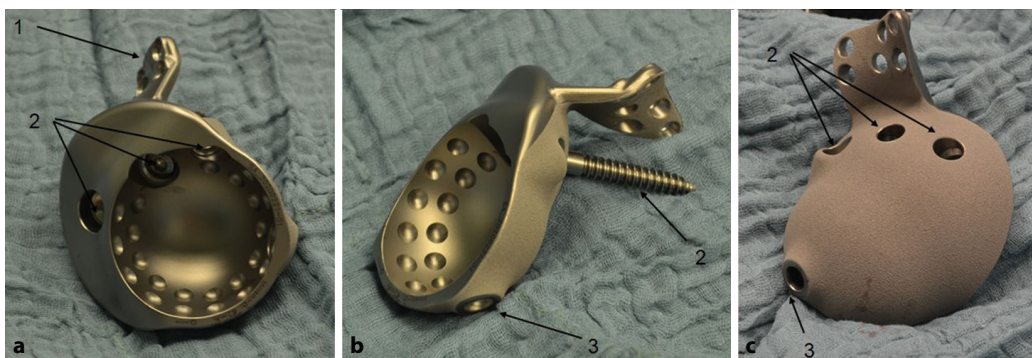


Abb. 3 ▲ Definitives Implantat mit Iliumlasche („Monoflange“) (1) aus **Abb. 1** und **2**. Ansicht von lateral (a), kranial (b) und medial (c). TiRC-Rückflächenbeschichtung (Titanium Rough Coating) aus Reintitan (Schichtdicke: 300 µm), winkelstabile Ilium-Pfahlschrauben (2) und Pfahlschraube Os pubis (3). (Mit freundl. Genehmigung der Firma Brehm GmbH, Weisendorf)

vollständiger Abbildung des gesamten Beckens). Vor Durchführung des CTs Kontaktaufnahme mit dem Hersteller, damit alle notwendigen Daten für eine zeitnahe Erstellung eines Planungsvorschlags bereitgestellt werden können

- Kontrolle des 3-D-Planungsvorschlages durch den Operateur auf:
 - vollständige metallische Augmentation des Defektes in der Hauptbelastungszone
 - Rekonstruktion des COR (ggf. Vergleich zum kontralateralen COR)
 - Operabilität (z. B. Vermeidung beckeninnenseitiger Augmente zur Verankerung und Abstützung oder überlanger Laschen mit Notwendigkeit der Freilegung des Os ilium)
 - Kenntnis des Innendurchmessers (ID) des CMAC zur Größenbestimmung der zementierbaren Pfanne und dadurch Ableitung der möglichen

- Kopfgröße (cave: Verfügbarkeit von modularen Köpfen mit 22 mm AD [meist nur bis Halslänge L/XL verfügbar]); daher kann es bei Verwendung einer Dual-Mobility-Pfanne und noch liegendem Schaft ratsam sein, den ID des CMAC so zu planen, dass eine Dual-Mobility-Pfanne passend zu einem 28 mm modularen Kopf gewählt werden kann. Hierdurch erhöht sich die Variabilität zur Rekonstruktion von Offset und Beinlänge (z. B. Bioball® System der Fa. Merete, mit Konusadapter 12/14, 14/16)
- ist eine Winkelstabilität der Laschen- und Pfahlschrauben umsetzbar
- ist die geplante Bohrrichtung u. a. der Pfahlschrauben operationstechnisch umsetzbar z. B. unter Zuhilfenahme eines Kardan-Bohrers
- Erneute nativradiologische Bildgebung (Hüftübersicht in 10° Innen-

rotation, Lauenstein-Aufnahme) und Vergleich mit der „Planungsbildgebung“. Bei großer zeitlicher Latenz zwischen den Aufnahmen und zunehmender knöcherner Konsolidierung (insbesondere bei Beckendiskontinuität) erneutes Dünnschicht-CT zum Abgleich der aktuellen Passgenauigkeit des Implantates. Hierdurch zudem Möglichkeit der genauen Visualisierung von Ossifikationen und Osteophyten, welche im Zuge der Replantation abgetragen werden müssen. Zur verbesserten Operabilität ist es daher empfehlenswert, die knochenseitige Kontaktfläche des CMAC derart zu gestalten, dass diese nicht einer 1:1-Abbildung des Defektes entspricht, sondern vielmehr entsprechend den implantatspezifischen hemisphärischen Fräsen als Negativabdruck

implantatseitig konzipiert werden kann

- Optimale Vorbereitung des Patienten (u. a. Patient-Blood-Managements) bei Indikationsstellung und im prothesenlosen Intervall

Instrumentarium

- Standardinstrumentarium für Revisionsendoprothetik mit Knochenhebeln und (spitzen) Haken. Des Weiteren oszillierende Säge, Bohrmaschine, Pfannenfräsen (ggf. auch in Übergrößen > 70 mm), gebogene und gerade Meißel in unterschiedlichen Größen, gerade Bohrer und Kardanbohrer (4,5 und 6,0) für 6,5- und 8-mm-Schrauben, Röntgendurchleuchtungsgerät (C-Bogen)
- CMAC mit unsterilem Modell
- Allogene Spongiosachips zur Augmentierung kavitärer Defekte und Vorhaltung „hemisphärischer“ Impaktoren
- Vorhaltung „zementierbarer“ PE-Pfannen, Schnapp-Pfannen, PE mit Constraint-Liner oder Dual-Mobility-Pfannen für den entsprechenden Innendurchmesser
- Vorhaltung von modularen Prothesenadaptoren in unterschiedlichen Größen bei einliegender femoraler Komponente (z. B. Bioball® System der Fa. Merete, mit Konusadapter 12/14, 14/16). Bei Dual-Mobility-Pfanne Kopfdurchmesser ab 22 mm (S bis XL) vorhalten
- Gegebenenfalls flexible Markraumborner zur femoralen Markraumpräparation
- Unterschiedliche (modulare) femorale Revisionsimplantate bei zusätzlicher Implantation der femoralen Komponente. Zur Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik mit optimalem „Weichteilbalancing“ und Vermeidung postoperativer Luxationen können modulare Implantate vorteilhaft sein (stufenlos einstellbare AT, CCD und Länge durch Halsteile und modulare Köpfe)
- Bei Wechsel der einliegenden modularen femoralen Komponente/Sonderimplantate Abdrückinstru-

mentarium und Schraubendreher zur Explantation vorhalten

Anästhesie und Lagerung

- Die Lagerung des Patienten kann in Rückenlage oder Seitenlage erfolgen. Zu empfehlen ist, insbesondere bei adipösen Patienten, eine Lagerung in Seitenlage mit weit kranial positionierten Stützen (Durchleuchtung) bzw. alternativ in einer Vakuummatratze, um hierdurch das „schwerkraftbedingte“ Auseinanderweichen der Weichteile zu nutzen, um eine optimale Übersicht über den Operationssitus zu erhalten.
- Die Operation kann in Vollnarkose oder Spinalanästhesie durchgeführt werden. Bei erwarteten Operationszeiten von 3–4 h sollte eine Spinalanästhesie nur in absoluten Ausnahmefällen durchgeführt werden.

Operationstechnik

▣ Abb. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

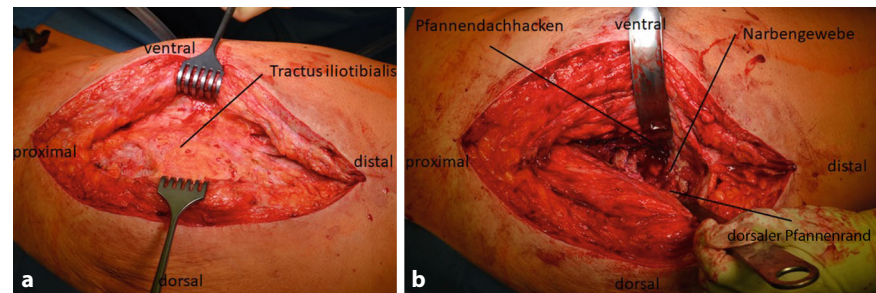


Abb. 4 ▲ Nach Lagerung – wenn möglich – Eingehen über den vorhandenen Zugang. Zu empfehlen sind nach kranial oder kaudal erweiterbare Zugänge, da sie eine gute Übersicht über das gesamte Acetabulum ermöglichen (lateraler oder posterolateraler Zugang). Die Benutzung einer z. B. jodhaltigen Klebefolie kann zur Vermeidung einer feuchtigkeitsbedingten Ablösung der Abdeckung hilfreich sein. Aufgrund der Exposition des Operationssitus ist oftmals eine Erweiterung des Zugangs nach proximal und/oder distal notwendig. Anschließend Ausschneiden der alten Narbe, Darstellung des Tractus iliobialis (a), Spaltung im Faserverlauf, subperiostales scharfes Ablösen der Glutealmuskulatur vom T. major (bei erhaltenem proximalem Femur) und Resektion der Gelenkneokapsel (b)

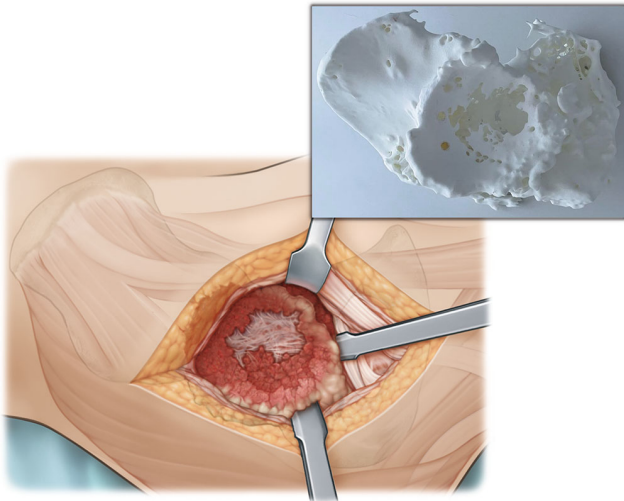


Abb. 5 ▲ Anschließend zirkumferenzielle Darstellung des azetabulären Defektes mit Resektion von periössärem Narbengewebe. Durch gezielten knochen nahen (stumpfen) Hakeneinsatz (Pfannendach: stumpfer, breiter 90° Knochenheber nach Hohmann; Pfannenerker: spitzer, 7 mm breiter Knochenheber nach Hohmann; dorsaler Pfannenrand: spitzer, ein- oder zweizinkiger, breiter 30° Knochenheber nach Hohmann; Foramen obturatorium: spitzer Knochenheber nach Hohmann) gelingt häufig eine übersichtliche Darstellung des Situs mit zugleich Präparation der Landmarken, an denen die oben genannten Haken positioniert sind. Eine Präparation des vorderen und hinteren Pfeilers, des Foramen obturatorium und des Ilium ist essenziell vor Fortführung der Operation. Zur Präparation der Kontaktfläche der Os-ilium-Lasche ist die sorgfältige subperiostale Ablösung der Glutealmuskulatur mit Split des M. gluteus medius mit Freilegung des Iliums notwendig. Eine neurogen bedingte postoperative Glutealinsuffizienz durch Schädigung des N. gluteus superior kann intraoperativ nicht immer ausgeschlossen werden. Ein Implantatdesign mit nur einer breiten, flächig am Os ilium anliegenden Iliumlasche (sog. „Monoflange“ CMAC) kann gegenüber einem Triflange CMAC mit 2 V-förmigen Iliumlaschen bezüglich der Exposition des Os ilium vorteilhaft sein

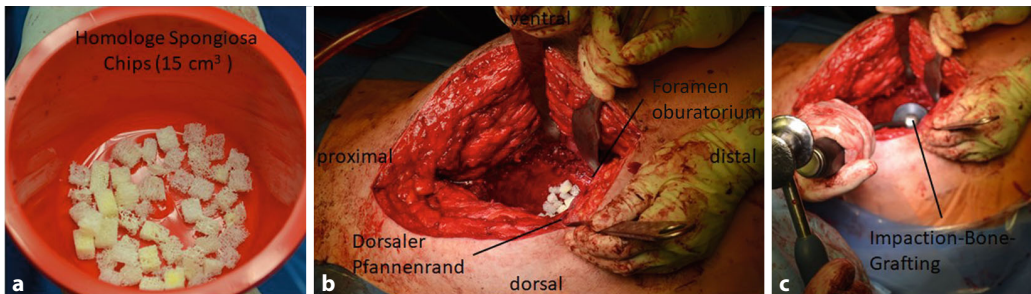


Abb. 6 ▲ Nach Entfernung von jedweden Narben- und Granulationsgewebe vorsichtiges Anfrischen der knöchernen Kontaktflächen mit der Fräse. Kavitätäre Knochendefekte sowie Pfannenbodendefekte im nicht lasttragenden Bereich können z. B. mittels allogenen Spongiosachips (a) aufgefüllt und anschließend mit Hilfe eines Impaktors verdichtet (Impaction Bone Grafting Technik) werden (b). Hier ist ein gummiertes hemisphärischer Einschläger zur Kompression der Knochenersatzmaterialien zur Vorbereitung des Implantatlagers empfehlenswert (c)

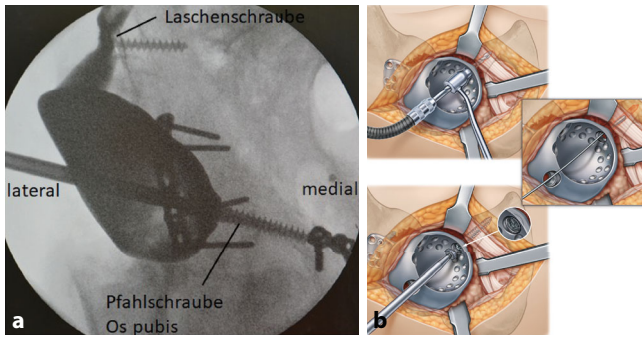


Abb. 7 ▲ Beim erstmaligen Einbringen des Implantates kann als 1. Referenzpunkt (a) das Os pubis dienen bzw. – wenn geplant – die Fixierung an diesem mittels einer intramedullären 6- oder 8-mm-Schraube. Als 2. Referenzpunkt dient die flächige Auflage der Lasche am Os ilium und die Positionierung der Pfahlschraube(n) im Os ilium. Anschließend Abgleich der intraoperativen Situation und der Röntgenbildgebung mit dem Planungsmodell. Prüfung der Primärstabilität und Pressfit-Verankerung. Kann die geplante Positionierung in diesem Schritt nicht erreicht werden, können verbliebenes Narbengewebe im Pfannengrund und/oder neu aufgetretene Verknochnerungen ursächlich sein. Bevor die zentrale Fixierung über die Pfahlschrauben im Os ilium erfolgt, empfiehlt es sich zunächst das Besetzen einer 6,5-mm-Laschenschraube am Os ilium (b)

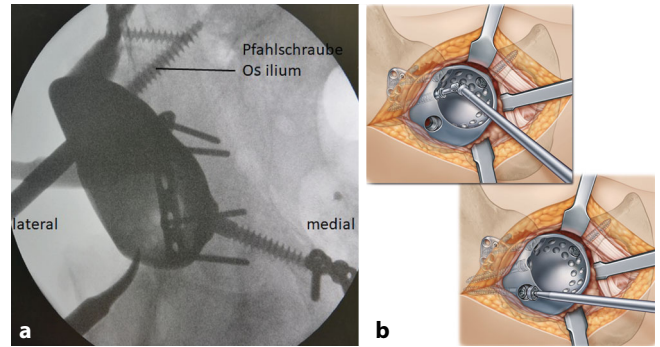


Abb. 8 ▲ Anschließend kann die erste Ilium-Pfahlschraube (Vorbohrung mit 4,5 mm, anschließend mit 6,0 mm nach Planung) unter kontinuierlicher Kontrolle per Bildwandler (a) (inklusive Inlet- und Outlet-Aufnahmen) und nach Austasten des Bohrkanals eingebracht werden (b). Hierbei sollte die Schraubenlänge mit der präoperativen Planung abgeglichen werden. Bei deutlicher Längenabweichung sollte eine Schraubenfehlage ausgeschlossen werden. Hierdurch kann es sonst zu einer Implantatfehlpositionierung kommen. Nach Bestätigung der korrekten Lage folgt die winkelstabile Verblockung der Pfahlschrauben. Anschließend analoges Vorgehen für die übrige(n) Pfahlschraube(n). Ein flexibler Kardan-Bohrer bzw. Schraubendreher kann hier hilfreich sein

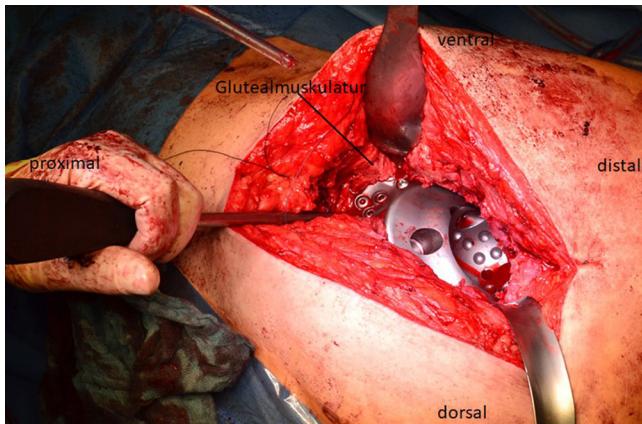


Abb. 9 ◀ Anschließend sollten alle Laschenschrauben (winkelstabil, wenn geplant) – unter Bildwandlerkontrolle – besetzt werden. Bei vereinzelten abweichenden Schraubenlängen sollte an eine Fehlmessung gedacht werden

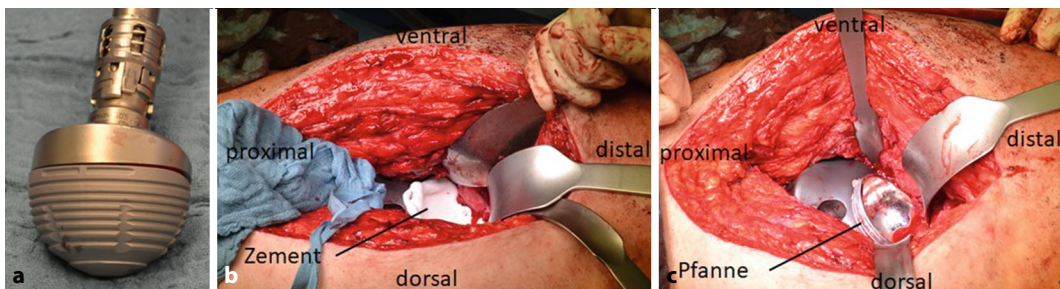


Abb. 10 ▲ Vor Einzementierung der Pfanne (a) in der Zementiertechnik der 3. Generation (b) sollte eine korrekte Implantatlage mittels intraoperativer Bildgebung bestätigt werden und die Positionierung des Implantates mit Inklination und Anteversion mit der Planung verglichen werden. Dies ist erforderlich, da u. a. eine nicht streng seitliche Lagerung des Patienten, bei fehlenden knöchernen „Landmarken“, Ausgangspunkt einer Fehlpositionierung der Pfanne sein kann. Die Inklination der einzementierten Pfanne sollte hierbei 45° mit einer Anteversion von 15° betragen (c) [15]. (a mit freundl. Genehmigung der Implantcast GmbH, Buxtehude, Deutschland)

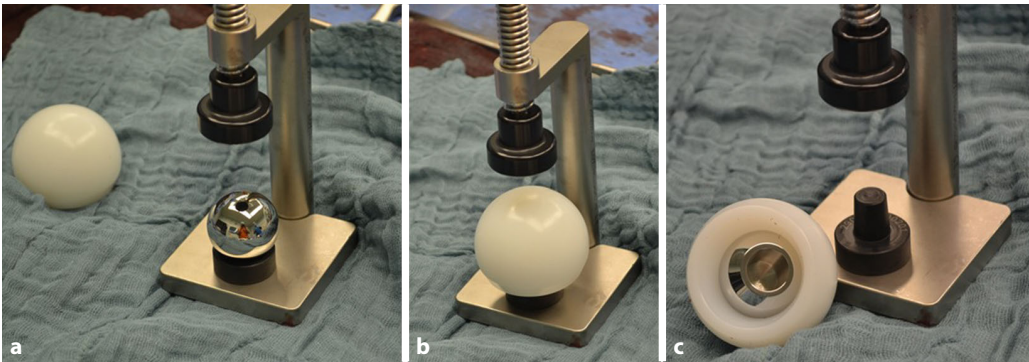


Abb. 11 ▲ Aufgrund der oftmals kompromittierten Weichteile mit ausgeprägten narbigen Veränderungen und der fehlenden Stabilisation durch u. a. die fehlende pelvitrochantäre Muskulatur kann eine Dual-Mobility-Lösung zur Erhöhung der Luxationsstabilität in die Planung einbezogen werden. Dies sollte insbesondere bei Patienten mit Luxationen in der Vorgeschichte, einem Ersatz des proximalen Femurs, fehlender pelvitrochantärer Muskulatur respektive der muskulären Führung, empfohlen werden. Hierbei muss nach Positionierung des Kopfes auf der Halterung (a) auf das vollständige „Einpressen“ des Kopfes in das mobile PE-Inlay mittels Schraubpresse (b, c) geachtet werden. Vor Implantation des neuen Kopfes bei einliegender Schaftkomponente sollte die Unversehrtheit des Konus geprüft werden. (Mit freundl. Genehmigung der Implantcast GmbH, Buxtehude, Deutschland)

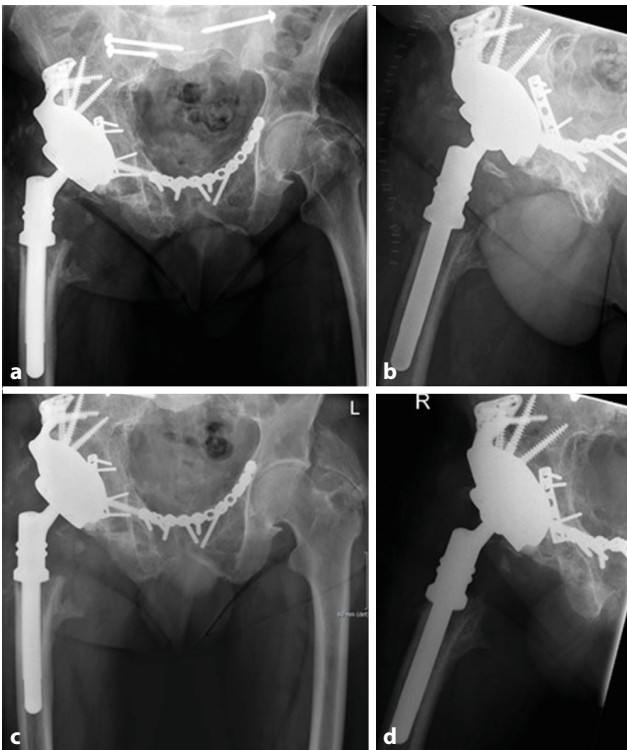


Abb. 12 ◀ Nativradiologische Verlaufskontrolle direkt postoperativ (a, b), sowie 6 Wochen postoperativ (c, d)

- Entfernung des Hautnahtmaterials am 12. postoperativen Tag
- Röntgenkontrolle (Hüftübersicht und Aufnahme nach Lauenstein) zwischen dem 2. und 5. postoperativen Tag sowie nach ca. 6 Wochen vor Steigerung der Belastung
- Mobilisation ab dem 1. postoperativen Tag (kein Überkreuzen der Beine, keine Flexion > 90° [tiefes Sitzen], keine Außenrotation für 6 Wochen postoperativ)
- Teilbelastung mit 20 kg Körpergewicht für 6 Wochen, anschließend Aufbelastung mit 10 kg Körpergewicht pro Woche
- Wenn Teilbelastung nicht möglich (multimorbider, geriatrischer, älterer Patient), direkte Freigabe der Belastung erwägen (zur Vermeidung einer Immobilisation)
- Optimierung der häuslichen Versorgung (Hilfsmittel, ambulanter Pflegedienst, Haushaltshilfe)
- Einleitung einer postoperativen Rehabilitationsmaßnahme (spätestens ab Erreichen der Vollbelastung)
- Eine gewichts- und risikoadaptierte Thromboseprophylaxe sollte bis zum Erreichen der Vollbelastung bzw. Beendigung des Bridging ab dem 12. postoperativen Tag erfolgen
- Bei periprotetischer Infektion: Beginn der antibiotischen Therapie bereits intraoperativ nach Probenentnahme auf Grundlage der vorherigen mikrobiolo-

Besonderheiten

- Ausführliche Aufklärung des Patienten über das benötigte Zeitintervall, beginnend vom Ersteingriff über die Planung und Fertigung bis zur Reimplantation
- Beim komplizierten Verlauf mit persistierender Infektion nach initialer Operation: Planung des CMAC erst

nach bestätigter „Infektberuhigung“ (Grundlage intraoperative Probenentnahme zur Mikrobiologie und Histologie) beginnen

Postoperative Behandlung

- Erster Verbandswechsel am 2. postoperativen Tag mit Entfernung der Redondrainagen

gischen Befunde für 2 Wochen i.v. und anschließend 4 Wochen p.o. [16]

- Bei jüngeren Patienten ist die Arbeitsfähigkeit oft erst nach Erreichen der Vollbelastung gegeben (ca. 15 Wochen nach Indikationsstellung zur Implantation eines BTE)

Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Fehlende sekundäre Osseointegration mit konsekutiver Lockerung und möglicher Implantatdislokation und Implantat-/Schraubenbruch bei fehlender Primärstabilität oder sekundärem Versagen bei insuffizienter Knochenqualität
- Schraubenfehlage (z. B. im Iliosakralgelenk oder im M. iliopsoas mit Gefahr der Verletzung des N. femoralis und N. ischiadicus): adäquate intraoperative Bildgebung; postoperativ CT-Kontrolle und Schraubenwechsel durchführen
- (Rezidivierende) Luxationen insbesondere bei fehlender muskulärer Stabilisation: chirurgische Revision, Wechsel des Kopfes, ggf. Verlängerungshülse, Kontrolle der femoralen Rotation, Dual-Mobility-Pfanne
- Hämatombildung: Ausschluss einer aktiven Blutungsquelle mittels CT-Angiographie in Interventionsbereitschaft. Bei geringer Hämatombildung konservative Therapie, bei aktiver Nachblutung mit ausgeprägter Schmerzsymptomatik/drohendem Kompartmentsyndrom: offene Revision, chirurgische Blutstillung
- Bei akuter periprotetischer Infektion: ausgiebiges Débridement, Wechsel der mobilen Prothesenteile, Überprüfung der Implantatfestigkeit und i.v. Antibiose nach mikrobiologischer Resistenzbestimmung
- Bei chronischer periprotetischer Infektion: Ausbau aller Implantate, Débridement und Anlage Girdlestone-Situation mit anschließend zwei- oder mehrzeitigem Wechsel. Antibiose nach mikrobiologischer Resistenzbestimmung
- Direkte Nervenschädigungen/ Nervendehnungsschäden: ggf. neurologische Vorstellung und chirurgische Revision nach Ursache

Ergebnisse

Zwischen Dezember 2008 und September 2018 versorgten wir 47 Patienten (14 Männer, 33 Frauen) mit Paprosky-Typ-III- (IIIA: 24; IIIB: 23) Defekten mit sonderangefertigten CMAC-Implantaten. In 15 Fällen bestand zusätzlich eine Beckendiskontinuität. Das durchschnittliche Alter betrug $70,1 \pm 11,1$ Jahre (Spanne: 37–89) bei einem durchschnittlichen BMI von $27,5 \pm 4,3$ kg/m² (Spanne: 18–39).

Die durchschnittliche Operationszeit betrug $247,2 \pm 71,9$ min (Spanne: 144–400). Der intraoperative Blutverlust betrug 1331 ± 483 ml (Spanne 600–3000 ml). In 30 Fällen erfolgte eine zusätzliche Implantation einer femoralen Komponente. Die Indikation zur Operation war in 27 Fällen eine aseptische Lockerung und in 20 Fällen eine chronische PPI mit Lockerung. Die Anzahl an Voroperationen der betroffenen Seite betrug $4,1 \pm 2,85$ (Anzahl an Operationen mit Wechsel des Implantates: $2,71 \pm 1,5$). Klinische und radiologische Nachuntersuchungen erfolgten postoperativ nach 6 Wochen, 6 Monaten, 1 Jahr sowie anschließend in jährlichem Abstand. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug $28,5 \pm 18$ Monate (Spanne: 1–120 Monate). Bei einem Patienten zeigte sich 3 Wochen postoperativ eine akute PPI mit Notwendigkeit der Explantation des einliegenden Implantates nach fehlgeschlagenem Erhaltungsversuch mittels DAIR. Sieben Patienten verstarben während des Nachuntersuchungszeitraums ohne direkten Zusammenhang zur orthopädischen Behandlung; 6 Patienten stellten sich im Verlauf nicht erneut vor trotz unserer Bemühungen, sie zu kontaktieren.

Zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung betrug der HHS $61,5 \pm 13,4$ Punkte (HHS direkt präoperativ: $21,1 \pm 10,1$; HHS 6 Wochen postoperativ: $50,3 \pm 7,1$). Nativradiologisch zeigte sich postoperativ ein Inklinationwinkel von $42,3 \pm 5,3^\circ$, bei einer Anteversion von $16,8 \pm 6,2^\circ$. Die Auswertung der Rekonstruktion des COR erfolgte nach Roessler et al. und ergab ein ΔH von $0,5 \pm 0,2$ mm bei einem ΔV von $17,7 \pm 1,1$ mm [17].

In 9 Fällen (19,1%) erfolgte die Explantation des Implantates bei PPI (nach $28,4 \pm 25,4$ Monaten), in einem Fall (2,1%)

bei aseptischer Lockerung (35 Monate postoperativ). In 7 dieser 9 Fälle war die Indikation zur Implantation des Revisionsimplantates eine vorherige PPI mit Notwendigkeit der Anlage einer Girdlestone-Situation. Es kam zu 4 Luxationen (2 geschlossene Repositionen ohne weiteres Luxationsereignis, eine offene Reposition mit Wechsel auf eine Dual-Mobility-Pfanne bei intraoperativer Instabilität, eine offene Reposition ohne Implantatwechsel ohne weiteres Luxationsereignis im Verlauf), 3 Wunddehissenzen mit Notwendigkeit einer operativen Revision ohne Revision des Implantates und einem postoperativen Hämatom bei venöser Blutung mit Notwendigkeit einer operativen Revision zur Blutstillung. Bei einem Patienten zeigte sich in der Nachuntersuchung die Verletzung des N. gluteus superior ohne operative Konsequenz; 23 Patienten benötigten einen Ersatz des proximalen Femurs, in diesen Fällen ist eine klinische Aussage über eine Verletzung des N. gluteus superior nicht möglich.

Die vorliegenden Ergebnisse sind mit den Ergebnissen anderer Studien mit guten funktionellen Ergebnissen im kurz- und mittelfristigen Verlauf vergleichbar [9, 18–20]. Die im Rahmen dieser Studie beschriebene Komplikationsrate mit Notwendigkeit der Revision des Implantates von fast 20% ist dennoch höher als die in der Literatur beschriebene von bis zu 13,5% [21]. Selbiges gilt für die Rate an PPI (17%), bei bisher beschriebenen Raten von bis zu 11% [22].

Die Anfertigung und Implantation eines CMAC stellen eine Einzelfallentscheidung nach ausführlicher Aufklärung und Information des Patienten dar, oftmals im Rahmen einer „salvage procedure“ zur Remobilisation des Patienten und Wiederherstellung der für die Aktivitäten des alltäglichen Lebens benötigten Fähigkeiten.

Korrespondenzadresse

**Dr. med. Frank Sebastian Fröschen**

Department of Orthopaedics and Trauma Surgery, University Hospital Bonn
Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn,
Deutschland
Frank.Froschen@ukbonn.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F.S. Fröschen, T.M. Randau, S.G. Walter, F. Dally, D.C. Wirtz und S. Gravius geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen oder an menschlichem Gewebe wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethikkommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt.

Literatur

1. Khanduja V (2017) Total hip arthroplasty in 2017—Current concepts and recent advances. *Indian J Orthop* 51:357–358. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_367_17
2. EndoCert (2020) EndoCert-Jahresbericht 2020
3. Gravius S, Pagenstert G, Weber O, Kraska N, Röhrig H, Wirtz DC (2009) Acetabular defect reconstruction in revision surgery of the hip. Autologous, homologous or metal? *Orthopäde* 38:729–740. <https://doi.org/10.1007/s00132-009-1428-4>
4. Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG (2019) Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. *Arch Orthop Trauma Surg*. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03318-0>
5. Wirtz DC, Jaenisch M, Osterhaus TA, Gathen M, Wimmer M, Randau TM, Schildberg FA, Rössler PP (2020) Acetabular defects in revision hip arthroplasty: a therapy-oriented classification. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:815–825. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03379-6>
6. Walter SG, Randau TM, Gravius N, Gravius S, Fröschen FS (2019) Monoflanged custom-made acetabular components promote biomechanical restoration of severe acetabular bone defects by metallic defect reconstruction. *J Arthroplasty*. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.10.040>
7. Schmolders J, Koob S, Schepers P, Pennekamp PH, Gravius S, Wirtz DC, Placzek R, Strauss AC (2017)

Use of custom-made acetabular components (CMAC) as part of a two-stage procedure in patients with severe periacetabular bone loss

Objective: Implantation of custom-made acetabular components (CMAC) with load transmission onto the remaining bone stock and reconstruction of the “center of rotation” (COR) in cases of severe periacetabular bone defects.

Indications: Severe periacetabular bone loss (Paprosky type IIIA/B) with or without pelvic discontinuity after septic or aseptic loosening with inadequate load capacity of the dorsal pillar and/or large supraacetabular defects.

Contraindications: Acute or local infections, lack of compliance, taking into account the risks and complications: missing or limited expected postoperative functional gain, multimorbid patients with potential inoperability during the first and/or second intervention.

Surgical technique: Lateral transgluteal or posterolateral approach while protecting neurovascular and muscular structures. Preparation of the implant site based on preoperative planning with augmentation of bone defects as far as possible. Primarily stable anchoring with 2 angle-stable pole screws in the ilium, an optional pole screw in the pubic bone for determination of COR, and stabilization screws in the iliac wing (optionally angle-stable). Use of dual mobility cup according to the soft tissue tension and intraoperative stability.

Postoperative management: For the first 6 weeks postoperative partial weight-bearing (20 kg), followed by a gradual increase of the load (10 kg per week).

Results: Between 2008 and 2018, 47 patients with a Paprosky type III defect underwent implantation of a monoflanged CMAC. Main complication was a periprosthetic joint infection with subsequent need for implant removal in 9 of 10 cases. Harris Hip Score improved from 21.1 to 61.5 points. X-ray imaging displayed an angle of inclination of $42.3 \pm 5.3^\circ$, an anteversion of $16.8 \pm 6.2^\circ$, a ΔH of 0.5 ± 0.2 mm and a ΔV of 17.7 ± 1.1 mm according to Roessler et al.

Keywords

Hip · Hip arthroplasty · Acetabular bone loss · Custom-made acetabular component · Revision arthroplasty

- Lower limb reconstruction in tumor patients using modular silver-coated megaprotheses with regard to perimegaprosthesis joint infection: a case series, including 100 patients and review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 137:149–153. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2584-8>
8. Logroscino G, Campana V, Pagano S, Taccari F, Fantoni M, Saracco M (2019) Risk factors for failure of two-stage revision arthroplasty for infected hip prosthesis: review of the literature and single centre cohort analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 23:11. https://doi.org/10.26355/eurev_201904_17476
 9. Chiarlone F, Zanirato A, Cavagnaro L, Alessio-Mazzola M, Felli L, Burastero G (2020) Acetabular custom-made implants for severe acetabular bone defect in revision total hip arthroplasty: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:415–424. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03334-5>
 10. De Meo F, Cacciola G, Bellotti V, Bruschetta A, Cavaliere P (2018) Trabecular Titanium acetabular cups in hip revision surgery: mid-term clinical and radiological outcomes. *HIP Int* 28:61–65. <https://doi.org/10.1177/1120700018812992>
 11. Hipfl C, Janz V, Löchel J, Perka C, Wassilew GI (2018) Cup-cage reconstruction for severe acetabular bone loss and pelvic discontinuity: Mid-term results of a consecutive series of 35 cases. *Bone*

Joint J 100-B:1442–1448. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B11.BJJ-2018-0481.R1>

12. Steno B, Kokavec M, Necas L (2015) Acetabular revision arthroplasty using trabecular titanium implants. *Int Orthop* 39:389–395. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2509-5>
13. Löchel J, Janz V, Hipfl C, Perka C, Wassilew GI (2019) Reconstruction of acetabular defects with porous tantalum shells and augments in revision total hip arthroplasty at ten-year follow-up. *Bone Joint J* 101-B:311–316. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B3.BJJ-2018-0959.R1>
14. Russell SP, O'Neill CJ, Fahey EJ, Guerin S, Gul R, Harty JA (2020) Trabecular metal augments for severe acetabular defects in revision hip arthroplasty: a long-term follow-up. *J Arthroplasty*. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.12.033>
15. Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR (1978) Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am* 60:217–220
16. Wimmer MD, Randau TM, Petersdorf S, Pagenstert G, Weißkopf M, Wirtz DC, Gravius S (2013) Evaluation of an interdisciplinary therapy algorithm in patients with prosthetic joint infections. *Int Orthop* 37:2271–2278. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-1995-1>
17. Roessler PP, Jaenisch M, Kuhlmann M, Wacker M, Wagenhäuser PJ, Gravius S, Wirtz DC (2018) The augment-and-modular-cage revision system for

- reconstruction of severe acetabular defects—Two-year clinical and radiographic results. *Int Orthop*. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4271-6>
18. Kieser DC, Ailabouni R, Kieser SCJ, Wyatt MC, Armour PC, Coates MH, Hooper GJ (2018) The use of an Ossis custom 3D-printed tri-flanged acetabular implant for major bone loss: minimum 2-year follow-up. *Hip Int* 28(6):668–674. <https://doi.org/10.1177/1120700018760817>
 19. Moore AJ, Blom AW, Whitehouse MR, Goberman-Hill R (2015) Deep prosthetic joint infection: a qualitative study of the impact on patients and their experiences of revision surgery. *BMJ Open* 5:e9495. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009495>
 20. Burastero G, Cavagnaro L, Chiarlone F, Zanirato A, Mosconi L, Felli L, de Lorenzo FDR (2020) Clinical study of outcomes after revision surgery using porous titanium custom-made implants for severe acetabular septic bone defects. *Int Orthop* 44:1957–1964. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04623-9>
 21. Berasi CC, Berend KR, Adams JB, Ruh EL, Lombardi AV (2015) Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res* 473:528–535. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3969-z>
 22. Gladnick BP, Fehring KA, Odum SM, Christie MJ, DeBoer DK, Fehring TK (2018) Midterm survivorship after revision total hip arthroplasty with a custom triflange acetabular component. *J Arthroplasty* 33:500–504. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.09.026>

Fröschen FS, Randau TM, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2021) Risk factors for implant failure of custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss and combined pelvic discontinuity. *Technol Health Care* 1–9. <https://doi.org/10.3233/THC-202236>

Zielsetzung der Arbeit:

Ein Therapieversagen mit Notwendigkeit der Explantation des einliegenden individuellen Sonderimplantates ist bei Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten (Paprosky Typ III) eine schwerwiegende Komplikation. Das Ziel dieser Studie ist die Identifikation von spezifischen Risikofaktoren, die mit einem Therapieversagen mit Notwendigkeit der Explantation des einliegenden sonderangefertigten acetabulären Implantates assoziiert sind, um zukünftig die Möglichkeit zu haben (modifizierbare) Risikofaktoren präoperativ zu verbessern.

Material und Methoden:

70 Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten (Paprosky III mit oder ohne begleitende Beckendiskontinuität) sowie Notwendigkeit eines revisionsendoprothetischen Eingriffs am Hüftgelenk wurden in diese Studie eingeschlossen. Die Herstellung aller Implantate erfolgte auf Grundlage eines Dünnschicht-CTs des Beckens. Die Behandlung wurde im Falle einer postoperativen periprothetischen Infektion (PPI) oder einer aseptischen Lockerung (AL) mit Notwendigkeit der Explantation des einliegenden, sonderangefertigten, patientenindividuellen acetabulären Implantates als nicht erfolgreich gewertet.

Ergebnis:

Das durchschnittliche Follow-up betrug $41,9 \pm 34,8$ Monate (Spannweite: 1,5-120 Monate). Das Implantatüberleben bei letztem Follow-up betrug 75,7 % (53 von 70). In 17 Fällen musste das einliegende Implantat explantiert werden (15 PPI; 2 AL). Eine vorherige PPI als Indikation für den vorherigen revisionsendoprothetischen Eingriff ($p = 0.025$; OR 3.56 (95% CI: 1.14; 11.21)), eine zusätzliche Revision der femoralen Komponente ($p = 0.003$; OR 8.4 (95% CI: 1.75; 40.42)), eine Erkrankung des rheumatoiden Formenkreises ($p = 0.039$; OR 3.43 (95% CI: 1.01; 11.40)), ein erhöhtes präoperatives C-reaktives Protein (CRP) $> 15,2$ mg/L ($p = 0.015$; AUC: 0.7) und ein präoperatives Hämoglobin < 10.05 mg/dl ($p = 0.022$; AUC: 0.69) zeigten sich als

statistisch signifikante Risikofaktoren für ein Therapieversagen. Das Alter und der Body-Mass-Index (BMI) waren statistisch nicht signifikante Risikofaktoren für ein Implantatversagen.

Schlussfolgerung:

Risikofaktoren für ein Therapieversagen sind eine vorherige PPI, eine zusätzliche Revision der femoralen Komponente, eine Erkrankung des rheumatoiden Formenkreises, ein präoperativ erhöhtes CRP ($> 15,2$ mg/L) und ein präoperativ erniedrigter Hämoglobinwert ($< 10,05$ mg/dl). Die Kenntnis dieser Risikofaktoren und ihrer Cut-off-Werte kann hilfreich sein, um zukünftig die Therapie zu optimieren.

Risk factors for implant failure of custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss and combined pelvic discontinuity

Frank S. Fröschen^a, Thomas M. Randau^a, Nadine Gravius^a, Dieter C. Wirtz^a,
Sascha Gravius^b and Sebastian G. Walter^{c,*}

^aDepartment of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

^bDepartment of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Mannheim, Mannheim, Germany

^cDepartment of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Cologne, Cologne, Germany

Received 8 March 2020

Accepted 7 June 2021

Abstract.

BACKGROUND: Severe acetabular bone loss in revision total hip arthroplasty (RTHA), both with or without pelvic discontinuity, remains a great challenge in orthopaedic surgery.

OBJECTIVE: The aim of this study was to evaluate risk factors for failure of custom-made acetabular implants in RTHA.

METHODS: Seventy patients with severe acetabular bone loss (Paprosky Type III) and pelvic discontinuity, who required RTHA, were included in our study. All prostheses were constructed based on a thin-layer computed-tomography (CT) scan of the pelvis. The treatment was considered unsuccessful in the event of periprosthetic joint infection (PJI) or aseptic loosening (AL) with need for explantation of the custom-made acetabular implant.

RESULTS: The average follow-up was 41.9 ± 34.8 months (range 1.5–120). Implant survival at last follow-up was 75.7% (53 of 70). Explantation was necessary in 17 cases (15 PJI; 2 AL). Previous PJI as reason for RTHA ($p = 0.025$; OR 3.56 (95% CI: 1.14; 11.21)), additional revision of femoral components ($p = 0.003$; OR 8.4 (95% CI: 1.75; 40.42)), rheumatoid disease ($p = 0.039$; OR 3.43 (95% CI: 1.01; 11.40)), elevated preoperative CRP > 15.2 mg/l ($p = 0.015$; AUC: 0.7) and preoperative haemoglobin < 10.05 ($p = 0.022$; AUC: 0.69) were statistically significant risk factors associated with treatment failure. Age and BMI were not statistically significant contributing to implant failure.

CONCLUSION: Risk factors for treatment failure were a previous PJI, additional revision of femoral component, rheumatoid disease, elevated preoperative CRP and low preoperative haemoglobin. Awareness of these risk factors will help to improve future treatment standards.

Keywords: Revision total hip arthroplasty, pelvic discontinuity, acetabular bone loss, custom-made implant, risk factor, treatment failure, periprosthetic joint infection, aseptic loosening

*Corresponding author: Sebastian G. Walter, Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, University Hospital Cologne, Cologne, Germany. Tel.: +49 228 287 15477; Fax: +49 228 287 15044; E-mail: Sebastianwalter01@gmail.com.

1. Introduction

Total hip arthroplasty (THA) is currently the most successful and frequent performed orthopaedic joint replacement surgery in patients with osteoarthritis of the hip and failed conservative treatment. Worldwide, over 1 million total hip arthroplasties are performed per year [1]. Nevertheless, a major complication after THA is loosening of the acetabular component with need for revision surgery. The subsequent loss of periacetabular bone stock remains the main problem in acetabular revision surgery [2,3]. In severe cases implantation of a custom-made implant as an individualized treatment strategy is necessary. Treatment failure might necessitate a permanent girdlestone arthroplasty, especially in old and multimorbid patients.

To date, several studies have analysed risk factors for treatment failure after primary or revision total hip arthroplasty (RTHA) and could outline several factors e.g. previous PJI as indication for revision arthroplasty, age, obesity, preoperative anaemia or rheumatoid arthritis as host related factors [4–6]. Knowledge of these factors is essential, not only to inform the patient, but to optimize treatment in RTHA.

Although previous studies have described the use of custom-made implants, data analysing the specific risk factors for treatment failure in patients with need for a custom-made acetabular reconstruction are not described in literature [7–9]. The aim of this study was to identify possible risk factors that increase the risk of treatment failure. Our hypothesis was that treatment failure often occurs in patients with need for a custom-made implant due to a PJI, need for revision/implantation of the femoral component, a previous polymicrobial PJI (with or without detection of “difficult-to-treat” (dt) pathogens [10,11]) and that in addition certain (patient-specific) risk factors, such as age, a high BMI, an elevated C-reactive protein (CRP) and a low haemoglobin prior to surgery or rheumatoid arthritis (RA) favour treatment failure.

2. Material and methods

We performed a single-center, retrospective study including 70 consecutive patients between December 2008 and December 2018 with a Paprosky III periacetabular defect. Seventy patients were included in our study. See Table 1 for descriptive data of all patients.

In 30 of the patients, only the acetabular component was replaced during revision surgery, while in 40 of the patients, both the femoral and acetabular components had to be revised.

For 41 (58.6%) of the hips, the reason for revision surgery had been aseptic loosening of the previous acetabular component. In the other 29 (41.4%) hips, revision surgery had been due to PJI that had necessitated a two- or multi-staged procedure. In total, the mean number of previous hip surgeries for any reason before implantation of the custom-made implants had been 4.8 (range 1–43; 95% CI 3.5–6.5).

Inclusion criteria were the need for revision surgery in cases of severe periacetabular bone defects and the unfeasibility of biological downsizing or the use of standard implants, such as a cranial sockets or a modular revision system. The study was approved by our local institutional review board (Institutional Ethics Committee, No. 226/13). Patients with a severe periacetabular bone defect after explantation of the inlying prostheses due to a PJI were treated according to Wimmer et al. [12]. To exclude a persisting PJI, reimplantation was only performed after open revision with sampling and negative histopathological and microbiological evaluation. In patients with an aseptic loosening and removal of the acetabular component the remaining bone stock was protected by a large liner on the femoral component in between until replantation of the custom-made acetabular implant.

A thin-layer CT scan was performed preoperatively to acquire detailed planning shots. The custom-made implants used in this study were manufactured by Peter Brehm ($n = 52$) (Peter Brehm GmbH, Weisendorf, Germany), Implantcast ($n = 4$) (Implantcast GmbH, Buxtehude, Germany), Biomet ($n =$

Table 1
Descriptive summary of the clinical and laboratory data at admission (*)
and, for haemoglobin only, also postoperatively (#)

Number of patients (male/female)	70 (51 F, 19 M)
Age* (range) [years]	70.2 ± 11.7 (27–89)
BMI* (range) [kg/m ²]	27.4 ± 3.9 (18.8–39.2).
CRP* (range) [mg/l] (ref < 5.0)	10.9 ± 13.1 (0.5–85)
Leucocytes* (range) [/ μ l] (ref 3.9–10.2)	7.6 ± 2.6 (2.7–18.6)
Creatinin* (range) [mg/dl] (ref 0.7–1.2)	0.9 ± 0.3 (0.4–1.7)
Haemoglobin* (range) [mg/dl] (13.5–17.2)	12.1 ± 1.6 (9.5–15.6)
Haemoglobin# (range) [mg/dl] (13.5–17.2)	8.2 ± 1.1 (6.0–10.6)
INR* (range) (ref 0.8–1.1)	0.98 ± 0.07 (0.9–1.2)

#lowest haemoglobin within 48 h after surgery/before transfusion.

3) (Zimmer Biomet Deutschland GmbH, Freiburg im Breisgau, Germany) and AQ Implants ($n = 11$) (AQ Implants GmbH, Ahrensburg, Germany). The time between preoperative planning request and confirmation of the implant order was 25.9 ± 14 days. The required time between confirmation of the order to completion of the custom-made products and implantation was 92.9 ± 67.4 days.

Clinical and radiographic follow-up assessments were performed postoperatively at six weeks, six months, one year, and thereafter in 1-year intervals. The Harrison Hip Score (HHS) and the Visual Analogue Scale (VAS) were assessed preoperatively and again postoperatively at six weeks and at final follow-up [13]. The evaluation of the pre- and postoperative radiological imaging was carried out by three independent examiners in respect to new osteolysis, significant or progressive radiolucent lines in comparison with previous images, changes of the Center of rotation (COR) and migration of the acetabular or femoral prosthesis component.

The definitions of the THA complications workgroup were used to evaluate postoperative complications [14]. Treatment failure was defined as an increasing change of the COR (> 4 mm), screw failure, material failure or (recurrent) PJI with need for explantation as published by Roessler et al. [15].

2.1. Outcome analysis

Our endpoint was a successful implantation of the custom-made implant with absent of signs of implant dislocation, respectively migration as described by Roessler et al. or signs of infection at last follow-up [15]. According to our outcome analysis we defined two groups (“treatment success group” vs. “treatment failure group”) to determine risk factors for a failed procedure in terms of treatment failure with need for explantation of the inlying custom-made implant.

2.2. Statistical analysis

Data was collected in Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Richmond, USA). Statistical analysis was carried out with SPSS statistics 25 for Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Descriptive statistics, including arithmetic mean value and standard deviation were calculated. Data are given as means \pm standard deviation (SD) and ranges, if not indicated otherwise.

For statistical analysis, the nonparametric Mann-Whitney U test was performed for metric, not normally distributed, whereas Student t -test was performed for metric, normally distributed variables to assess the significands of possible risk factors between the “treatment success group” and the “treatment failure group”. In case of a statistically significant result, Receiver-Operator-Characteristic (ROC) curves were calculated to determine sensitivity and specificity for different cut-off values. Any probability value of less

Table 2

Summary of the clinical and laboratory data including Visual Analogue Scale (VAS), Harrison Hip Score (HHS) preoperative and at last follow-up (PJI: periprosthetic joint infection; AL: aseptic loosening)

	Treatment success	Treatment failure
Number of patients (male/female)	53 (37 F, 16 M)	17 (14 F, 3 M)
Age* (range) [years]	70.2 ± 12.9 (27–89)	70.1 ± 6.2 (54–80)
BMI* (range) [kg/m ²]	27.1 ± 3.9 (18.8–39.2)	27.7 ± 3.8 (22.3–35.1)
CRP* (range) [mg/l]	863 ± 94 (0.5–37)	17.9 ± 20.01 (1.9–85.5)
Leucocytes* (range) [/ μ l]	7.7 ± 2.6 (2.7–18.6)	7.6 ± 2.6 (3.3–12.4)
Creatinin* (range) [mg/dl]	0.82 ± 0.3 (0.4–1.6)	0.92 ± 0.4 (0.5–1.7)
Haemoglobin* (range) [mg/dl]	12.5 ± 1.7 (9.5–15.6)	11.5 ± 1.3 (9.8–13.6)
Haemoglobin [#] (range) [mg/dl]	8.2 ± 1.1 (6.1–10.6)	79 ± 1.0 (6.0–10.4)
INR* (range)	0.98 ± 0.07 (0.9–1.2)	0.99 ± 0.08 (0.9–1.2)
Number of previous surgeries (range)	3.9 ± 22 (1–11)	8.2 ± 11.3 (1–43)
Surgery time (cutting/suture) [min]	220.0 ± 70.2 (95–400)	248.2 ± 64.3 (156–397)
Hospital stay [days]	18.0 ± 10.2 (6–54)	22.2 ± 11.1 (11–54)
Follow-up [months]	41.8 ± 35.6 (1–120)	42.0 ± 33.3 (1.5–100)
Time planning/confirmation [days]	25.8 ± 13.9 (5–44)	25.6 ± 14.4 (5–44)
Time confirmation/reimplantation [days]	94.2 ± 70.4 (35–300)	88.9 ± 58.9 (35–220)
VAS preoperative	3.4 ± 1.5 (1–8)	2.7 ± 1.0 (1–5)
VAS at last follow-up	1.3 ± 1.4 (0–5)	2.7 ± 1.4 (0–4)
HHS preoperative	21.8 ± 10.6 (12–56)	18.2 ± 7.3 (12–38)
HHS at last follow-up	63.1 ± 10.9 (38–86)	47.0 ± 20.4 (20–75)
Reason for RTHA	18 PJI (12 F; 6 M)	11 PJI (9 F; 2 M)
	35 AL (25 F; 10 M)	6 AL (5 F; 1 M)
Additional revision of the femoral component	25/53 (47.1%; 16 F, 9 M)	15/17 (88.3%; 13 F, 2 M)
Patients with known rheumatoid disease	9/53 (16.9%; 5 F, 4 M)	7/17 (41.2%; 6 F, 1 M)
previous polymicrobial PJI	7/18 (38.8%)	5/11 (45.5%)
previous PJI with detection of “difficult-to-treat” pathogens	9/18 (50%)	5/11 (45.5%)

*laboratory data at admission. [#]lowest haemoglobin within 48 h after surgery/before transfusion.

than 0.05 was considered as statistically significant (alpha value = 0.05). Fisher’s exact chi square analysis was used to test for an association between “treatment success group” and the categorical variables: reason for RTHA, additional revision of femoral component, rheumatoid disease, previous polymicrobial PJI and previous PJI with detection of “difficult-to-treat” pathogens. Odds ratios were calculated for these categorical variables to evaluate the association (OR > 1 categorical variable is associated with higher odds of treatment failure; OR = 1 categorical variable does not affect treatment failure).

The phi coefficient was used to measure the association for two binary variables. Effect size (r ; small effect: ≤ 0.1 ; medium effect: ≤ 0.3 , large effect: ≤ 0.5) was measured according to Cohan et al. for metric variables [16].

3. Results

The mean follow-up was 41.9 ± 34.8 months (range 1.5–120). Table 2 shows the clinical and laboratory data separated for our two groups (“treatment success” and “treatment failure”). There was a statistically significant difference between the two groups for preoperative CRP ($p = 0.015$) and preoperative haemoglobin ($p = 0.022$).

ROC analysis revealed a cut-off value of 15.2 mg/l [AUC: 0.7; Sensitivity: 86.8%, Specificity 64.7%; reference: < 5.0 mg/l] for preoperative CRP and a cut-off value of 10.05 g/l [AUC: 0.69; Sensitivity: 90.6%, Specificity 94.1%; reference: 13.5–17.2 mg/dl] for preoperative haemoglobin. Age ($p = 0.35$) and BMI ($p = 0.53$) were not statistically significant associated with treatment failure. Figure 1 depicts

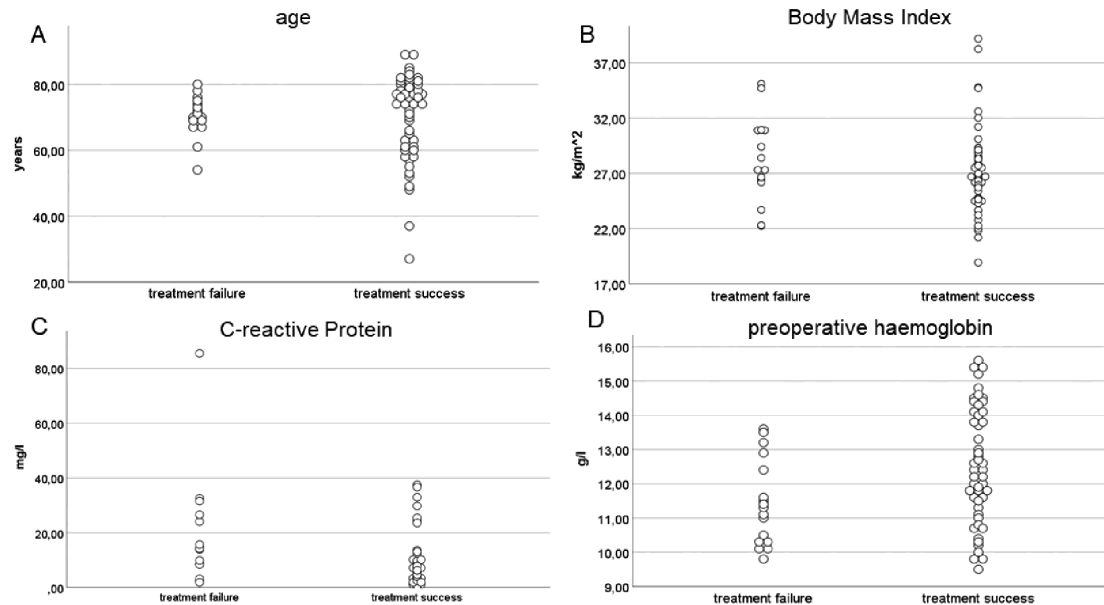


Fig. 1. Scatterplots of the patient-specific risk factors age, Body Mass Index, C-reactive protein (CRP) and preoperative haemoglobin.

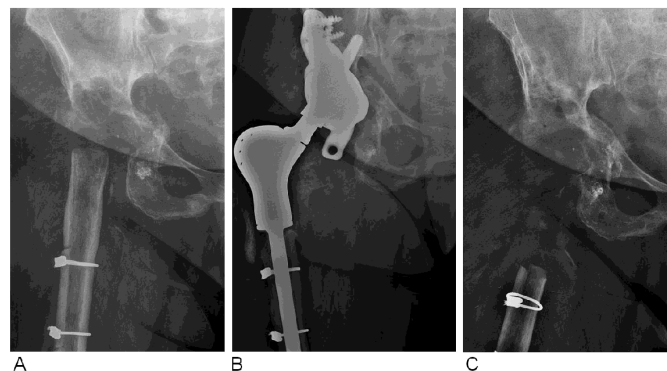


Fig. 2. Failed RTHA. Radiological follow-up before implantation of a custom-made acetabular component (A), before explantation due to a chronic PJI with consecutive loosening (B) and after explantation at last follow-up (C).

the scatterplots of the tested patient-specific risk factors age, Body Mass Index, C-reactive protein (CRP) and preoperative haemoglobin.

Among the included 70 patients explantation was necessary in 17 cases (24.3%), whereas in 53 cases (75.7%) clinical and radiological follow-up showed a good clinical function and a stable inlying protheses without vertical or horizontal migration, screw breakage or signs of infection. Figure 2 depicts exemplary the situation before RTHA and after explantation.

Fifteen patients out of these 17 cases needed explantation of the custom-made implant because of PJI, and the remaining 2 patients needed explantation because of aseptic loosening of the implant.

Table 3

Statistical evaluation of categorial variables for treatment failure after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants (OR: odds ratio; CI: confidence interval; R: effect size; CMAI: custom-made acetabular implant; PJI: periprosthetic joint infection; dtt: “difficult-to-treat” pathogen according to the criteria published by Zimmerli et al. and Renz et al. [10,11])

	OR	95% CI	<i>p</i> value	<i>R</i>
Additional revision of femoral component	8.4	1.75; 40.42	0.003	0.356
Reason of CAMI	3.56	1.14; 11.21	0.025	0.25
Rheumatoid disease	3.43	1.01; 11.40	0.039	0.247
Previous polymicrobial PJI	1.02	0.29; 4.56	0.97	0.005
Previous PJI with detection of dtt	1.13	0.26; 4.94	0.87	0.029

Ten out of these 15 patients presented themselves after dismissal with a chronic PJI (duration of symptoms > 4 weeks). In all cases RTHA had initially been performed as part of a two-stage procedure due to PJI. Diagnostics revealed in all 10 cases detection of the previous pathogen. In these cases, retention of the implants was not possible and explantation had to be performed. We counted these cases as reinfection. 7 patients suffered an acute PJI. In all cases DAIR (debridement, antibiotics, irrigation, and retention) was performed, whereas only in 5 of 7 cases explantation could not be avoided to a persistence of the infection. In one case explantation had been necessary due to PJI that had been diagnosed only 3 weeks after surgery. The explantation in this case had been performed 1.5 months later, after failed DAIR.

On average, explantation due to PJI had been performed after 40.2 ± 33.2 months (range: 1.5–100 months). In the 2 cases with aseptic loosening, the explantation had been performed after 35 and after 86 months, respectively.

Table 3 shows the analysed categorial variables for treatment failure. Significant potential risk factors for treatment failure were the following: PJI as reason for RTHA [$p = 0.025$; OR 3.56 (95% CI: 1.14; 11.21); $r = 0.36$], additional revision of femoral component [$p = 0.003$; OR 8.4 (95% CI: 1.75; 40.42); $r = 0.25$] and rheumatoid disease [$p = 0.039$; OR 3.43 (95% CI: 1.01; 11.40), $r = 0.25$]. A previous polymicrobial PJI respectively the detection of “difficult-to-treat” pathogens was not a significant risk factor for treatment failure.

4. Discussion

In our study, we investigated relevant risk factors for treatment failure in patients with need for a custom-made acetabular reconstruction after RTHA. The treatment failure rate with need for explantation of the custom-made implants was 24.3%. Our failure rates were thus higher than those published in comparable studies, which have described failure rates of 0% (Christie et al.), 11% (Wind et al.), and 12% (Taunton et al.) for custom-made implants [17–20].

It is difficult to identify precisely why the failure rates in these studies were lower than in our study. A possible explanation might be that there was a selection bias in our study due to the relatively high percentage of patients (41.4%) who needed a custom-made implant after PJI in a two or multiple stage procedure after septic loosening of the previously inlying implant, although open revision with sampling did not show signs of a persisting infection.

Statistically significant risk factors in our study for treatment failure were a previous PJI as reason for RTHA, an additional revision of femoral component during implantation and rheumatoid disease. An elevated CRP and a low haemoglobin at admission as host related factors were additional risk factors for

treatment failure. In contrast age, BMI, the number of previous surgeries, a previous polymicrobial PJI or a previous PJI with detection of “difficult-to-treat” pathogen as defined by Zimmerli et al. [10] and Renz et al. [11] did not differ significantly between our two groups (Tables 2 and 3).

Previous studies tried to define risk factors for PJI and subsequent treatment failure after THA, with partly inhomogeneous results [4,6]. Described risk factors for PJI with subsequent treatment failure could not always be confirmed by others [4]. Fagotti et al. reported PJI as treatment indication for a RTHA as a risk factor for reinfection with treatment failure, which is in accordance with our results [21]. In this context there are no data available if revision of the femoral and acetabular component has a higher risk of PJI than the sole revision of one component. But it can be assumed that extended RTHA might be associated with a higher risk for treatment failure as reports for megaprotheses have indicated [22,23]. Interestingly surgery times did not differ between our two groups. In contrast Hoberg et al. reported similar outcomes between two-stage revision for infection and aseptic hip revision arthroplasty [24].

In literature, an additional high risk factor for development of a PJI and subsequent failure is RA [25], which supports our results as 7 out of 17 (41.2%) were patients with RA. Due to our low number of patients with RA we did not investigate the influence of the different perioperative immunosuppressive medications such as steroids or biologic response modifiers.

Logroscino et al. reported an lower preoperative CRP in patients with a successful two-stage RTHA after PJI [5], which is supported by our results as those patients with a successful treatment showed a significant lower preoperative CRP than those with treatment failure after surgery.

An important factor in RTHA is the blood loss and thus the preoperative hemoglobin. In our study patients with treatment failure had a significant lower preoperative hemoglobin. In this context we must admit that an exact calculation of the total blood loss (intraoperative and postoperative over wound drainage) was not possible. Sharqzah et al. could show that blood loss and transfusion rates were higher in patients with need for a two-stage procedure than those undergoing a one-stage procedure [26]. This is relevant as Tornero et al. and Everhart et al. could demonstrate a dose dependent relationship between allogenic red blood-cell transfusion and risk of PJI after arthroplasty. Therefore best possible patient blood management might be a low risk but nevertheless effective option to alter this risk factor.

Tan et al. reported that RTHA after polymicrobial PJI or detection of a “difficult-to-treat” pathogen is associated with a higher treatment failure rate and need for explantation [27]. Our data support the fact that a previous PJI as reason for a custom-made RTHA is related to a worse outcome in comparison. Nevertheless, we could not confirm that patients with a previous polymicrobial infection or detection of a “difficult-to-treat” pathogen have a higher risk of treatment failure and a potentially worse acetabular defect situation [28]. It has been described previously that number of revisions in patients undergoing RTHA by custom-made implants increases risk of failure exponentially [29].

Age and obesity have been described as independent risk factors for treatment failure after PJI in THA and RTHA [4–6]. Although we could not report an association between treatment failure and the BMI in our study. Obesity remains a challenging situation as higher surgical times and increased surgical incisions to gain the needed exposure have been reported [6]. Yet, altering this in contrast to the patients age modifiable factor could be helpful.

Our study does, however, have several potential limitations. The first limitation of our study is its retrospective design. A second limitation is that the sample size in our study was relatively small for a retrospective study, although we included all patients, who underwent RTHA over the course of 10 years in our tertiary endoprosthetic referral center. Nonetheless, our sample size easily equals that of comparable studies, so, to our best knowledge, our study still remains one of the largest studies in this thematic field to date. However, the study was intended to cover a reality-based patient selection without strong restrictions due to inclusion criteria or comorbidities.

5. Conclusion

The main complication of RTHA remains PJI with need for explantation. Previous PJI, additional revision of femoral component, rheumatoid disease, elevated preoperative CRP and low preoperative haemoglobin are risk factors for failure. Knowing these factors responsible for failure of custom-made acetabular implants could lead to a closer monitoring postoperatively and may, if possible, allow preoperative optimization.

Conflict of interest

None to report.

References

- [1] Khanduja V. Total hip arthroplasty in 2017 – current concepts and recent advances. *Indian J Orthop.* 2017; 51: 357-358. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_367_17.
- [2] Schmolders J, Friedrich MJ, Michel RD, Randau TM, Wimmer MD, Strauss AC, Kohlhof H, Wirtz DC, Gravius S. Acetabular defect reconstruction in revision hip arthroplasty with a modular revision system and biological defect augmentation. *Int Orthop.* 2015; 39: 623-630. doi: 10.1007/s00264-014-2533-5.
- [3] Friedrich MJ, Schmolders J, Michel RD, Randau TM, Wimmer MD, Kohlhof H, Wirtz DC, Gravius S. Management of severe periacetabular bone loss combined with pelvic discontinuity in revision hip arthroplasty. *Int Orthop.* 2014; 38: 2455-2461. doi: 10.1007/s00264-014-2443-6.
- [4] Argenson JN, Arndt M, Babis G, Battenberg A, Budhiparama N, Catani F, Chen F, de Beaubien B, Ebied A, Esposito S, Ferry C, Flores H, Giorgini A, Hansen E, Hernugrahanto KD, Hyonmin C, Kim T-K, Koh JJ, Komnos G, Lausmann C, Loloi J, Lora-Tamayo J, Lumban-Gaol I, Mahyudin F, Mancheno-Losa M, Marculescu C, Marei S, Martin KE, Meshram P, Paprosky WG, Poultides L, Saxena A, Schwechter E, Shah J, Shohat N, Sierra RJ, Soriano A, Stefánsdóttir A, Suleiman LI, Taylor A, Triantafyllopoulos GK, Utomo DN, Warren D, Whiteside L, Wouthuyzen-Bakker M, Yombi J, Zmistowski B. Hip and knee section, treatment, debridement and retention of implant: proceedings of international consensus on orthopedic infections. *J Arthroplasty.* 2019; 34: 399-419. doi: 10.1016/j.arth.2018.09.025.
- [5] Logroscino G, Campana V, Pagano S, Taccari F, Fantoni M, Saracco M. Risk factors for failure of two-stage revision arthroplasty for infected hip prosthesis: review of the literature and single centre cohort analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 23: 11. doi: 10.26355/eurrev_201904_17476.
- [6] Alamanda VK, Springer BD. Perioperative and modifiable risk factors for periprosthetic joint infections (PJI) and recommended guidelines. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018; 11: 325-331. doi: 10.1007/s12178-018-9494-z.
- [7] Walter SG, Randau TM, Gravius N, Gravius S, Fröschen FS. Monoflanged custom-made acetabular components promote biomechanical restoration of severe acetabular bone defects by metallic defect reconstruction. *J Arthroplasty.* 2019; S0883540319310174. doi: 10.1016/j.arth.2019.10.040.
- [8] Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG. Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019. doi: 10.1007/s00402-019-03318-0.
- [9] Chiarlone F, Zanirato A, Cavagnaro L, Alessio-Mazzola M, Felli L, Burastero G. Acetabular custom-made implants for severe acetabular bone defect in revision total hip arthroplasty: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020; 140: 415-424. doi: 10.1007/s00402-020-03334-5.
- [10] Zimmerli W, Trampuz A, Ochsner PE. Prosthetic-Joint Infections. *N Engl J Med.* 2004; 351: 1645-54.
- [11] Renz N, Perka C, Trampuz A. Management of periprosthetic infections of the knee. *Orthop.* 2016; 45: 65-71. doi: 10.1007/s00132-015-3217-6.
- [12] Wimmer MD, Randau TM, Petersdorf S, Pagenstert GI, Weißkopf M, Wirtz DC, Gravius S. Evaluation of an interdisciplinary therapy algorithm in patients with prosthetic joint infections. *Int Orthop.* 2013; 37: 2271-2278. doi: 10.1007/s00264-013-1995-1.
- [13] Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am.* 1969; 51: 737-755.
- [14] Healy WL, Iorio R, Clair AJ, Pellegrini VD, Della Valle CJ, Berend KR. Complications of total hip arthroplasty: standardized list, definitions, and stratification developed by the hip society. *Clin Orthop Relat Res.* 2016; 474: 357-364. doi: 10.1007/s11999-015-4341-7.

- [15] Roessler PP, Jaenisch M, Kuhlmann M, Wacker M, Johannes Wagenhäuser P, Gravius S, Wirtz DC. The augment-and-modular-cage revision system for reconstruction of severe acetabular defects – two-year clinical and radiographic results. *Int Orthop*. 2018. doi: 10.1007/s00264-018-4271-6.
- [16] Cohen J. A power primer. *Psychol Bull*. 1992; 112: 155-159.
- [17] Christie MJ, Barrington SA, Brinson MF, Ruhling ME, DeBoer DK. Bridging massive acetabular defects with the triflange cup: 2- to 9-year results. *Clin Orthop*. 2001; 216-227.
- [18] Berasi CC, Berend KR, Adams JB, Ruh EL, Lombardi AV. Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res*. 2015; 473: 528-535. doi: 10.1007/s11999-014-3969-z.
- [19] Taunton MJ, Fehring TK, Edwards P, Bernasek T, Holt GE, Christie MJ. Pelvic discontinuity treated with custom triflange component: a reliable option. *Clin Orthop Relat Res*. 2012; 470: 428-434. doi: 10.1007/s11999-011-2126-1.
- [20] Wind MA, Swank ML, Sorger JL. Short-term results of a custom triflange acetabular component for massive acetabular bone loss in revision THA. *Orthopedics*. 2013; 36: e260-e265. doi: 10.3928/01477447-20130222-11.
- [21] Fagotti L, Tatka J, Salles MJC, Queiroz MC. Risk factors and treatment options for failure of a two-stage exchange. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018; 11: 420-427. doi: 10.1007/s12178-018-9504-1.
- [22] Pilge H, Gradl G, von Eisenhart-Rothe R, Gollwitzer H. Incidence and outcome after infection of megaprotheses. *HIP Int*. 2012; 22: 83-90. doi: 10.5301/HIP.2012.9576.
- [23] Schmolders J, Koob S, Schepers P, Pennekamp PH, Gravius S, Wirtz DC, Placzek R, Strauss AC. Lower limb reconstruction in tumor patients using modular silver-coated megaprotheses with regard to perimegaprosthesis joint infection: a case series, including 100 patients and review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2017; 137: 149-153. doi: 10.1007/s00402-016-2584-8.
- [24] Hoberg M, Konrads C, Engelien J, Oschmann D, Holder M, Walcher M, Steinert A, Rudert M. Similar outcomes between two-stage revisions for infection and aseptic hip revisions. *Int Orthop*. 2016; 40: 459-464. doi: 10.1007/s00264-015-2850-3.
- [25] Hsieh P-H, Huang K-C, Shih H-N. Prosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: an outcome analysis compared with controls. *PLoS ONE*. 2013; 8: e71666. doi: 10.1371/journal.pone.0071666.
- [26] Sharqzad AS, Cavalheiro C, Zahar A, Lausmann C, Gehrke T, Kendoff D, Parvizi J, Citak M. Blood loss and allogeneic transfusion for surgical treatment of periprosthetic joint infection: a comparison of one- vs. two-stage exchange total hip arthroplasty. *Int Orthop*. 2018. doi: 10.1007/s00264-018-4137-y.
- [27] Tan TL, Kheir MM, Tan DD, Parvizi J. Polymicrobial periprosthetic joint infections: outcome of treatment and identification of risk factors. *J Bone Jt Surg*. 2016; 98: 2082-2088. doi: 10.2106/JBJS.15.01450.
- [28] Walter SG, Thomas TS, Kenndoff D, Thomas W. Mid-term follow-up after all-size acetabular revision and proposal for a stability classification system. *Hip Int*. 2020; 30(4): 431-437. doi: 10.1177/1120700019839698.
- [29] Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG. Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series. *Hip Int*. 2020; 30(1_suppl): 64-71. doi: 10.1177/1120700020928247.

Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2020) Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series. *HIP Int* 30:64–71. <https://doi.org/10.1177/1120700020928247>

Zielsetzung der Arbeit:

Zur Behandlung von Patienten mit ausgeprägten Knochendefekten (Paprosky Typ III) und zudem zuvor bereits gescheiterter Versorgung mit einer sonderangefertigten acetabulären Komponente (CMAC) gibt es in der Literatur bislang keine Daten.

Das Ziel dieser Studie ist die Beschreibung des Outcomes nach einem „zweiten“ revisionsendoprothetischen Eingriff am Hüftgelenk mit Implantation einer CMAC nach zuvor bereits fehlgeschlagener Rekonstruktion mit einer CMAC.

Material und Methoden:

Es wurden 4 Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten (Paprosky IIIB) und Notwendigkeit eines zweiten revisionsendoprothetischen Eingriffs am Hüftgelenk sowie zuvor, aufgrund einer periprothetischen Infektion, fehlgeschlagener acetabulärer Rekonstruktion mit einem CMAC in diese Studie eingeschlossen. Die Herstellung aller Implantate erfolgte auf Grundlage eines Dünnschicht-CTs des Beckens. Im Falle eines periprothetischen Infektes oder einer aseptischen Lockerung mit Notwendigkeit einer Explantation des einliegenden CMACs, wurde der zweite revisionsendoprothetische Eingriff als fehlgeschlagen gewertet.

Ergebnis:


Die Rate des Therapieerfolgs nach zweitem revisionsendoprothetischem Eingriff mit Implantation eines CMAC betrug 50 % (2 von 4). Es zeigte sich kein Unterschied in der visuellen Analogskala (VAS) und dem Harris Hipp Score (HHS) nach dem zweiten revisionendoprothetischen Eingriff (VAS-Spannweite: 2-4; HHS-Spannweite: 45-58 Punkte) im Vergleich mit den Werten nach erstmaliger Implantation, jedoch vor Symptombeginn (VAS-Spannweite: 2-4; HHS-Spannweite: 47-58 Punkte). Bei den beiden Patienten mit Therapieversagen des zweiten CMACs erfolgte die Explantation aufgrund einer erneuten periprothetischen Infektion mit Nachweis der vorbekannten Pathogene. Die Patienten mit Therapieversagen des zweiten CMAC benötigten nach Explantation des ersten CMAC eine höhere Anzahl an Revisionsoperationen zur

Wundkonsolidierung im Vergleich zu den Patienten mit Therapieerfolg des zweiten CMAC.

Schlussfolgerung:

Bei Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten und vorherig fehlgeschlagenem Revisionseingriff mit einem CMAC, stellt ein erneuter revisionsendoprothetischer Eingriff am Hüftgelenk mit Implantation eines CMAC eine solide Behandlungsoption im Falle eines „unkomplizierten“ mehrzeitigen Verlaufs (d.h. ohne Infektpersistenz nach Explantation) dar. Obwohl das Outcome bzw. die klinische Funktion offenbar durch einen solchen „zweiten Versuch“ nicht negativ beeinflusst wird, ist die Komplikationsrate und das Risiko einer Reinfektion nichtsdestotrotz hoch.

Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series

HIP International
2020, Vol. 30(1S) 64–71
© The Author(s) 2020
Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/1120700020928247
journals.sagepub.com/home/hpi


Frank S Fröschen¹, Thomas M Randau¹, Gunnar T R Hischebeth²,
Nadine Gravius¹, Dieter C Wirtz¹, Sascha Gravius^{1,3}
and Sebastian G Walter¹

Abstract

Background: Failed reconstruction in cases of severe acetabular bone loss, with or without pelvic discontinuity, in revision total hip arthroplasty (rTHA) remains a great challenge in orthopaedic surgery. The aim of this study was to describe the outcome of a “second” rTHA with “custom-made acetabular components (CMACs)” after a previously failed reconstruction with CMACs.

Methods: 4 patients with severe acetabular bone loss (Paprosky Type IIIB), who required a second rTHA after a previously failed reconstruction with CMAC, due to prosthetic joint infection (PJI), were included in our retrospective study. All prostheses had been constructed on the basis of thin-layer computed-tomography scans of the pelvis. The second rTHA was considered unsuccessful in the event of PJI or aseptic loosening (AL) with need for renewed CMAC explantation.

Results: The treatment success rate after second rTHA with a CMAC was 50% (2 of 4). In the successful cases, the visual analogue scale (VAS) score and Harris Hip Score (HHS) after the second rTHA (VAS range 2–4; HHS range 45–58 points) did not differ from those after the first rTHA, before onset of symptoms (VAS: range 2–4; HHS: range 47–55 points). In the failed cases, the second CMACs needed to be explanted due to PJI, with renewed detection of previous pathogens. Patients with treatment failure of the second CMAC had required a higher number of revision surgeries after explantation of the first CMAC than patients with a successful outcome.

Conclusions: In patients with severe acetabular bone loss and previously failed rTHA with CMACs, repeat rTHA with a CMAC may be a solid treatment option for patients with an “uncomplicated” multi-stage procedure, i.e., without persisting infection after explantation of the original CMAC. While the outcome in terms of clinical function does not appear negatively affected by such a “second attempt,” the complication rate and risk of reinfection, nonetheless, is high.

Keywords

Acetabular bone loss, aseptic loosening, custom-made acetabular component, pelvic discontinuity, periprosthetic joint infection, revision total hip arthroplasty, risk factor, treatment failure

Date received: 6 February 2020; accepted: 29 April 2020

¹Department of Orthopaedics and Trauma Surgery, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

²Institute of Medical Microbiology, Immunology and Parasitology, University Hospital Bonn, Bonn, Germany

³Orthopaedic and Trauma Surgery Centre, University Hospital Mannheim, Medical Faculty Mannheim of the University of Heidelberg, Mannheim, Germany

Corresponding author:

Frank S Fröschen, Department of Orthopaedics and Trauma Surgery, University Hospital Bonn, Sigmund-Freud-Straße 25, Bonn, 53127, Germany.

Email: Frank.Froeschen@ukbonn.de

Introduction

Total hip arthroplasty (THA) is currently the most successful and most frequently performed orthopaedic joint replacement surgery in patients with osteoarthritis of the hip and failed conservative treatment. Worldwide, over 1 million total hip arthroplasties are performed per year.¹ As recent studies have shown, a major complication after THA is loosening of the acetabular component with need for revision surgery. The subsequent loss of periacetabular bone stock in such cases is the main problem in acetabular revision surgery.^{2,3} In severe cases of bone loss, implantation of a “custom-made acetabular component” (CMAC) is, therefore, needed as an individualised treatment strategy. Especially in old and multimorbid patients, treatment failure may necessitate a permanent girdlestone arthroplasty, with severe reduction in mobility.

To date, several studies have described the use of CMACs as a treatment strategy that delivers good clinical results for patients with severe acetabular bone loss.^{4,5} Nonetheless, postoperative periprosthetic joint infection (PJI) remains 1 of the devastating complications after revision total hip arthroplasty (rTHA). Whereas the incidence of PJI after primary arthroplasty is described as ranging between 0.5% and 2%, the incidence rises to 30% after rTHA with megaprotheses, and to 43% in cases with previous PJI.^{6,7}

To our knowledge, there is, to date, no available data in regard to the outcome and reinfection rate in patients who underwent rTHA with a CMAC a second time after a previously failed rTHA with a CMAC.

Knowledge of the outcome of such repeated attempts could prove helpful, not only in terms of being able to advise patients better, but also in terms of optimising rTHA treatment.

The aim of this case study was thus to describe the outcome and arising complications in patients who had undergone rTHA with CMACs a second time after a first unsuccessful treatment attempt with necessitated explantation of the original CMAC.

Our hypothesis was that the treatment success rate in patients with need for a second CMAC is similar to that of patients with only one CMAC, and, further, that, after treatment failure of the second CMAC, repetitive revision surgery is needed until wound consolidation. Our second hypothesis was that the clinical outcome after a second CMAC does not differ from that after only 1 CMAC.

Materials and methods

We performed a single-centre, retrospective case study including 4 consecutive patients, treated between December 2008 and December 2018, with a Paprosky IIIB or AAOS type III/IV periacetabular defect. All patients had undergone a second CMAC-rTHA after failure of a previous rTHA with a CMAC.

The inclusion criteria were, firstly, the renewed need for revision surgery with a CMAC due to severe periacetabular bone defects and the unfeasibility of a biological defect reconstruction with the aim for downsizing of the existing periacetabular defect and subsequent use of standard implants, such as a cranial socket or a modular revision system, and, secondly, failure of previous rTHA with subsequent need for explantation of the original CMAC.

The study was approved by our local institutional review board (Institutional Ethics Committee, No. 226/13). Written informed consent was obtained from all patients. Patients with a severe periacetabular bone defect after explantation of a CMAC due to a PJI were treated in a multi-stage procedure, according to Wimmer et al.⁸ To exclude persisting PJI, implantation of the second CMAC was performed only after the histopathological and microbiological results from samples collected during open revision surgery were negative.

A thin-layer CT scan was performed preoperatively to acquire detailed planning shots. All eight of the custom-made implants (4 “original” CMACs, 4 “new” CMACs) used in this study were manufactured either by Peter Brehm ($n=6$) (Peter Brehm GmbH, Weisendorf, Germany) or by AQ Implants ($n=2$) (AQ Implants GmbH, Ahrensburg, Germany).

Clinical and radiographic follow-up assessments were performed postoperatively at 6 weeks, 6 months, and 1 year, and, thereafter, in 1-year intervals. The Harris Hip Score (HHS) and the visual analogue scale (VAS) were assessed preoperatively and again postoperatively during follow-up.⁹ The evaluation of the pre- and postoperative radiological imaging was carried out by 3 independent examiners in respect to new osteolysis, significant or progressive radiolucent lines in comparison with previous images, changes of the “centre of rotation” (COR), and migration of the acetabular or femoral prosthesis component.

The definitions of the THA complications workgroup were used to evaluate postoperative complications.¹⁰ Treatment failure was defined as an increasing change of the COR (>4 mm), screw failure, material failure, or (recurrent) PJI with need for explantation of the CMACs, as published by Roessler et al.¹¹

Outcome analysis

The endpoint of this study was defined as successful implantation of a second CMAC, without signs of implant dislocation or migration, or of infection at last follow-up, as described by Roessler et al.¹¹

Statistical analysis

Data was collected in Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Richmond, USA) and SPSS statistics 25 for

Windows (SPSS, Inc, an IBM company, Chicago, IL, USA).

Results

4 patients (1–4) underwent implantation of a second custom-made acetabular implant after treatment failure that necessitated explantation of the first CMAC. For the patients' demographic data see Table 1.

For all 4 patients, the reason for the first rTHA with CMAC had been PJI, with need for a two-stage procedure. In all of these cases, there had not been any microbiological or histopathological signs for a persisting infection in samples collected during previous revision surgery. At first CMAC-rTHA, all patients, with the exception of patient 3,

had needed implantation of a prosthesis that replaced the proximal femur (see Table 2). Following the first CMAC-rTHA, patients 1–3 had needed revision surgery for various reasons prior to explantation, such as a persisting wound secretion (patient 1, 12 days after implantation) or a periprosthetic femoral fracture (patients 1 and 3; 57, respectively, 116 days, after implantation). Patient 4 had not required revision surgery prior to admission with a chronic PJI that necessitated explantation of the CMAC.

In all 4 patients, explantation of the original CMAC had been necessary because of chronic PJI that had been diagnosed at next presentation, with a duration of symptoms >4 weeks.

After explantation of the original CMAC, patient 1 had needed wound revision surgery 13 days later, due to persisting wound secretion. Patient 2 had needed 4 revisions within 9 weeks after explantation of the first CMAC due to a persisting infection, followed by 2 wound revisions due to a superinfected hematoma, 4 months after explantation. In contrast, patient 3 had needed revision surgery due to a persisting infection that required 2 cycles of negative-pressure wound therapy (NPWT) and resection of the distal femur before wound consolidation. Patient 4, on the other hand, had needed revision surgery due to acute bleeding within 24 hours after explantation of the original CMAC. Microbiological evaluation of the intraoperative samples could identify the pathogen responsible for explantation of the original CAMC. In all cases, microbiological

Table 1. Descriptive summary of patient data after retrospective evaluation at first and second rTHA with CMACs.

Pat. ID	Age (years)	Sex	BMI (kg/m ²)	Reason for rTHA
1	67.98/73.59	F	27.6/25.6	PJI
2	70.09/72.37	F	31.6/29.9	PJI
3	74.76/79.26	F	26.6/24.8	PJI
4	61.26/63.58	F	34.7/33.3	PJI

BMI, body mass index; F, female; PJI, periprosthetic joint infection; rTHA, revision total hip arthroplasty.

Table 2. Descriptive summary of patient data for first rTHA with CMAC.

Pat. ID	Type of endoprotheses	Operation time (cutting/suture time (minutes))	Length of hospital stay (days)	Postoperative revisions ^a (number of times)	Time implantation to explantation (months)	Pathogens ^b
1	CMAC, prox. modular femur replacement	382	33	Yes, wound revision (1), periprosthetic femoral fracture with need for explantation of the femoral component (1), Explantation due to PJI (1)	3.68	S. epidermidis , <i>S. aureus</i> , <i>P. acnes</i>
2	CMAC, prox. modular femur replacement	240	14	Yes, Explantation due to chronic PJI (1)	20.8	S. epidermidis , <i>E. faecalis</i>
3	CMAC, cementless modular femoral stem	225	15	Yes, change to constrained liner (1), osteosynthesis of periprosthetic femoral fracture (1), explantation due to chronic PJI (1)	50.9	S. epidermidis
4	CMAC, proximal modular femur replacement	290	14	Yes, explantation due to chronic PJI (1), wound revision for haematoma (2)	21.4	S. epidermidis

CI, confidence interval; CMAC, custom-made acetabular component.

^aRevision surgery in chronological order after implantation.

^bPathogens detected during previous exchange surgery in bold letters.

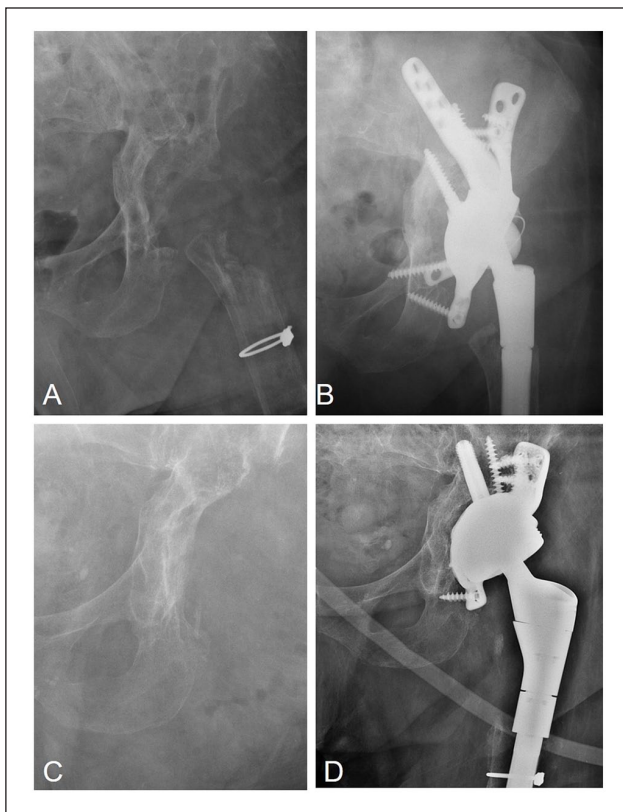


Figure 1. Preoperative anteroposterior radiograph for patient 3 before (A, C) and after (B, D) revision arthroplasty with custom-made acetabular components.

examination of samples taken during explantation of the first CAMC demonstrated the presence of the same pathogens that had originally been identified during explantation of the inlying implant prior to the first CMAC (see Table 2). The time between implantation and explantation of the original CMAC varied between 3.7 and 50.9 months.

Following explantation of the original CAMC and wound consolidation, all four patients had undergone open sampling. Implantation of the second CMAC was performed only in the absence of signs for a persisting infection (Table 2) (Figures 1 and 2). Figure 3 exemplifies the preoperative 3D planning proposal.

The outcome of the second rTHA with CMACs, was successful for patients 1 and 4. The patient data for the second rTHA with CMAC is summarised in Table 3. Patients 2 and 3, however, presented with chronic PJI and need for explanation of the second CMAC at 12.9 months (patient 2), respectively, at 26.3 months (patient 3) after the second CMAC. Both of these patients had also needed revision surgery prior to explantation of the second CMAC. In the case of patient 2, revision surgery had been necessary due to a wound healing disorder, 10 days postoperatively, without microbiological detection of pathogens. Patient 3, on the other hand, had needed revision surgery, with exchange of the inlying liner to a tripolar cup and



Figure 2. Preoperative anteroposterior radiograph for patient 4 before (A, C) and after (B, D) revision arthroplasty with custom-made acetabular components.

reconstruction of the offset, due to recurrent dislocations (third dislocation without trauma) 23.8 weeks after implantation of the second CMAC. In the end, patient 3 had additionally needed hip disarticulation for infect consolidation because the surrounding soft-tissues had been so heavily affected that local consolidation of the infection was not possible. Following explantation of the second CMAC, patients 2 and 3 had both needed revision surgery: in the case of patient 2, wound revision for hematoma followed by 4 cycles of NPWT was necessary until wound consolidation and wound closure was possible. In contrast, patient 3 needed 5 cycles of NPWT until wound consolidation and wound closure was possible.

In summary, 4 patients underwent 2 consecutive rTHAs with CMACs, both times as part of a multi-stage procedure. The HHS and VAS scores, preoperatively, and postoperatively at last follow-up, before the diagnosis of PJI, are given in Table 4.

There was no change of the postoperative VAS and postoperative HHS, prior to the onset of symptoms, after the first and second rTHA with CMACs. Furthermore,

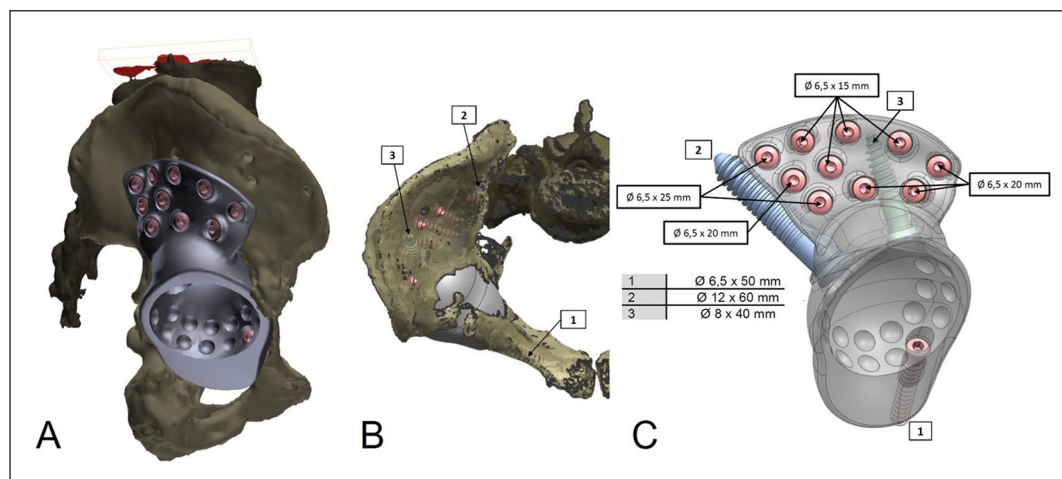


Figure 3. Preoperative interactive 3D planning proposal for second CMAC for patient 4 (A) view from the right side; (B) view in cranio-caudal direction; (C) lateral view of the implant with optimal length and diameter of the pole screws, e.g., to spare the sacroiliac joint.

Table 3. Descriptive summary of patient data for second rTHA with CMACs.

Pat. ID	Type of endoprosthesis	Operation time (cutting/suture time (min))	Length of hospital stay (days)	Postoperative revisions ^a (number of times)	Time implantation/ explantation (follow-up (months))	Pathogen ^b
1	CMAC, total modular femur replacement	299	20	None	–/(20.3)	–
2	CMAC, proximal modular femur replacement	312	22	Yes, Wound revision (1), Explantation due to chronic PJI (1), Wound revision (2) NPWT (4)	12.9	<i>S. epidermidis</i> , <i>E. faecalis</i>
3	CMI, total modular femur replacement	344	15	Yes, open revision (1), offset reconstruction (1) wound revision with (re-) establishment of a stable fistula (5), hip disarticulation (1), NPWT (5)	26.3	<i>S. epidermidis</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i>
4	CMAC, proximal modular femur replacement	230	16	None	–/(14.1)	–

CI, confidence interval.

^aRevision surgery in chronological order postoperatively.

^bpathogen detected during explantation.

there was no difference in these scores after implantation of the second CMAC between patients with treatment failure and those with treatment success, at least, prior to the onset of symptoms.

All 4 patients had needed revision surgery after implantation of the first CMAC (see Table 2). In addition, all 4 patients had needed revision surgery after explantation of the first CMAC. The 2 patients with subsequent treatment failure of the second CMAC had undergone a higher

number of revision operations after explantation of the first CMAC than those with successful treatment (patients 2 and 3: 6, respectively, 4 revisions vs. 1 revision each for patients 1 and 4). The number of revision surgeries operations after the second CMAC-rTHA varied between 0 (patients 1 and 4) and 13 (patient 3) (Table 3).

The treatment success rate after the second CMAC was 50% (2 of 4 patients). Patients 1 and 4 presented without signs for implant failure, 2 years after surgery (see Table 3).

Table 4. Descriptive summary of clinical data after retrospective evaluation after first (○), respectively, after second (†) rTHA with custom-made components before (‡) onset of symptoms.

ID	VAS		HHS		VAS		HHS		VAS		HHS	
	preoperative	postoperative*‡	preoperative	postoperative*1	preoperative†	postoperative†	preoperative†	postoperative†	preoperative†	postoperative†	preoperative†	postoperative†
1	4	2	18	55	5	2	14	45				
2	1	2	20	46	4	2‡	14	45‡				
3	3	4	14	44	2	2‡	12	44‡				
4	5	4	34	47	1	4	12	58				

VAS, Visual Analogue Scale; HHS, Harrison Hip Score.

Discussion

THA has become a well-established, highly standardised treatment option in patients with osteoarthritis of the hip and symptoms that are refractory to conservative therapy.¹² Consequently, rising numbers of rTHAs must be expected. Although, with a rate of 0.9%, large-sized acetabular defects with severe bone loss (Paprosky IIIB; AAOS III or IV) are rare, appropriate management remains a challenge in rTHA.¹³ Because treatment success is also determined by the amount and quality of remaining bone stock, a well-fitting implant and an appropriate surgical technique are decisive in achieving a stable fixation of the implant and good clinical function. Previous studies that have used CMACs have reported promising results.^{3,14,15} Nevertheless, this customised treatment option is still rarely used, as it has several disadvantages, such as increased costs in comparison to standard implants, delay in surgery due to production time, need for an extensive surgical approach for implantation, and a long surgery time.

The aim of our study was to describe the outcome and complications in patients after a second rTHA with CMACs. The first part of our first hypothesis, which was that the overall implant survival after second CMAC-rTHA is similar to that reported in the literature for first-time rTHA with CMACs, could not be confirmed by our results, as our treatment success rate of 50% is significantly lower than that reported in previous studies, which describe failure rates of 0% (Christie et al.¹⁶), 11% (Wind et al.¹⁷), and 12% (Taunton et al.¹⁴) for CMACs.^{14,16–18} However, in contrast to our study, which describes the outcome of a second rTHA with a CMAC, these studies evaluated the outcome after a “first” rTHA with a CMAC. It is difficult to identify precisely why the implant survival in our study was so low: a possible explanation could be that a selection bias occurred due to the small number of patients included in our case series. Another possible explanation may lie in the reason for explantation of the first CMAC, as all patients had needed revision surgery due to recurrent PJI. In this context, it is important to mention that the patients included in our study had all undergone CMAC implantation only after microbiological and histopathological exclusion of a persisting infection through a previous open sampling procedure.

The second part of our first hypothesis, which postulated that repetitive revision surgery would be required until wound consolidation in case of treatment failure is supported by our findings. All of the patients had needed revision surgery, either after the first CMAC only, or also after the second CMAC. Although revision surgery was needed for various reasons, the circumstance reflects the high complication rate in these complex cases. Interestingly, the patients with treatment failure after the second CMAC had needed a higher number of surgeries until wound consolidation after explantation of the first CMAC. For patients in this category, permanent girdlestone arthroplasty might, therefore, be a treatment option. Due to our low number of

patients, further studies must confirm if the number of previous revision surgeries might be a prognostic factor for treatment failure. The 2 reported periprosthetic femoral fractures in our case series might, conceivably, be a “symptom” of poor osteointegration, for example, early-stage loosening of the implant due to low-grade infection that may have been present despite negative microbiological evaluation of the intraoperative samples.

Hip dislocation is another frequent problem encountered after rTHA. Although previous studies have reported dislocation rates of up to 30%,^{15,16} only 1 patient (patient 3) in our study needed open revision and exchange of the inlying liner, respectively offset-reconstruction. This had been necessary due to 2 dislocations after the first rTHA and 3 dislocations after the second rTHA, without appropriate trauma. Patient 3 had been the only patients for whom we had not used a tripolar cup during the initial/first rTHA with CMAC because an intraoperatively stable situation without a tendency towards (partial) dislocation had been achieved without it.

Our second hypothesis, which postulated a similar clinical outcome after a second CMAC-rTHA as after a first CMAC-rTHA, can be regarded as fulfilled: at last follow up after the second surgery, our results did not show a difference in HHS scores after second surgery in comparison to those after first surgery, before diagnosis of PJI. There was also no difference in HHS scores between patients with treatment failure and those without. We must, however, admit that we compared scores before the onset of symptoms. In comparison to the results published in the literature, in which HHS scores of 69 (Weber et al.¹⁹), and, respectively, 81 (Mao et al.²⁰) are reported, the clinical function observed in our study after second CMAC-rTHA, must be regarded as inferior.^{14-16,19,20} In this context, we would like to note that we could not evaluate an insufficiency of the musculus gluteus medius or minimus as a clinical correlate for an intraoperative lesion of the superior gluteal nerve, as all of our patients had needed implantation of either a proximal femoral replacement or a total femoral replacement.

Lastly, our study does have several potential limitations. A first limitation is its retrospective design without a control group. A second limitation is that the sample size in our study is small for a retrospective study. A third limitation is the circumstance that the studied cohort was heterogeneous in terms of the extent of periacetabular bone loss or pelvic discontinuity. Nonetheless, our study is, to our best knowledge, the only one in this thematic field to date to evaluate the outcome of a second rTHA with CMAC after previously failed rTHA with a first CMAC.

Conclusion

In patients with severe acetabular bone loss and previously failed revision THA with custom-made acetabular

components, repeat rTHA with a CMAC may be a solid treatment option for patients with an “uncomplicated” multi-stage procedure, i.e., without persisting infection after explantation of the original CMAC. While the outcome in terms of clinical function does not appear negatively affected by such a “second attempt,” the complication rate and risk of reinfection, nonetheless, high.

Declaration of conflicting interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship and/or publication of this article.

References

1. Khanduja V. Total hip arthroplasty in 2017 – current concepts and recent advances. *Indian J Orthop* 2017; 51: 357–358.
2. Schmolders J, Friedrich MJ, Michel RD, et al. Acetabular defect reconstruction in revision hip arthroplasty with a modular revision system and biological defect augmentation. *Int Orthop* 2015; 39: 623–630.
3. Friedrich MJ, Schmolders J, Michel RD, et al. Management of severe periacetabular bone loss combined with pelvic discontinuity in revision hip arthroplasty. *Int Orthop* 2014; 38: 2455–2461.
4. Walter SG, Randau TM, Gravius N, et al. Monoflanged custom-made acetabular components promote biomechanical restoration of severe acetabular bone defects by metallic defect reconstruction. *J Arthroplasty* 2020; 35: 831–835.
5. Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, et al. Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. *Arch Orthop Trauma Surg* 2020; 140: 263–273.
6. Schmolders J, Koob S, Schepers P, et al. Lower limb reconstruction in tumor patients using modular silver-coated megaprotheses with regard to perimegaprosthesis joint infection: a case series, including 100 patients and review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017; 137: 149–153.
7. Logroscino G, Campana V, Pagano S, et al. Risk factors for failure of two-stage revision arthroplasty for infected hip prosthesis: review of the literature and single centre cohort analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2019; 23(Suppl. 2): 65–75.
8. Wimmer MD, Randau TM, Petersdorf S, et al. Evaluation of an interdisciplinary therapy algorithm in patients with prosthetic joint infections. *Int Orthop* 2013; 37: 2271–2278.
9. Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 1969; 51: 737–755.
10. Healy WL, Iorio R, Clair AJ, et al. Complications of Total hip arthroplasty: standardized list, definitions, and stratification

- developed by the Hip Society. *Clin Orthop Relat Res* 2016; 474: 357–364.
11. Roessler PP, Jaenisch M, Kuhlmann M, et al. The augment-and-modular-cage revision system for reconstruction of severe acetabular defects - two-year clinical and radiographic results. *Int Orthop* 2019; 43: 2269–2278.
 12. Scott CEH, MacDonald DJ and Howie CR. ‘Worse than death’ and waiting for a joint arthroplasty. *Bone Joint J* 2019; 101–B: 941–950.
 13. Kurtz S. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 780–785.
 14. Taunton MJ, Fehring TK, Edwards P, et al. Pelvic discontinuity treated with custom triflange component: a reliable option. *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470: 428–434.
 15. Schwarzkopf R, Ihn HE and Ries MD. Pelvic discontinuity: modern techniques and outcomes for treating pelvic disassociation. *Hip Int* 2015; 25: 368–374.
 16. Christie MJ, Barrington SA, Brinson MF, et al. Bridging massive acetabular defects with the triflange cup: 2- to 9-year results. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 216–227.
 17. Wind MA, Swank ML and Sorger JI. Short-term Results of a custom triflange acetabular component for massive acetabular bone loss in revision THA. *Orthopedics* 2013; 36: e260–e265.
 18. Berasi CC IV, Berend KR, Adams JB, et al. Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res* 2015; 473: 528–535.
 19. Weber M, Witzmann L, Wieding J, et al. Customized implants for acetabular Paprosky III defects may be positioned with high accuracy in revision hip arthroplasty. *Int Orthop* 2019; 43: 2235–2243.
 20. Mao Y, Xu C, Xu J, et al. The use of customized cages in revision total hip arthroplasty for Paprosky type III acetabular bone defects. *Int Orthop* 2015; 39: 2023–2030.

4. Diskussion

Die Rekonstruktion ausgeprägter acetabulärer Knochendefekte ist bei revisionsprothetischen Eingriffen am Hüftgelenk weiterhin eine Herausforderung für den operativ tätigen Orthopäden. Hierbei bleiben die Ziele der Primärendoprothetik mit einer optimalen Rekonstruktion des Drehzentrums, fester ossärer Integration der einliegenden Implantate und möglichst langer, komplikationsfreier Standzeit unverändert. Insbesondere die feste knöcherne Verankerung an der individuell verbliebenen Knochensubstanz stellt bei ausgeprägten Knochendefekten grundsätzlich eine Herausforderung dar. Oftmals ist die Verwendung von Standardrevisionsimplantaten hier nicht ausreichend für eine stabile Verankerung des Implantates und eine Rekonstruktion des Drehzentrums. Sollten diese dennoch implantiert werden, können eine Kranialisierung des Drehzentrums bzw. bei ungenügender knöcherner Fixation ein konsekutives Implantatversagen eine mögliche Konsequenz sein [14, 15]. Auch wenn ausgeprägte Knochendefekte vom Typ III nach Paprosky selten sind und nur bei 1 bis 5 % aller Patienten mit Notwendigkeit eines revisionsendoprothetischen Eingriffs am Hüftgelenk beobachtet werden können, ist ihre optimale Versorgung umso entscheidender um ein Implantatversagen zu vermeiden [8, 16]. Hierbei muss angeführt werden, dass für die Versorgung kein Goldstandard existiert. Insbesondere die Fähigkeiten des Operateurs und die im Haus verfügbaren Implantate können Einfluss auf die Therapieentscheidung/Implantatauswahl haben (Tabelle 1). Bei Versorgung von Typ III Defekten nach Paprosky mit Standard-Revisionsimplantaten werden häufig Kranialsockelpfannen, „Jumbo-Pfannen“, Abstützschalen mit modularen Augmenten („Augment-and-modular-Cage“), Burch-Schneider-Antiprotrusionsringe mit ggf. zusätzlichem Augment („Cage-and-Augment“) und zementfreie Pfannen mit kranialem Augment („Cup-and-Augment“) verwendet [17–22].

Bei Kranialsockelpfannen handelt es sich hierbei um eine zementfreie Pfanne mit kranialer Aufsockelung zur Defektauffüllung eines superioren Defektes. Aufgrund der Defektausprägung bei Paprosky Typ III Defekten muss hierbei die Ausführung mit anatomischer Lasche zur Fixation am Os Illium und Darmbeinzapfen gewählt werden [18, 23]. Auch wenn initiale Versorgungen von Paprosky Typ III Defekten mit diesen Implantaten beschrieben sind, empfehlen aktuelle Publikationen keinen Einsatz bei acetabulären Defekten mit superiorem Knochenverlust [24]. Die Gründe sind vor allem

dem Design der Pfanne und der fehlenden Möglichkeit der Anpassung an ausgeprägte Defekte geschuldet. Hier ist die vorhandene Aufsockelung bei Defekten > 1cm (ADC-Klassifikation Typ 4) nicht ausreichend, um das Drehzentrum zu rekonstruieren und zu kaudalisieren. Ein größerer Pfannendurchmesser löst dieses Problem nur bedingt, da zwar die Passform verbessert wird, die Pfanne jedoch deutlich medialisiert werden muss, um einen flächigen Kontakt der Lasche am dorsalen Ilium zu ermöglichen. Dies resultiert in einer Fehlpositionierung des Implantates und folglich des Darmbeinzapfens.

Autor	Anzahl (versorgte Hüftgelenken)	verwendetes Implantat	Acetabulärer Knochendefekt*	Komplikationen: Revisionsrate / Explantationrate	COR	HHS bei letzter Vorstellung
Ghanem et al. [18]	16	Kranialsockelpfanne	III B: 16	43,8 % / 18,7 %	n. a.	69.3 ± 14.1
Rudert et al. [23]	50	Kranialsockelpfanne	AAOS II: 21 AAOS III: 23 AAOS IV: 6	10 % / 8 %	n. a.	68,3
Zhang et al. [19]	61	Jumbo-Pfanne	IIA: 16 IIB: 9 IIC: 24 IIIA: 8 IIIB: 6	3,2 % / 1,6 %	Δ V: 22,2 ± 7,6 mm Δ H: 29,5 ± 3,7 mm	83
Günther et al. [17]	46	Burch-Schneider-Antiprotrusionsring, TM-Augment, zementierte PE-Pfanne	II A: 2 II B: 2 II C: 2 III A: 17 III B: 19	39,1 % / 21,7 %	n. a.	n. a.
Sculco et al. [25]	57	Burch-Schneider-Antiprotrusionsring, TM-Augment, zementierte PE-Pfanne	IIB: 3 IIC: 3 IIIA: 8 IIIB: 43	8,7 % / 0	n. a.	64 ± 19
Roessler et al. [26]	44	Abstützschale, modulares zementfreies Augment, modulare Pfannenkomponente	IIA: 6 IIB: 7 IIC: 8 IIIA: 11 IIIB: 12	11,3 % / 0 %	Δ V: 3,9 mm Δ H: 5,1 mm	74.4 ± 3.1
Steno et al. [22]	80	TT Pfanne, TT Augment	I: 9 IIA: 11 IIB: 27 IIC: 6 IIIA: 15 IIIB: 13	6.2% / 0 %	n. a.	n. a.
Hipfl et al. [27]	67	TM Pfanne, TM Abstützschale	IIC: 3 IIIA: 7 IIIB: 25	11 % / 0 %	n. a.	71 ± 15

Tabelle 1: Versorgungsmöglichkeiten bei acetabulären Knochendefekten in Abhängigkeit der verwendeten Implantate. *: Klassifikation nach Paprosky et al. [8] bzw. AAOS-Klassifikation (American-Academy-of-Orthopaedic-Surgeons) nach D'Antonio et al. [11]; TM: Trabecular Metal™; PE: Polyethylen; TT: Trabecular Titanium; COR: „Center of Rotation“; Δ V: Maß für die vertikale bzw. Δ H: Maß für die horizontale Differenz zwischen dem postoperativen COR und dem geplanten bzw. physiologischen COR; HHS: Harrison Hip Score; n. a.: nicht ausgewertet.

Ein ähnliches Problem besteht beim Einsatz von „Jumbo-Pfannen“, d.h. von übergroßen hemisphärischen Pfannen. Hierbei ist dieser Begriff nicht einheitlich definiert. Grundsätzlich sind hierbei Pfannen mit einem Durchmesser von > 60 - 62 mm (Frauen) bzw. 64 - 66 mm (Männer) gemeint [28]. Auch wenn eine Implantation technisch deutlich einfacher (fehlende Lasche, kein Iliumzapfen) und somit unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten attraktiver für den Versorger ist, sollte eine Implantation von „Jumbo-Pfannen“ bei Typ III Defekten nur in Kenntnis der Nachteile vorgenommen werden [19]. Dies sind vor allem die fehlende Anpassung an den individuellen Knochendefekt, mit hierdurch bestehender Notwendigkeit einer zusätzlichen Entfernung von vorhandener, tragfähiger Knochensubstanz zur Schaffung eines hemisphärischen Implantatlagers mit hieraus resultierender Kranialisierung des Drehzentrums [29]. Hierbei hat eine Vergrößerung des Pfannendurchmessers um 20 mm eine Kranialisierung des Drehzentrums um 5 mm zur Folge [30]. Wang et. al konnten hier zeigen, dass die Implantation übergroßer Pfannen zwar das Drehzentrum bei Vergleich mit der präoperativen Situation mit gelockerter acetabulärer Komponente kaudalisiert, jedoch ein ΔV von $22,3 \pm 7,6$ mm und ein ΔH von $29,5 \pm 3,7$ mm grundsätzlich nicht zufriedenstellend sind [19]. Dennoch steht die Implantation von „Jumbo-Pfannen“ stellvertretend für das von Sporer und Praprotsky erstmalig beschriebene Konzept der „acetabulären Distraction“ [31, 32]. Der Grundgedanke ist hierbei, dass es durch Implantation einer übergroßen Pfannenkomponente zu einer Distraction des Defektes (bei Beckendiskontinuität) kommen soll, welche schlussendlich elastische Rückstellkräfte induziert, die wiederum zu einer Kompression des Implantates mit theoretischer Langzeitstabilität führen. Dennoch gibt es keine Daten in der Literatur, die einen Schluss der Beckendiskontinuität als Voraussetzung für eine langfristig stabile Verankerung belegen.

Bezüglich der Rekonstruktion des COR sind hier Implantate, welche auf dem „Augment-and-modular-Cage“-Prinzip beruhen, deutlich im Vorteil [20]. Grundprinzip ist hier eine metallische Augmentation des kranial-lateralen Pfannenränderdefekts mit modularen Metallaugmenten unterschiedlicher Größe in Kombination mit dem Konzept der Abstützschale. Hierbei kann die modulare Pfannenkomponente bei bereits einliegender Abstützschale frei positioniert werden. Somit kann die Inklination und Anteversion optimal eingestellt werden [9, 20, 26]. Das Resultat ist eine sehr gute

Rekonstruktion des COR mit einem ΔV von 3,9 mm bei einem ΔH von 5,1 mm insbesondere bei Paprosky Typ II Defekten [26]. Dennoch stößt das Implantat bei ausgeprägten superioren Knochendefekten mit fehlender Tragfähigkeit des dorsalen Pfeilers und begleitender Beckendiskontinuität an seine Grenzen, da eine primäre Verankerungsstabilität Grundvoraussetzung für die Implantation ist und bei diesen Defekten nicht erreicht werden kann [20]. Hier sollte die Indikation zur Implantation kritisch überprüft werden [9]. Auf einem ähnlichen Prinzip basiert die Rekonstruktion mittels Burch-Schneider-Antiprotrusionsringen. Hierbei wird zunächst die kaudale Lasche in das Os ischii eingeschlagen und die kraniale Lasche am Os illium mittels Schrauben fixiert [17, 33]. In diesen Antiprotrusionsring wird anschließend eine PE-Pfanne einzementiert. Acetabuläre Knochendefekte können hierbei mit allogener Spongiosa augmentiert werden [21]. Günther et al. beschrieben eine Modifikation dieser Technik durch zunächst metallische Augmentation eines superioren Knochendefekts mittels eines Implantates aus Trabecular-Metal vor Implantation des Burch-Schneider-Antiprotrusionsringes („Cage-and-Augment“) [17]. Nichtsdestotrotz erfolgt bei dieser Art der Versorgung, als Unterschied zur Versorgung nach dem „Augment-and-modular-Cage“-Prinzip, keine Verschraubung oder rigide Fixierung des Augments an den Burch-Schneider-Antiprotrusionsring. Die Folge können Mikrobewegungen bzw. ein Implantatversagen sein [14, 25]. Eine Alternative ist die Versorgung mittels modularer zementfreier Implantate aus Trabecular Metal („Cup-and-Augment“). Auch hierbei erfolgt zunächst eine Defektaugmentation mittels eines zementfreien Augmentes um einen längsovalen Defekt entsprechend zu verkleinern, anschließend wird eine hemisphärische zementfreie Pfanne eingeschlagen und mit dem Augment verblockt [22]. Dennoch gilt auch hier, dass kleinste Relativbewegungen zwischen Pfannenkomponente und Augment zu Abrieb und einer konsekutiven Lockerung führen können, welche bei Monoblock-Implantaten (individuelle acetabuläre Komponente) technisch nicht stattfinden können. Zudem besteht keine Möglichkeit einer intramedullären Krafeinleitung. Steno et al. beschreiben diese Art der Versorgung mit zementfreien modularen Implantaten aus Trabecular Metal mit guten Langzeitergebnissen (Revisionsrate 6,2 %, keine Explantation, Rekonstruktion des COR nicht ausgewertet), wobei in ihrer Kohorte nur eine Minderheit (33,7 %) einen hochgradigen acetabulären Knochendefekt (Paprosky Typ III) aufwies [22].

Auch wenn die o.g. Techniken grundsätzlich eine einzeitige Versorgung - in Abhängigkeit der individuellen Ausprägung des Defektes - ermöglichen, bestehen bei jeder dieser Versorgungsstrategien Nachteile bei der Versorgung von Patienten mit Typ III Defekten. Insbesondere die Kombination aus Rekonstruktion des Drehzentrums und zugleich stabiler Verankerung an der vorhandenen Knochensubstanz mit intramedullärer Krafteinleitung ist technisch bei keiner beschriebenen Methode möglich. Um beide Ziele zu erreichen und keine Kompromisse bei der Versorgung akzeptieren zu müssen, ist nur ein an den Defekt angepasstes, individuelles Sonderimplantat zielführend.

Die hier dargestellten Arbeiten beschäftigen sich inhaltlich mit dem Stellenwert von ebendiesen sonderangefertigten acetabulären Komponenten bei Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten, unter Berücksichtigung der notwendigen präoperativen Planung, der Operationstechnik, der klinischen / postoperativen Ergebnisse, der postoperativen Komplikationen, der Risikofaktoren für eine Implantatversagen sowie mit der Behandlung von Patienten bei denen ein Implantatversagen eingetreten ist.

Die erste der hier vorliegenden Arbeiten befasst sich mit den mittelfristigen Ergebnissen nach Versorgung von Patienten mit sonderangefertigten acetabulären Implantaten sowie deren Einordnung in den Kontext der bestehenden Literatur. Hierbei konnten wir zeigen, dass die klinischen Ergebnisse nach Versorgung, trotz der Invasivität des Eingriffs, mit guter Funktion und geringen Schmerzen zufriedenstellend sind. Dennoch zeigte sich eine relativ hohe Komplikationsrate mit Notwendigkeit einer operativen Revision, wobei die häufigste Komplikation die periprothetische Infektion darstellte [1].

Auch wenn die periprothetische Infektion nach Primärendoprothetik mit einer Inzidenz von 1 bis 2 % deutlich niedriger liegt, ist zu beachten, dass nach Implantation von Megaimplantaten Infektionsraten, beispielsweise in der Tumorendoprothetik, von bis zu 41 % beschrieben sind [14, 34, 35].

Im Detail bestand für unser Kollektiv in 25 % der Fälle die Notwendigkeit einer Revision mit Explantation des einliegenden Implantates bei periprothetischer Infektion (22 %) bzw. aseptischer Lockerung (3 %). In der Literatur sind hier Revisionsraten von bis zu 28 % bzw. Revisionsraten mit Explantation des einliegenden Implantates von bis 14 %

beschrieben (Tabelle 2). Die Revisions-/Explantationraten können hierbei in Abhängigkeit der Größe der Fallserie deutlich variieren [15].

Author	Anzahl (versorgter Hüftgelenke)	Implantatdesign	Acetabulärer Knochendefekt*	Komplikationen: Revisionsrate / Explantationrate	Auswertung COR	HHS bei letzter Vorstellung
Berasi et al. [12]	23	Triflange-Design	IIIB: 23	17,3 % / 8,7 %	n. a.	65
Christie et al. [13]	78	Triflange-Design	AAOTS III: 39 AAOTS IV: 39	22 % / 0 %	n. a.	82
Gladnick et al. [36]	73	Triflange-Design	IIIB: 73	20,5 % / 8,4 %	n. a.	n.a.
Von Hertzberg-Boelch et al. [15]	14	Monoflange-Design	IIIA: 7 IIIB: 7	28,3 % / 14,2 %	n. a.	n.a.
Jones et al. [37]	91	Triflange-Design	IIA: 2 IIB: 4 IIIA: 43 IIIB: 47	23 % / 13 %	n. a.	n.a.
Kieser et al. [38]	36	Triflange-Design	IIA: 6 IIB: 2 IIC: 5 IIIA: 6 IIIB: 17	5,5 % / 2,8 %	n. a.	79
Li et al. [39]	26	Triflange-Design	IIIB: 26	12 % / 0 %	ΔV : 25 ± 5 mm ΔH : 3 ± 7 mm	82
Wind et al. [40]	19	Triflange-Design	IIIA: 3 IIIB: 16	32 % / 11 %	n. a.	63

Tabelle 2: Literaturübersicht zur Versorgung von acetabulären Knochendefekten mit sonderangefertigten, individuellen Implantaten. *: nach Paprosky et al. [8] bzw. AAOS-Klassifikation (American-Academy-of-Orthopaedic-Surgeons) nach D'Antonio et al. [11]; COR: „Center of Rotation“; ΔV : Maß für die vertikale bzw. ΔH : Maß für die horizontale Differenz zwischen dem postoperativen COR und dem geplanten bzw. physiologischen COR; HHS: Harrison Hip Score; n. a.: nicht ausgewertet.

Neben den postoperativen Komplikationen ist auch die notwendige Zeit für Planung und Produktion als Nachteil dieser Art der Versorgung zu diskutieren. Bedingt durch den Prozess der Herstellung dieser individuellen Komponenten muss zudem die ein Zeitraum bis zu 3 Monaten zwischen Beauftragung und Fertigstellung des CMAC mittels häuslicher Pflege überbrückt werden [36]. Durch die oftmals vorliegenden Komorbiditäten des Patientenlientels kann es hier zu einer zusätzlichen Verlängerung dieses Zeitintervalls kommen, falls chronische Erkrankung zwischenzeitlich rekompensiert werden müssen. Dieser Aspekt der zeitlichen Verfügbarkeit und die im Vergleich zu einem Standard-Revisionimplantat ("von der Stange") deutlich erhöhten

Kosten von 10.000 bis 12.000 € für die acetabuläre Komponente, sind hierbei zudem als Nachteile der Technik zu diskutieren.

Damit diese Art der revisionsendoprothetischen Versorgung durchgeführt werden kann, ist eine umfangreiche präoperative Vorbereitung und Planung erforderlich. Grundsätzlich ist die präoperative Planung mit Überprüfung der Implantatwahl und Größenbestimmung am skalierten Röntgenbild vor endoprothetischer Versorgung in Deutschland ein verpflichtender Standard. Dennoch kommt der präoperativen Planung bei Patienten mit Notwendigkeit eines Individualimplantats eine zusätzliche Bedeutung zu. Wir konnten mit der zweiten hier aufgeführten Arbeit die Grundzüge einer individuellen Planung demonstrieren sowie die Besonderheiten und Fallstricke während der operativen Versorgung darlegen.

Da wir uns in der vorliegenden Originalarbeit auf die einzelnen Operationsschritte beschränken mussten, um die Maximallänge des Artikels nicht zu überschreiten, sei im Folgenden die präoperative Planung genauer beschrieben.

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Entwurfsplanung ist hierbei zunächst die Möglichkeit kooperierender Herstellern adäquates Bildmaterial (Dünnschicht-CT mit 1 mm Schichtdicke) bereitzustellen. Dies hat sich in den vergangenen Jahren durch die Nutzung entsprechender Online-Planungsportale deutlich verbessert. Ein Versand der durchgeführten Computertomographie des Beckens per Post gehört hier, dankenswerterweise, der Vergangenheit an und verkürzt die Planungsphase. Nach Prüfung der Datenqualität ist der erste Schritt die Rekonstruktion und Bestimmung des COR. Hier kann ein Vergleich mit der Gegenseite hilfreich sein. In einem zweiten Schritt sollte, ausgehend vom COR, der größtmögliche Außendurchmesser des Pfannenkörpers bestimmt werden. Hierbei sollte sich der Grundkörper nicht mit verbliebener Knochensubstanz überschneiden, da ansonsten eine weitere Resektion von Knochensubstanz notwendig ist. Superiore, verbliebene Knochendefekte sollten metallisch augmentiert werden. Da eine „Press-fit“-Verankerung immer beabsichtigt sein sollte, empfiehlt sich ein halbmondförmiges bis hemisphärisches Design der Augmente, welche mit dem Pfannenkörper fusioniert werden. Sollte nach Explantation eine Vorbereitung des zukünftigen Implantatlagers unterblieben sein, treten hier bereits die ersten Probleme auf, da ggf. Ossifikationen als tragfähige Knochensubstanz bildmorphologisch interpretiert werden können. Zusätzlich erleichtert eine hemisphärische Konfiguration des zukünftigen Implantatlagers, durch sorgfältige Präparation mit der Fräse (nach Explantation des zuvor einliegenden

Implantates) die Planung und Reimplantation deutlich. Ein Unterlassen kann ansonsten intraoperative „Freihand“-Präparationen notwendig machen, welche zu einer Abweichung der tatsächlichen von der geplanten Position führen können.

Dieser Aspekt ist auch der Grund, weshalb ein zweizeitiges Vorgehen (aus planerischer Sicht) immer zu einer höheren Planungssicherheit führt und zu präferieren ist. Sollte mit noch einliegender, gelockerter, „alter“ acetabulärer Komponente geplant werden, kann ein intraoperativ unbeabsichtigt größerer Knochendefekt nach Explantation, eine Implantation des angefertigten Implantates unmöglich machen, da dieses schlicht nicht mehr passt. Auch Metallartefakte durch die einliegende, lockere acetabuläre oder femorale Komponente können die Passgenauigkeit durch falsche bildmorphologische Rekonstruktion der knöchernen Grenzfläche negativ beeinflussen. Die Folge kann eine Abweichung des geplanten zum postoperativ erreichten COR sein.

Nach Planung des Grundkörpers erfolgt die Planung der Verankerung. Diese erfolgt im lasttragenden Bereich mittels Pfahlschrauben im Ilium. Ihre Orientierung sollte kongruent zum Hauptbelastungsvektor sein, d.h. die Pfahlschrauben sollten in Richtung der Krafteinleitung orientiert sein. Der Durchmesser sollte mindestens 8 mm betragen. Hierbei gilt, umso größer der Durchmesser und damit der Schraubenquerschnitt, desto größer die benötigte Kraft bis zum Ausreißen der Schraube. Eine winkelstabile Verblockung der Pfahlschrauben ist hier Grundvoraussetzung, um Relativbewegungen im Knochen/Implantat-Interface zu vermeiden. Durch Einbringen von mindestens zwei Pfahlschrauben wird hierbei eine Rotation des Implantates um die Schraube verhindert. Alternativ kann eine Pfahlschraube auch durch einen Darmbeinzapfen mit einem Durchmesser ab 9 mm, mit makroporöser Oberfläche und winkelstabiler Verblockung ersetzt werden. Sowohl die Pfahlschrauben als auch der Darmbeinzapfen sollten hierbei möglichst lang gewählt werden, um eine optimale Lastübertragung zu erreichen. Schlussendlich ist für eine stabile Verankerung eine Lasche am Os Illeum erforderlich. Die Grundvoraussetzung hierfür ist ein flächiger Kontakt dieser Lasche mit der vorhandenen Knochensubstanz. Hierbei ähnelt das Design dieser Lasche, dem von Laschen an Standard-Revisionsimplantaten (Kranialsockelpfannen, modulare Abstützschalen). Die Positionierung der Lasche wird zudem durch das Design des Grundkörpers beeinflusst. Hierbei sind längere Laschen bzw. ein Design mit zwei Laschen mit einem größeren Weichteiltrauma assoziiert und sollten nicht mehr

verwendet werden. Auch wenn dieses Design anfänglich zur Versorgung von Patienten in unserem Haus benutzt wurde, ermöglicht das aktuelle Implantatdesign mit einer kürzeren Lasche am Os ileum (sog. „monoflange“) und der Einbringung möglichst langer Os-ileum-Pfahlschrauben bzw. Darmbeinzapfen eine optimale Krafteinleitung mit möglichst geringem Weichteiltrauma.

Zudem gilt, dass je länger die Lasche geplant wird, desto größer ist die Zugkraft auf die Laschenschrauben. Weiterhin sollte bereits in der Planung auf ein Abtragen von Resten des Erkers des Acetabulums, als Voraussetzung für einen flächigen Kontakt der Lasche, verzichtet werden. Eine solche „Freihand“-Präparation kann zu einem Abweichen der Implantatposition von der Planung führen. Die geplanten Ilium-Pfahlschrauben sollten zudem im 90° Winkel zu den Laschenschrauben im Os illium verlaufen. Auf die Verwendung von nichtwinkelstabilen Flachkopfschrauben sollte verzichtet werden. Es sollten routinemäßig nur winkelstabile Schrauben zur zusätzlichen Verblockung implantiert werden, da ansonsten eine reduzierte Primärstabilität gegeben sein kann. Der Schraubenverlauf sollte, wenn möglich, bikortikal sein.

Im Falle einer Beckendiskontinuität oder äußerst osteoporotischer Knochensubstanz empfehlen sich zusätzlich zu den Domschrauben lange Pfahlschrauben mit transiliosakralem Verlauf und Verankerung in SWK 1 oder SWK 2, damit es zu keiner Instabilität mit ventralseitigem Aufklappen des Iliosakralgelenks im postoperativen Verlauf nach Übergang zur Vollbelastung kommt. Grundsätzlich kann bei Patienten mit ausgeprägter Beckendiskontinuität auf einen Schluss der Beckendiskontinuität bzw. des Beckenrings durch das Implantat verzichtet werden, da eine stabile Aufhängung kranial im Bereich des Os Ileum vorhanden ist. Hierbei sei jedoch darauf hingewiesen, dass ein Haken im Foramen obturatorium bzw. eine Schraube im Ramus superior ossis pubis hilfreich für die korrekte Implantatpositionierung und intraoperative Orientierung sein kann.

Werden die beschriebenen Aspekte der präoperativen Planung berücksichtigt, können intraoperative Fehler vermieden werden. Hierbei sei nochmals auf den Aspekt einer sorgfältigen Präparation des Implantatlagers während der Explantation hingewiesen, da ansonsten die Reimplantation unnötig erschwert wird. Auch sollte eine „Freihand“-Präparation bzw. Resektion von Knochen während der Reimplantation nur

zurückhaltend und nach Abgleich mit der Planung erfolgen. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf Veränderungen des Implantatlagers durch die zeitliche Latenz während der Planungs- und Herstellungsphase gelegt werden. Der Operateur muss sich immer bewusst sein, dass eine übermäßige Knochenresektion zu einer Fehlpositionierung des Implantates mit Abweichung des Drehzentrums führt.

Wir konnten zeigen, dass bei korrekter Durchführung der präoperativen Planung, sowie der Operationstechnik eine gute Positionierung der einzementierten Pfanne mit optimaler Inklination und Anteversion erreicht werden kann. Die Rekonstruktion des Drehzentrums gelang bei isolierter Betrachtung der horizontalen Achse mit einem ΔH von $0,5 \pm 0,2$ mm sehr gut. Im Kontrast hierzu gelang die Rekonstruktion auf der vertikalen Achse mit einem ΔV von $17,7 \pm 1,1$ mm nicht zufriedenstellend. Der Vergleich dieser Werte mit den Daten der Literatur ist hier nur unvollständig möglich, da die Rekonstruktion des Drehzentrums in den meisten Studien nicht ausgewertet wurde (Tabelle 2).

Gründe für eine suboptimale Rekonstruktion können das Zusammenspiel von multiplen Faktoren sein. An erster Stelle steht hier die Gefahr einer intraoperativen, suboptimalen Positionierung des Implantates durch Missachtung der oben genannten/planerischen Aspekte. Hierbei kann insbesondere durch notwendige „Freihand“-Präparationen bzw. zu „ausgiebiges“ Anfrischen des Implantatlagers eine Kranialisierung des COR entstehen. Bedingt durch die Phase der Immobilisation und hierdurch resultierender Osteopenie kann hier bei „weicherer“ Knochensubstanz schnell mehr Knochen als gewünscht abgetragen werden. Zudem spielt das Implantatdesign eine entscheidende Rolle, da die anfängliche Versorgung von Patienten mit individuellen Sonderimplantaten noch nicht alle o.g. planerischen Aspekte berücksichtigte. Grund hierfür ist insbesondere der „Lernprozess“ durch die zunehmend standardisierte Versorgung. Deshalb erfolgte in einer weiteren Arbeit unserer Arbeitsgruppe der erstmalige Vergleich der Implantatdesigns. Hier konnten wir zeigen, dass insbesondere das Monoflange-Implantatdesign im Vergleich mit dem Triflange-Implantatdesign (zwei einzelne, schmalere Iliumlaschen mit zusätzlicher Lasche am Os ischii), zu einer besseren Rekonstruktion des COR mit geringeren Abweichung in der vertikalen bzw. horizontalen Ebene führt [41]. Dennoch ist das Triflange-Implantatdesign weiterhin das am weitesten verbreitete (Tabelle 2). In unserer Arbeit zeigten sich in der Subgruppenanalyse keine Unterschiede in der

klinischen Funktion oder Komplikationsrate. Dennoch muss angeführt werden, dass Implantate mit Triflange-Design eine großflächigere Darstellung des Implantatlagers bzw. genauer des Lagers der Laschen benötigen. Hierdurch besteht rein anatomisch ein erhöhtes Risiko für Verletzungen des N. gluteus superior mit konsekutiver, neurogen bedingter, Glutealinsuffizienz. Bedingt durch die unterschiedliche Ausprägung der femoralen Defekte, war eine Vergleichbarkeit mit Durchführung einer Subgruppenanalyse nicht gegeben [41].

Natürlich besteht bei jeder operativen Behandlung ein Risiko für postoperative Komplikationen. Deshalb erfolgte in der dritten hier vorgestellten Arbeit die detaillierte Evaluation bestehender Risikofaktoren, insbesondere bei jenen Patienten mit Therapieversagen und Notwendigkeit einer Explantation des einliegenden Individualimplantats.

Aus der Primärendoprothetik ist hier bereits bekannt, dass die Kenntnis und Identifikation von Risikofaktoren und insbesondere die Verbesserung der präoperativ Veränderlichen, wie z.B. einer Anämie oder die Reduktion einer immunsuppressiven Medikation, die postoperative Komplikationsrate positiv beeinflussen können [42]. Unsere Arbeit konnte zeigen, dass es auch bei Patienten mit sonderangefertigten Implantaten veränderbare/optimierbare Faktoren (ein niedriger präoperativer Hämoglobinwert oder ein erhöhtes präoperatives CRP) bzw. nicht-veränderbare Risikofaktoren (Notwendigkeit einer zusätzlichen Revision der femoralen Komponente bzw. vorherige periprothetische Infektion als Indikation für das Sonderimplantat) gibt. Die Kenntnis dieser Faktoren kann die Grundlage und ein erster Schritt für eine Verbesserung der Versorgungsqualität mit schlussendlich gegebenenfalls Reduktion der postoperativen Komplikationsrate von Patienten mit sonderangefertigten Implantaten sein. Grundsätzlich muss sich der Operateur bewusst sein, dass es sich um ein sehr vulnerables Patientenkollektiv handelt. Hierbei sind besonders die Folgen der Immobilisation nicht zu vernachlässigen. Bereits 1993 hoben Teasell et. al. die Folgen einer langfristigen Immobilisation und ihre Auswirkung auf alle Organsysteme hervor [43, 44]. Diese umfassen nicht nur einen offensichtlichen Verlust der Muskelkraft, bedingt durch die Immobilisation, sondern führen auch zu pulmonalen und nephrologischen Veränderungen [45]. Pulmonal steht hier insbesondere eine Beeinträchtigung der Fähigkeit des Abtransports von Sekret aus den Bronchiolen mit Ausbildung von Atelektasen und bakteriellen Pneumonien im Vordergrund,

wohingegen im Bereich des Urogenitaltraktes das Risiko für Harnwegsinfektionen erhöht ist [44, 46]. Einfache Maßnahmen zur präoperativen Prävention bei immobilen Patienten sind hierbei eine intensive Mobilisation mit Atemübungen sowie die Vermeidung der Anlage und des längerfristigen Belassens von Harnwegskathetern. Im Falle einer präoperativen Erhöhung des C-reaktiven Proteins im Aufnahmelabor vor Reimplantation sollte hingegen immer eine weiterführende Abklärung mittels Urin-Status bzw. Röntgenbild des Thorax erfolgen. Bedingt durch den hohen Leidensdruck der Patienten können diese Symptome verschweigen oder bei höherdosierter Analgetikaeinnahme nicht richtig einordnen. Bei positiver Diagnostik ist eine antibiotische Therapie obligat [47]. Auch bei unauffälliger weiterführender Abklärung mit Ausschluss behandelbarer/fassbarer Ursachen für eine präoperative CRP-Erhöhung sollte ggf. eine Verschiebung der Operation mit Verlaufskontrolle der Entzündungswerte erwogen werden. Unseren Daten entsprechend sollte hier der Cut-off-Wert bei einem CRP von $> 15,2$ mg/L gesetzt werden.

Ein weiterer behandelbarer Risikofaktor ist eine präoperative Anämie. Ihr Stellenwert in der Primärendoprothetik ist hinreichend bekannt [48]. Entsprechend unserer Ergebnisse gilt eine präoperative Anämie auch für Patienten mit invasiveren, revisionsendoprothetischen Eingriffen als Risikofaktor für das Auftreten einer periprothetischen Infektion mit Notwendigkeit einer Explantation der einliegenden Prothese. Somit kommt einer adäquaten Behandlung dieser eine entscheidende Bedeutung zu. Spätestens nach dem initialen Revisionseingriff sollten regelmäßige Kontrollen des Hämoglobinwertes erfolgen. Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auch auf die Abklärung von konkurrierenden Ursachen für eine Anämie gelegt werden. Als Beispiel sind hier ein Eisenmangel, ein Vitamin B12 Mangel oder ein Folsäuremangel, welche durch die notwendige Erythropoese nach initialem Revisionseingriff verstärkt werden können, zu nennen [49]. Insbesondere der Eisenmangel ist die weltweit häufigste Ursache für eine Anämie [50]. Hier sollte das Intervall zwischen beiden Eingriffen genutzt werden um mittels gezielter Substitution von Eisen, Vitamin B12 und Folsäure eine bestmögliche Ausgangssituation für die Reimplantation zu schaffen. Dieser Aspekt wird durch das Konzept des „Patient Blood Management“ weiter hervorgehoben [51]. Dieses besteht aus 3 multidisziplinären Säulen (1. Säule: frühzeitige Detektion und möglichst frühzeitige Behandlung einer Anämie vor geplanter Operation; 2. Säule: Maßnahmen zur Minimierung des intraoperativen Blutverlustes / fremdblutsparende Maßnahmen; 3. Säule: rationaler

Einsatz von Blutkonserven entsprechend der aktuell gültigen Leitlinie der Bundesärztekammer), welche alle dem Ziel einer Verbesserung der Versorgungsqualität dienen. Die einfachste Maßnahme ist hierbei eine frühzeitige Therapie des entsprechenden Eisenmangels, eines Vitamin-B12-Mangels oder eines Folsäuremangels durch (i.v. bzw. i.m.) Substitution. Hierbei ist die Einbindung des niedergelassenen Kollegen, welcher die Behandlung im „prothesenfreien“ Intervall übernimmt unabdingbar, um eine perioperative Anämie suffizient zu therapieren und die Anzahl der transfundierten Erythrozytenkonzentrate zu verringern [51, 52]. Zusammengefasst handelt es sich beim PBM um ein zwingend notwendiges Konzept, welches nicht nur in der Primärendoprothetik, sondern insbesondere in der Revisionendoprothetik Anwendung finden sollte, um optimale Ausgangsbedingungen vor Reimplantation zu schaffen [53–55]. Entsprechend unserer Daten empfiehlt sich ein präoperatives Hämoglobin < 10.05 mg/dl als nicht zu unterschreitenden präoperativen Cut-off-Wert anzusehen, wobei grundsätzlich bereits ab einem Hämoglobin < 12 mg/dl eine Behandlung der Anämie erfolgen sollte.

In der letzten hier aufgeführten Arbeit untersuchten wir die Therapieoptionen von Patienten mit zuvor gescheiterter erstmaliger Versorgung mit einem Individualimplantat. Auch wenn es in der Literatur hierzu bislang keine Daten gibt, konnten wir in 4 von 17 Fällen eine erneute Reimplantation einer weiteren sonderangefertigten acetabulären Komponente durchführen. Die Entscheidung für oder gegen eine erneute Reimplantation wurde hierbei gemeinsam mit dem Patienten getroffen. Es erfolgte keine detaillierte Auswertung der Gründe gegen eine erneute Reimplantation. Dies kann eine Fragestellung für weitere Arbeiten sein. Es zeigte sich, dass eine erneute periprothetische Infektion des zweiten Sonderimplantats bei den beiden Patienten mit prolongiertem und kompliziertem Verlauf nach Explantation des „ersten“ individuellen Sonderimplantats auftrat. Bei beiden Fällen mit erneutem periprothetischem Infekt des „zweiten“ individuellen Sonderimplantats waren zuvor mehrfache Wundrevisionen zur Infektkonsolidierung notwendig geworden.

Dennoch konnten wir zeigen, dass die klinische Funktion nach "zweitem" Individualimplantat auf annähernd demselben Niveau lag wie nach Implantation des "ersten" Individualimplantates. Diese Aspekte können entscheidend für die Beratung von Patienten mit zuvor gescheiterter Versorgung sein, da diesen ansonsten nur eine rein konservative Therapie mit Belassen der Girdlestone-Situation und Optimierung

des häuslichen Umfelds angeboten werden kann. Hierdurch werden weitere Operationen (nach Abschluss der initialen Behandlung) vermieden, aber zeitgleich gravierende Einschränkungen der Belastungsfähigkeit und Funktion der betroffenen Extremität auf Dauer akzeptiert. Hierbei steht für den Patienten insbesondere die Einschränkung der Selbstversorgung, bedingt durch die Notwendigkeit einer Entlastung, sowie die Notwendigkeit von Hilfsmitteln zur Mobilisation und einer pflegerischen, täglichen Unterstützung im Vordergrund. Auch wenn das Ziel dieser Arbeit nicht die Evaluation der Lebensqualität war, sind die Auswirkung einer Girdlestone-Situation in psychosozialer Hinsicht bestens beschrieben und sollten, wenn möglich, vermieden werden [56, 57].

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die revisionsendoprothetische Versorgung von Patienten gewinnt auch nach Jahrzehnten intensiver Forschung und wissenschaftlicher Diskussion weiterhin an Bedeutung. Dies ist unter anderem durch die jährlich steigenden Fallzahlen in der Primärendoprothetik bedingt. Wichtige Teilkomponenten für ein optimales Therapieergebnis sind die gelungene Rekonstruktion des Drehzentrums sowie die optimale Verankerung des Implantates an die oftmals nur noch rudimentär verbliebene Knochensubstanz. Die erste der hier vorliegenden Arbeiten befasst sich mit dem mittelfristigen Ergebnis nach Versorgung von Patienten mit einem acetabulären Individualimplantat. Hierbei konnten wir zeigen, dass die klinischen Ergebnisse nach Versorgung mit guter Funktion und geringen Schmerzen äußerst zufriedenstellend sind, trotz hoher Komplikationsrate im Vergleich zur Primärendoprothetik. In einer weiteren Arbeit erfolgte die ausführliche Darstellung der chirurgischen Technik der Implantation von acetabulären Individualimplantaten sowie der Grundzüge der notwendigen präoperativen Planung. Wir konnten zeigen, dass trotz korrekter präoperativer Planung Abweichungen des geplanten COR, insbesondere auf der Vertikalachse, vom postoperativ erreichten COR auftreten können. Gründe können ein zu starkes Anfrischen des Implantatlagers in Kombination mit einer osteopenen Knochensubstanz sein. Unabhängig hiervon können durch das Einzementieren der Pfanne in das Individualimplantat sehr gute Stellungsverhältnisse im Hinblick auf die Inklination und Anteversion auch bei kranialisiertem COR erreicht werden.

Die dritte hier vorliegende Arbeit befasst sich mit der Beschreibung und Evaluation der Komplikationen im Falle eines Implantatversagens. Wir konnten darstellen, dass das Vorliegen bestimmter unveränderlicher Risikofaktoren wie z.B. einer vorherigen periprothetischen Infektion bzw. eine zusätzliche Revision der femoralen Komponente, mit einem erhöhten Risiko für ein Therapieversagen des CMAC assoziiert sind.

Abschließend konnten wir zeigen, dass eine erneute Versorgung von Patienten nach Versagen und Explantation eines Individualimplantats zufriedenstellende klinische Ergebnisse aufweisen kann, wobei auch hier eine hohe postoperative Komplikationsrate im Rahmen dieses individuellen Therapiekonzeptes mit dem Patienten besprochen werden muss.

Zusammengefasst ist die Versorgung von Patienten mit ausgeprägten acetabulären Knochendefekten mit Standardrevisionsimplantaten zum Teil unmöglich. Hier sind sonderangefertigte, individuelle acetabuläre Implantate die einzige Rekonstruktionsoption mit guten klinischen Ergebnissen. Der relevanteste Risikofaktor für ein Versagen dieser Implantate ist die periprothetische Infektion, da es sich aufgrund ihrer Größe um sogenannte „Megaimplantate“ handelt. Ein Aspekt, welcher mit dem Patienten präoperativ kommuniziert werden muss.

6. Überlappung durch geteilte Autorenschaften

Die vorliegende Habilitationsschrift hat vier publizierte Originalarbeiten zur Grundlage. Alle vier Arbeiten habe ich als alleiniger Erstautor publiziert. Eine Überlappung mit anderen Habilitationsschriften ist nicht gegeben.

7. Literaturverzeichnis

1. Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Gravius S, Walter SG (2020) Mid-term results after revision total hip arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:263–273. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03318-0>
2. Fröschen FS, Randau TM, Walter SG, Dally F, Wirtz DC, Gravius S (2022) „Custom-made acetabular components“ (CMAC) beim zweizeitigen Wechsel und bei höhergradigen periazetabulären Knochendefekten. *Oper Orthop Traumatol*. <https://doi.org/10.1007/s00064-022-00766-7>
3. Fröschen FS, Randau TM, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2021) Risk factors for implant failure of custom-made acetabular implants in patients with Paprosky III acetabular bone loss and combined pelvic discontinuity. *Technol Health Care* 1–9. <https://doi.org/10.3233/THC-202236>
4. Fröschen FS, Randau TM, Hischebeth GTR, Gravius N, Wirtz DC, Gravius S, Walter SG (2020) Outcome of repeated multi-stage arthroplasty with custom-made acetabular implants in patients with severe acetabular bone loss: a case series. *HIP Int* 30:64–71. <https://doi.org/10.1177/1120700020928247>
5. Khanduja V (2017) Total hip arthroplasty in 2017 – Current concepts and recent advances. *Indian J Orthop* 51:357–358. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_367_17
6. Okafor L, Chen AF (2019) Patient satisfaction and total hip arthroplasty: a review. *Arthroplasty* 1:6. <https://doi.org/10.1186/s42836-019-0007-3>
7. Labek G, Thaler M, Janda W, Agreiter M, Stöckl B (2011) Revision rates after total joint replacement: CUMULATIVE RESULTS FROM WORLDWIDE JOINT REGISTER DATASETS. *J Bone Joint Surg Br* 93-B:293–297. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.93B3.25467>
8. Paprosky WG, Perona PG, Lawrence JM (1994) Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty: a 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty* 9:33–44
9. Wirtz DC, Jaenisch M, Osterhaus TA, Gathen M, Wimmer M, Randau TM, Schildberg FA, Rössler PP (2020) Acetabular defects in revision hip arthroplasty: a therapy-oriented classification. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:815–825. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03379-6>
10. Gravius S, Pagenstert G, Weber O, Kraska N, Röhrig H, Wirtz DC (2009) Acetabular defect reconstruction in revision surgery of the hip. Autologous, homologous or metal? *Orthop* 38:729–740. <https://doi.org/10.1007/s00132-009-1428-4>
11. D’Antonio JA, Capello WN, Borden LS, Bargar WL, Bierbaum BF, Boettcher WG, Steinberg ME, Stulberg SD, Wedge JH (1989) Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 126–137

12. Berasi CC, Berend KR, Adams JB, Ruh EL, Lombardi AV (2015) Are Custom Triflange Acetabular Components Effective for Reconstruction of Catastrophic Bone Loss? *Clin Orthop Relat Res* 473:528–535.
<https://doi.org/10.1007/s11999-014-3969-z>
13. Christie MJ, Barrington SA, Brinson MF, Ruhling ME, DeBoer DK (2001) Bridging massive acetabular defects with the triflange cup: 2- to 9-year results. *Clin Orthop* 216–227
14. Sculco PK, Wright T, Malahias M-A, Gu A, Bostrom M, Haddad F, Jerabek S, Bolognesi M, Fehring T, Gonzalez DellaValle A, Jiranek W, Walter W, Paprosky W, Garbuz D, Sculco T, Abdel M, Boettner F, Benazzo F, Buttarro M, Choi D, Engh CA, Garcia-Cimbrello E, Garcia-Rey E, Gehrke T, Griffin WL, Hansen E, Hozack WJ, Jones S, Lee G-C, Lipman J, Manktelow A, McLaren AC, Nelissen R, O'Hara L, Perka C, Sporer S (2022) The Diagnosis and Treatment of Acetabular Bone Loss in Revision Hip Arthroplasty: An International Consensus Symposium. *HSS Journal® Musculoskelet J Hosp Spec Surg* 18:8–41.
<https://doi.org/10.1177/15563316211034850>
15. von Hertzberg-Boelch SP, Wagenbrenner M, Arnholdt J, Frenzel S, Holzapfel BM, Rudert M (2021) Custom Made Monoflange Acetabular Components for the Treatment of Paprosky Type III Defects. *J Pers Med* 11:283.
<https://doi.org/10.3390/jpm11040283>
16. Chiarlone F, Zanirato A, Cavagnaro L, Alessio-Mazzola M, Felli L, Burastero G (2020) Acetabular custom-made implants for severe acetabular bone defect in revision total hip arthroplasty: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 140:415–424. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03334-5>
17. Günther K-P, Wegner T, Kirschner S, Hartmann A (2014) Modulare Defektrekonstruktion beim Pfannenwechsel mit Abstützschale und metallischen Augmenten: „Cage-and-Augment“-System. *Oper Orthop Traumatol* 26:141–155.
<https://doi.org/10.1007/s00064-013-0271-2>
18. Ghanem M, Zajonz D, Nuwayhid R, Josten C, Heyde C-E, Roth A (2019) Management of pelvic discontinuity in revision arthroplasty: Cementless acetabular cup with iliac stem and cranial strap. *Orthop* 48:413–419.
<https://doi.org/10.1007/s00132-018-03675-5>
19. Zhang J, Huang Y, Zhou B, Zhou Y (2019) Mid-Term Follow-Up of Acetabular Revision Arthroplasty Using Jumbo Cups. *Orthop Surg* 11:811–818.
<https://doi.org/10.1111/os.12522>
20. Wirtz DC, Wacker M, Jaenisch M, Gravius S, Roessler PP (2020) Hüftpfannenwechsel mit einem neuartigen zementfreien „Augment-and-modular-cage“-Revisionssystem (MRS-C): Chirurgische Technik und erste klinische Ergebnisse. *Oper Orthop Traumatol* 32:248–261.
<https://doi.org/10.1007/s00064-019-00637-8>
21. Arvinte D, Kiran M, Sood M (2020) Cup-cage construct for massive acetabular defect in revision hip arthroplasty- A case series with medium to long-term

- follow-up. *J Clin Orthop Trauma* 11:62–66.
<https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.04.021>
22. Steno B, Kokavec M, Necas L (2015) Acetabular revision arthroplasty using trabecular titanium implants. *Int Orthop* 39:389–395.
<https://doi.org/10.1007/s00264-014-2509-5>
 23. Rudert M, Holzapfel BM, Kratzer F, Gradinger R (2010) Das Kranialpfannensystem zur defektypassozierten Therapie von Azetabulumdefekten. *Oper Orthop Traumatol* 22:241–255.
<https://doi.org/10.1007/s00064-010-9003-z>
 24. Frenzel S, Horas K, Rak D, Boelch SP, Rudert M, Holzapfel BM (2020) Acetabular Revision With Intramedullary and Extramedullary Iliac Fixation for Pelvic Discontinuity. *J Arthroplasty* 35:3679-3685.e1.
<https://doi.org/10.1016/j.arth.2020.06.067>
 25. Sculco PK, Ledford CK, Hanssen AD, Abdel MP, Lewallen DG (2017) The Evolution of the Cup-Cage Technique for Major Acetabular Defects: Full and Half Cup-Cage Reconstruction. *J Bone Jt Surg* 99:1104–1110.
<https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00821>
 26. Roessler PP, Jaenisch M, Kuhlmann M, Wacker M, Johannes Wagenhäuser P, Gravius S, Wirtz DC (2018) The augment-and-modular-cage revision system for reconstruction of severe acetabular defects—two-year clinical and radiographic results. *Int Orthop*. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4271-6>
 27. Hipfl C, Janz V, Löchel J, Perka C, Wassilew GI (2018) Cup-cage reconstruction for severe acetabular bone loss and pelvic discontinuity: Mid-term Results of a Consecutive Series of 35 Cases. *Bone Jt J* 100-B:1442–1448.
<https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B11.BJJ-2018-0481.R1>
 28. Wang Q, Wang Q, Liu P, Ge J, Zhang Q, Guo W, Wang W (2022) Clinical and radiological outcomes of jumbo cup in revision total hip arthroplasty: A systematic review. *Front Surg* 9:929103.
<https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.929103>
 29. von Roth P, Wassilew G (2017) Jumbocups in der Revision. *Z Für Orthop Unfallchirurgie* 155:534–538. <https://doi.org/10.1055/s-0043-108648>
 30. Nwankwo CD, Ries MD (2014) Do Jumbo Cups Cause Hip Center Elevation in Revision THA? A Radiographic Evaluation. *Clin Orthop* 472:2793–2798.
<https://doi.org/10.1007/s11999-014-3632-8>
 31. Sheth NP, Melnic CM, Paprosky WG (2014) Acetabular distraction: an alternative for severe acetabular bone loss and chronic pelvic discontinuity. *Bone Jt J* 96-B:36–42. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B11.34455>
 32. Sporer SM, Bottros JJ, Hulst JB, Kancherla VK, Moric M, Paprosky WG (2012) Acetabular Distraction: An Alternative for Severe Defects with Chronic Pelvic Discontinuity? *Clin Orthop* 470:3156–3163. <https://doi.org/10.1007/s11999-012-2514-1>

33. Marx A, Beier A, Richter A, Lohmann CH, Halder AM (2016) Major Acetabular Defects Treated with the Burch-Schneider Antiprotrusion Cage and Impaction Bone Allograft in a Large Series: A 5- to 7- Year Follow-up Study. *HIP Int* 26:585–590. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000388>
34. The McMaster Arthroplasty Collaborative (MAC)1 a (2020) Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection Following Primary Total Hip Arthroplasty: A 15-Year, Population-Based Cohort Study. *J Bone Jt Surg* 102:503–509. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00537>
35. Smolle MA, Bergovec M, Scheipl S, Gössler W, Amerstorfer F, Glehr M, Leithner A, Friesenbichler J (2022) Long-term changes in serum silver concentrations after extremity reconstruction with silver-coated megaprotheses. *Sci Rep* 12:13041. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16707-0>
36. Gladnick BP, Fehring KA, Odum SM, Christie MJ, DeBoer DK, Fehring TK (2018) Midterm Survivorship After Revision Total Hip Arthroplasty With a Custom Triflange Acetabular Component. *J Arthroplasty* 33:500–504. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.09.026>
37. Jones CW, Choi DS, Sun P, Chiu Y-F, Lipman JD, Lyman S, Bostrom MPG, Sculco PK (2019) Clinical and design factors influence the survivorship of custom flange acetabular components. *Bone Jt J* 101-B:68–76. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1455.R1>
38. Kieser DC, Ailabouni R, Kieser SCJ, Wyatt MC, Armour PC, Coates MH, Hooper GJ The use of an Ossis custom 3D-printed tri-flanged acetabular implant for major bone loss: minimum 2-year follow-up: Short title: Ossis custom 3D-Printed tri-flanged acetabular implant. *HIP Int* 7
39. Li H, Qu X, Mao Y, Dai K, Zhu Z (2016) Custom Acetabular Cages Offer Stable Fixation and Improved Hip Scores for Revision THA With Severe Bone Defects. *Clin Orthop* 474:731–740. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4587-0>
40. Wind MA, Swank ML, Sorger JI (2013) Short-term Results of a Custom Triflange Acetabular Component for Massive Acetabular Bone Loss in Revision THA. *Orthopedics* 36:e260–e265. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130222-11>
41. Walter SG, Randau TM, Gravius N, Gravius S, Fröschen FS (2019) Monoflanged Custom-Made Acetabular Components Promote Biomechanical Restoration of Severe Acetabular Bone Defects by Metallic Defect Reconstruction. *J Arthroplasty* S0883540319310174. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2019.10.040>
42. Prokopetz JJ, Losina E, Bliss RL, Wright J, Baron JA, Katz JN (2012) Risk factors for revision of primary total hip arthroplasty: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 13:251. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-251>
43. Dittmer DK, Teasell R (1993) Complications of immobilization and bed rest. Part 1: Musculoskeletal and cardiovascular complications. *Can Fam Physician Med Fam Can* 39:1428–1432, 1435–1437

44. Teasell R, Dittmer DK (1993) Complications of immobilization and bed rest. Part 2: Other complications. *Can Fam Physician Med Fam Can* 39:1440–1442, 1445–1446
45. Stein TP (1999) Chapter 3 Nutrition and Muscle Loss in Humans During Spaceflight. In: *Advances in Space Biology and Medicine*. Elsevier, pp 49–97
46. Hariati H, Suza DE, Tarigan R (2019) Risk Factors Analysis for Catheter-Associated Urinary Tract Infection in Medan, Indonesia. *Open Access Maced J Med Sci* 7:3189–3194. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.798>
47. Parvizi J, Koo K-H (2019) Should a Urinary Tract Infection Be Treated before a Total Joint Arthroplasty? *Hip Pelvis* 31:1. <https://doi.org/10.5371/hp.2019.31.1.1>
48. Greenky M, Gandhi K, Pulido L, Restrepo C, Parvizi J (2012) Preoperative Anemia in Total Joint Arthroplasty: Is It Associated with Periprosthetic Joint Infection? *Clin Orthop* 470:2695–2701. <https://doi.org/10.1007/s11999-012-2435-z>
49. Stauder R, Thein SL (2014) Anemia in the elderly: clinical implications and new therapeutic concepts. *Haematologica* 99:1127–1130. <https://doi.org/10.3324/haematol.2014.109967>
50. Joosten E (2018) Iron deficiency anemia in older adults: A review: Iron deficiency anemia in older adults. *Geriatr Gerontol Int* 18:373–379. <https://doi.org/10.1111/ggi.13194>
51. Meybohm P, Richards T, Isbister J, Hofmann A, Shander A, Goodnough LT, Muñoz M, Gombotz H, Weber CF, Choorapoikayil S, Spahn DR, Zacharowski K (2017) Patient Blood Management Bundles to Facilitate Implementation. *Transfus Med Rev* 31:62–71. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2016.05.012>
52. Meybohm P, Herrmann E, Steinbicker AU, Wittmann M, Gruenewald M, Fischer D, Baumgarten G, Renner J, Van Aken HK, Weber CF, Mueller MM, Geisen C, Rey J, Bon D, Hintereder G, Choorapoikayil S, Oldenburg J, Brockmann C, Geissler RG, Seifried E, Zacharowski K (2016) Patient Blood Management is Associated With a Substantial Reduction of Red Blood Cell Utilization and Safe for Patient's Outcome: A Prospective, Multicenter Cohort Study With a Noninferiority Design. *Ann Surg* 264:203–211. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000001747>
53. Loftus TJ, Spratling L, Stone BA, Xiao L, Jacofsky DJ (2016) A Patient Blood Management Program in Prosthetic Joint Arthroplasty Decreases Blood Use and Improves Outcomes. *J Arthroplasty* 31:11–14. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2015.07.040>
54. Hourlier H, Fennema P (2021) Application of an adjusted patient blood management protocol in patients undergoing elective total hip arthroplasty: towards a zero-percent transfusion rate in renal patients—results from an observational cohort study. *J Orthop Surg* 16:697. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02846-z>

55. Pinilla-Gracia C, Mateo-Agudo J, Herrera A, Muñoz M (2020) On the relevance of preoperative haemoglobin optimisation within a Patient Blood Management programme for elective hip arthroplasty surgery. *Blood Transfus.* <https://doi.org/10.2450/2020.0057-20>
56. Vincenten CM, Den BL, Bos PK, Bolder SBT, Gosens T (2019) Quality of life and health status after Girdlestone resection arthroplasty in patients with an infected total hip prosthesis. *J Bone Jt Infect* 4:10–15. <https://doi.org/10.7150/jbji.28390>
57. Zamora-Navas P, Estades-Rubio FJ (2021) Calidad de vida tras artroplastia resección de Girdlestone. *Rev Esp Cir Ortopédica Traumatol* 65:24–30. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2020.07.001>

8. Danksagung

Mein größter Dank gilt meiner Ehefrau Dr. med. Eva-Maria Fröschen. Ohne Ihre fortwährende und uneingeschränkte Unterstützung während aller Phasen meiner beruflichen Laufbahn und wissenschaftlichen Forschungsaktivität hätte ich diese Arbeit nicht abschließen können. Ihr Verständnis, ihre Unterstützung und ihre Toleranz insbesondere in Zeiten knapper gemeinsamer Zeit sind einzigartig und die Grundvoraussetzung für das bisher Erreichte.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Wirtz für die Möglichkeit mein wissenschaftliches Interesse an seiner Klinik umzusetzen und mir die Bearbeitung wissenschaftlicher Themen zu ermöglichen.

Herrn Prof. Dr. Gravius danke ich für seine Anleitung insbesondere zu Beginn meiner beruflichen Tätigkeit und für seine stets hilfsbereite Art sowie vielen Tipps und Tricks um komplexere Problemstellungen multidimensional und strukturiert zu lösen. Dies hat mich sehr geprägt.

Zudem danke ich Herrn PD Dr. Randau für seine Unterstützung und Anleitung sowie seine Offenheit bei der Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen. Seine freundliche Supervision und seine kreative Herangehensweise haben wesentlichen Anteil an meiner wissenschaftlichen Entwicklung.

Außerdem gilt meinen Eltern und meinem Bruder besonderer Dank für all die Jahre der liebevollen und uneingeschränkten Unterstützung, auch wenn durch die geleisteten wissenschaftlichen Aktivitäten viel gemeinsame Zeit ausgefallen ist.