

Orthopäde 2014 · 43:79–91
 DOI 10.1007/s00132-013-2131-z
 Online publiziert: 21. Dezember 2013
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

M. Stiehler¹ · F. Zobel¹ · F. Hannemann² · J. Schmitt² · J. Lützner¹ · S. Kirschner¹ · K.-P. Günther¹ · A. Hartmann¹

¹ UniversitätsCentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, TU Dresden

² UniversitätsCentrum für Evidenzbasierte Gesundheitsversorgung, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, TU Dresden

Komplikationen bei Metall-Metall-Gleitpaarungen

Seit Jahrzehnten werden Metall-Metall (Metal-on-metal[MoM])-Gleitpaarungen in der Hüftendoprothetik verwendet. Sie erzeugen weniger volumetrischen Abrieb als Paarungen mit herkömmlichem Polyethylen (PE) und sind mit einem geringeren Risiko an Materialversagen gegenüber anderen Hart-Hart-Paarungen verbunden. Darüber hinaus ermöglichen moderne MoM-Gleitpaarungen die klinische Umsetzung des Oberflächenersatz(OFE)-Konzepts am Hüftgelenk.

Epidemiologie

Eine Betrachtung der Häufigkeit von MoM-assoziierten Komplikationen müsste sowohl lokale als auch systemische Nebenwirkungen einschließen. Eine Ermittlung valider Daten ist jedoch nur schwer möglich. Die meisten Informationen stammen derzeit noch aus retrospektiven Fallserien bzw. klinischen Studien mit sehr unterschiedlichem Design und die Ergebnisse werden von vielen Faktoren (implantat-, patienten- und operateurbezogen) beeinflusst. Endoprothesenregister liefern zwar zuverlässige Ergebnisse zur Standzeit von Implantaten, doch werden Komplikationen in der Regel nur anhand des Endpunkts „Wechsel-eingriff“ erfasst. Da lokale und systemische Nebenwirkungen ohne Endprothesenwechsel nicht in Registerauswertungen enthalten sind, wird die Gesamthäufigkeit möglicherweise unterschätzt. Auch ist derzeit noch unklar, welche klinische Relevanz gerade die systemischen Risiken einer Metallfreisetzung haben

und was die geeigneten Untersuchungsinstrumente für einen entsprechenden Nachweis sind.

Rate lokaler Komplikationen

Deshalb soll hier zunächst nur eine Bewertung der Rate lokaler Komplikationen von MoM-Gleitpaarungen anhand von Ergebnissen aus nationalen Endoprothesenregistern und ausgewählten klinischen Studien vorgenommen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mittlerweile eine Unterscheidung von MoM-Paarungen in gestielte Kleinkopf- (≤ 32 mm), Großkopf- (> 32 mm) sowie Oberflächenersatz(OFE)-Endoprothesen vorgenommen wird, denn diese Gruppen zeigen hinsichtlich Freisetzung von Metallpartikeln und Komplikationsprofil grundsätzlich unterschiedliche Charakteristika.

Kleinkopf-MoM-Paarungen

Im australischen Endoprothesenregister unterscheiden sich die 11-Jahres-Gesamt-revisionsraten von MoM- (14,1%) und nichtmetallischen (5,1–9,5%) Paarungen zunächst erheblich [1]. Wird jedoch nach einzelnen MoM-Implantatkategorien differenziert, zeigt sich für Kleinkopf-MoM-Paarungen mit 6,0% eine vergleichbare Revisionshäufigkeit gegenüber Gleitpaarungen mit Keramik-Keramik (5,8%) und Keramik-konventionellem Polyethylen (PE; 9,3%). Die Ergebnisse klinischer Studien legen nahe, dass Kleinkopf-MoM-Legierungen mit hohem Karbongehalt solchen mit niedrigem Karbongehalt überlegen sind und 10-Jahres-Standzeiten von bis zu 98% aufweisen können [2, 3, 4].

Vereinzelte Fallberichte über durch diesen Gleitpaarungstyp ausgelöste Metallunverträglichkeitsreaktionen [4, 5] stehen einer sehr hohen Anzahl erfolgter Implantationen über einen langen Zeitraum gegenüber, sodass nicht davon auszugehen ist, dass metallbedingte Komplikationen ein verbreitetes, relevantes Problem bei Verwendung von Kleinkopf-MoM-Paarungen darstellen. Dennoch reicht die derzeit verfügbare Evidenz aus entsprechend systematischen Untersuchungen noch nicht aus, um eine sichere Aussage zur Prävalenz von Gewebeunverträglichkeiten bei diesem Gleitpaarungstyp machen zu können.

MoM-Großkopfimplantate

Auch für MoM-Großkopfimplantate ist die Datenlage noch begrenzt, doch weisen hier nahezu alle verfügbaren Untersuchungen in die gleiche negative Richtung: MoM-Gleitpaarungen mit einem Durchmesser > 32 mm zeigen im australischen Endoprothesenregister eine im Vergleich zu Keramik-Keramik-Paarungen vergleichbarer Kopfgröße mehr als 4-fach erhöhte Gesamtrevisionsrate von 20,3% [1]. Diese Beobachtung deckt sich mit mehreren publizierten Fallserien. So wiesen Bosker et al. [6] bei 42/107 (39,2%) implantierten Großkopf-MoM-Prothesen durchschnittlich 3,5 Jahre postoperativ Pseudotumoren nach. In einer weiteren Serie wurden nach durchschnittlich 5 Jahren 31/185 (16,8%) Großkopf-MoM-Prothesen revidiert [7]. Langton et al. [8] berichteten von einer 6%igen Revisionsrate großkopfiger Hüftendoprothesen nach durchschnittlich 3,5 Jahren mit Nachweis

von Pseudotumoren in allen betroffenen Fällen. In einer Studie von Meyer et al. [9] mussten 114/805 (14,2%) Großkopf-MoM-Prothesen nach durchschnittlich 46 Monaten revidiert werden. Ursächlich für das schlechte Abschneiden von Großkopf-MoM-Paarungen scheint eine Überforderung der Konussteckverbindung bei größenbedingt vermehrter Reibkorrosion (engl. „fretting“) der Gleitpartner mit daraus resultierend erhöhter Metallionenfreisetzung bei diesem Prothesentyp zu sein [10]. Aufgrund dieser bereits kurz- bis mittelfristig inakzeptabel hohen Gewebeanverträglichkeits- und Revisionsraten besteht für die Verwendung von Großkopf-MoM-Gleitpaarungen daher gegenwärtig keine Indikation mehr [11]. Verschiedene wissenschaftliche Gesellschaften propagieren, den Einsatz schaftbasierter MoM-Großköpfe (≥ 36 mm) zunächst zeitlich begrenzt („time out“), zu unterbinden [12].

Oberflächenersatz

Registerdaten und klinische Studien lassen mittlerweile valide Aussagen zu mittel- bis langfristigen Ergebnissen nach Oberflächenersatz (OFE) zu. Unter Berücksichtigung von Implantatdesign, -größe und -positionierung sowie Geschlecht als wesentliche Einflussfaktoren werden in Anwendungsstudien 10-Jahres-Standzeiten im Bereich von 87,0–95,5% berichtet [13–16]. Registerbasierten Daten zufolge weisen OFE-Prothesen etwas schlechtere Ergebnisse als konventionelle schaftverankerte Prothesen auf. Im australischen Endoprothesenregister wird mit 9,5% für den OFE eine im Vergleich zu konventionellen, stielgeführten Hüftendoprothesen (7,2%) erhöhte 11-Jahres-Gesamtrevisionsrate für Fälle mit primärer Koxarthrose berichtet [1]. Der Einfluss des Geschlechts auf das Outcome nach OFE ist im australischen Register mit der mit 16,9% wesentlich erhöhten 11-Jahres-Revisionsrate für Frauen verglichen mit Männern (6,1%) belegt. Diese Beobachtung spiegelt teilweise den Einfluss der Implantatgröße wider: Kopfgrößen ≥ 50 mm zeigen Revisionsraten unter 5%, während Größen < 50 mm in Australien mit einer 12%igen Wechseloperationsrate nach 11 Jahren einhergehen [1].

Die Güte der Implantatpositionierung stellt einen operateurabhängigen Einflussfaktor dar.

So sollten Pfanneninklationen über 50° zur Prophylaxe einer mit erhöhten Metallionenfreisetzen assoziierten Randbelastung (engl. „edge load“) vermieden werden [17]. Zusätzlich können bestimmte Designmerkmale (wie z. B. ein niedriger „funktionaler artikulärer Bogen“ [18]) die Implantatstandzeit maßgeblich verkürzen: im australischen Endoprothesenregister sowie in klinischen Studien [19] wurden entsprechend markante produktabhängige Unterschiede für die Revisionsraten beobachtet. Gerade beim Oberflächenersatz ist es wichtig, neben den Standzeiten auch zunehmend verfügbare Berichte über die Häufigkeit lokaler Metallunverträglichkeiten einzubeziehen, die nicht zwangsläufig in Revisionsdaten enthalten sein müssen. Die berichtete Häufigkeit von Gewebeeränderungen weist jedoch eine sehr breite Spanne auf und reicht vom fehlenden Nachweis bis zu einer Pseudotumorraten von 61% in selektierten Kohorten symptomatischer Patienten [20–24]. Die großen Differenzen in den berichteten Komplikationsraten liegen an den erheblichen Unterschieden einzelner Studiendesigns. Da es immer noch zu wenig Untersuchungen gibt, die unter Einschluss auch asymptomatischer Patienten die Häufigkeit lokaler und systemischer Metallunverträglichkeitsreaktionen bei gut funktionierenden OFE-Implantaten untersucht haben, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine abschließende Bewertung des Komplikationspotenzials dieser MoM-Versorgungsform erfolgen.

Ätiologie und Einteilung von Metallnebenwirkungen

Die Implantation von MoM-Endoprothesen bedingt durch verschiedene Mechanismen eine Freisetzung metallischer Produkte (v. a. Partikel und Ionen sowie metallorganische Produkte) in den menschlichen Organismus. So werden an der Implantatoberfläche einerseits mittels physikochemischer, aber auch durch osteoklastenvermittelte biologische Korrosion lösliche Metallionen an das periprothetische

Gewebe abgegeben [25]. Bei Metallgleitpaarungen kommt es zusätzlich zur Bildung metallischer Abriebpartikel [26]. MoM-Endoprothesen setzen jährlich pro Patient durchschnittlich 10^{12} bis 10^{14} Kobalt(Co)- und Chrom(Cr)-Nanopartikel frei, [27] welche mit üblicherweise weniger als 100 nm Durchmesser [26] im Vergleich zu 200–1000 nm messenden PE-Abriebpartikeln verhältnismäßig klein sind und deshalb entweder über den Urin ausgeschieden oder auch leicht über Körperflüssigkeiten in Lymphknoten, Knochenmark und innere Organe weitertransportiert werden können, wo eine in der Regel endozytosevermittelte Akkumulation möglich ist.

Die Freisetzung von Metallionen bzw. -partikeln kann zu unterschiedlichen Gewebereaktionen führen: Die immunologisch vermittelten *lokalen* periprothetischen Reaktionen umfassen die seltene Form der Metallallergie und die unter dem Begriff „adverse reaction to metal debris“ (ARMD) zusammengefassten Erscheinungsformen der Metallreaktivität. Zu möglichen *systemischen* Reaktionen gehören Toxizität, Kanzerogenität und Teratogenität.

Metallallergie

Moderne MoM-Paarungen bestehen üblicherweise aus Co-Cr-Legierungen und enthalten verschiedene hohe Anteile weiterer Metalle, u. a. Nickel [28]. Metallische Implantatbestandteile können prinzipiell zellvermittelte allergische Reaktionen hervorrufen [26]. Bemerkenswerterweise ist die Prävalenz von Metallallergien innerhalb der letzten Jahrzehnte insgesamt angestiegen. Epidemiologischen bevölkerungsbasierten Querschnittuntersuchungen zufolge hat jeder zehnte Deutsche eine Kontaktallergie gegenüber Nickel, wobei Frauen wesentlich häufiger als Männer betroffen sind [29]. Neben Geschlechtsunterschieden spielt das Alter eine Rolle: Junge Frauen weisen mit über 20% die höchste Nickelallergierate auf [30]. Allergien gegenüber Co und Cr bestehen bei 2 bzw. 1% der Bevölkerung [31, 32].

Die aus Implantaten freigesetzten Metallprodukte können nach Komplexbildung mit Serumproteinen als Haptene wirken und immunologische Reaktionen

M. Stiehler · F. Zobel · F. Hannemann · J. Schmitt · J. Lützner · S. Kirschner · K.-P. Günther · A. Hartmann
Komplikationen bei Metall-Metall-Gleitpaarungen

Zusammenfassung

Hintergrund. Metall-Metall-(Metal-on-metal[MoM])-Gleitpaarungen erzeugen weniger volumetrischen Abrieb als Paarungen mit herkömmlichem Polyethylen und sind mit einem geringeren Risiko an Materialversagen gegenüber anderen Hart-Hart-Paarungen verbunden. Ein gehäuftes Auftreten von Komplikationen hat in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Verunsicherung geführt. Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit aktuelle Aspekte der Epidemiologie, Ätiologie, Diagnostik und Behandlung von Komplikationen bei MoM-Hüftendoprothesen besprochen werden.

Epidemiologie/Ätiologie. Anhand von Ergebnissen aus nationalen Endoprothesenregistern und ausgewählten klinischen Studien wird eine Bewertung der Rate lokaler Komplikationen von MoM-Gleitpaarungen

vorgenommen. Dabei wird eine Unterscheidung von MoM-Paarungen in gestielte Kleinkopfdoprothesen (≤ 32 mm), Großkopf (> 32 mm) sowie OFE-Endoprothesen vorgenommen. MoM-Endoprothesen setzen jährlich pro Patient durchschnittlich 10^{12} – 10^{14} Kobalt(Co)- und Chrom(Cr)-Nanopartikel frei. Die Freisetzung von Metallionen bzw. -partikeln kann zu unterschiedlichen Gewebereaktionen führen.

Diagnostik. Zwischen der regulären Routinediagnostik im Rahmen der Implantatnachsorge und spezifischen Untersuchungen beim Auftreten von Beschwerden muss unterschieden werden. Die Diagnostik bei mit Metall-Metall-Hüftendoprothesen versorgten Patienten umfasst ein standardisiertes, stufenförmiges Vorgehen unter Würdigung möglicher Differenzialdiagnosen und Nutzung aktueller laborchemischer und ra-

diologischer Methoden. Beim Auftreten von Beschwerden sollten metallosebedingte Beschwerden vorrangig von mechanischen Problemen (z. B. Prothesenlockerung, Impingement etc.) und Symptomen im Rahmen eines periprothetischen Infekts abgegrenzt werden.

Komplikationstherapie. Für periprothetische Infektionen, Frakturen und sonstige allgemeine Komplikationen gelten die üblichen Standards in der Hüftendoprothetik. Spezifische Maßnahmen ergeben sich jedoch bei den Komplikationen, die auf metallspezifische Risiken zurückgeführt werden können.

Schlüsselwörter

Hüftendoprothese · Metallunverträglichkeit · Metallallergie · Oberflächenersatz · Großkopfprothese

Complications of metal-on-metal tribological pairing

Abstract

Background. Metal-on-metal (MoM) tribological pairing results in less volumetric abrasion than pairing with the conventionally used polyethylene and is associated with a lower risk of material failure compared to other hard-hard pairings. An increased frequency of problem cases in recent years has led to a great increase in uncertainty. Against this background in this article the current aspects of epidemiology, etiology, diagnostics and treatment of complications in MoM hip joint endoprotheses will be discussed.

Epidemiology and etiology. Based on the results from national endoprosthesis registers and selected clinical studies an evaluation of the rate of local complications from MoM tribological pairings was undertaken. A differentiation was made between MoM pairings

in pedicled small head prostheses (≤ 32 mm), large head (> 32 mm) and surface replacement (OFE) endoprotheses. Each year MoM endoprotheses release on average 10^{12} – 10^{14} cobalt (Co) and chromium (Cr) nanoparticles per patient. This release of metal ions and particles can lead to a variety of tissue reactions.

Diagnostics. A differentiation must be made between regular routine diagnostics within the framework of implant follow-up screening and specific investigations due to the occurrence of complaints. The diagnostics for patients treated with MoM hip endoprotheses consists of a standardized step-wise approach considering possible differential diagnoses and the utilization of modern laboratory chemical and radiological methods. When

problems occur, a differentiation should preferentially be made between complaints not caused by metal and mechanical problems (e.g. prosthesis loosening and impingement) and symptoms due to periprothetetic infections.

Therapy of complications. The normal standards for hip endoprosthesis are also valid for periprothetetic infections, fractures and other general complications. Specific measures are, however, necessary for complications due to metal-specific risks

Keywords

Hip endoprosthesis · Metal intolerance · Metal allergy · Surface replacement · Large head prosthesis

auslösen [26, 33]. Es handelt sich dabei um sowohl kutane als auch selten periimplantäre Überempfindlichkeitsreaktionen vom verzögerten Typ IV nach Coombs und Gell, charakterisiert durch eine makrophagenvermittelte T-Lymphozyten-Sensibilisierung mit Ausschüttung proinflammatorischer und osteokatabolregulierender Zytokine, wie z. B. IL-1 und -2, TNF- α , IFN- γ und RANKL („receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand“; [34, 35]). Die genauen zellulären Mechanismen und

dazugehörigen parakrinen Zytokinmuster der metallbedingten periimplantären und systemischen Gewebereaktionen sind Gegenstand aktueller Forschung [25, 34].

Das Auftreten allergiebedingter Komplikationen gegenüber metallischen Knochen- und Gelenkimplantaten wird durch patienten- (u. a. Immunkompetenz, bekannte Metallunverträglichkeit) und implantatspezifische (z. B. Korrosionspotential) Faktoren beeinflusst [36, 37]. Erste Berichte über Hypersensitivitätsreaktio-

nen gegenüber orthopädischen Implantaten stammen aus den 60er Jahren [38]. Bei MoM-Endoprothesenträgern wurden im Vergleich zur Normalbevölkerung durchschnittlich 5-fach häufiger Kontaktallergien gegen eine oder mehrere der Legierungsmetalle beobachtet [26]. Moderne MoM-Paarungen scheinen dabei verglichen mit in den 60er und 70er Jahren verwendeten Metallpaarungen der ersten Generation mit wesentlich niedrigeren Allergieraten assoziiert zu sein [32, 39]. Interes-

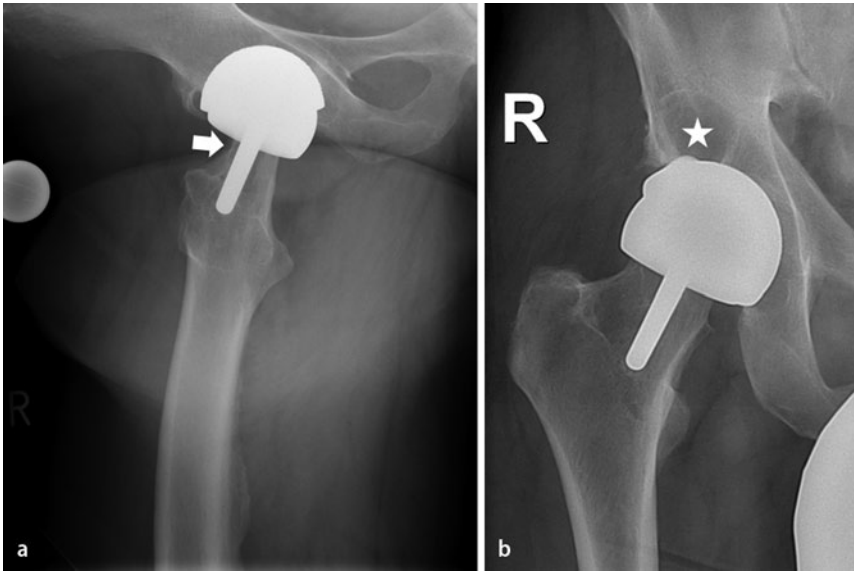


Abb. 1 ▲ ARMD-assoziierte Osteolysen bei Metall-Metall-Gleitpaarungen. **a** Oberflächenersatz mit in der konventionellen Lauenstein-Aufnahme sichtbarer ventraler Schenkelhalsausdünnung (Pfeil). **b** Ausgedehnte, stabilitätsgefährdende periazetabuläre Osteolyse (Stern). ARMD, „adverse reaction to metal debris“

santerweise belegten verschiedene Untersuchungen ein signifikant erhöhtes Vorkommen kutaner Metallallergien bei Prothesenversagern im Vergleich zu Patienten mit asymptomatischen Hüftendoprothesen, wobei nicht erwiesen ist, ob die in diesem Zusammenhang beobachteten implantatfernen Allergien Ursache oder möglicherweise Folge des Implantatversagens sind [26, 40].

Eine Allergie gegenüber metallischen Implantatbestandteilen kann vorbestehen oder sich als Folge einer postoperativen Sensibilisierung manifestieren. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang kutane (Ekzem, Urtikaria, Schwellung) von periimplantären (aseptische Implantatlockerung) Komplikationen, wobei letztere unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur eine sehr niedrige Prävalenz haben, aber ein ernst zu nehmendes Ereignis mit erforderlicher Revision darstellen [41].

„Adverse reaction to metal debris“ (ARMD)

Im Gegensatz zur selten vorkommenden periimplantären Metallallergie sind unter dem Begriff ARMD verschiedene histopathologische Erscheinungsformen primär nichtallergischer, immunologisch bedingter periprotetischer Gewebereak-

tionen auf die Freisetzung von Metallionen, Abriebpartikeln sowie metallorganischen Produkten zusammengefasst [42]. ARMD umfasst das von Willert et al. [33] geprägte Konzept der aseptischen lymphozytisch vaskulitisassoziierten Läsion (ALVAL), das histologische Bild der *Metallose*, charakterisiert durch Metalldebris phagozytierende Makrophagen ohne ALVAL-typische Lymphozytenreaktion [43] sowie granulomatös-nekrotisierende Entzündungsreaktionen mit Zerstörung der Gewebearchitektur. Klinisch können Neokapselrötungen, intra- und periartikuläre Flüssigkeitsansammlungen (vermutlich begünstigt durch gestörten Lymphabfluss) sowie Gewebedestruktion mit periprotetischen Osteolysen und großen zystischen oder soliden Raumforderungen („Pseudotumoren“) imponieren. In einer kürzlich erschienenen Metaanalyse haben Wiley et al. [44] eine Gesamtrate von 0–6,5% an Pseudotumoren bzw. ALVAL in insgesamt 14 Patientenkohorten mit unterschiedlichen MoM-Implantaten nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 1,7–12,3 Jahren berichtet. Eingangs wurde jedoch bereits darauf hingewiesen, wie groß die Heterogenität der methodischen Ansätze in den einzelnen Untersuchungen ist, weshalb diese Angaben sehr zurückhaltend zu interpretieren sind.

Toxizität

Eine chronische Exposition gegenüber Co und Cr kann organspezifische und systemische toxische Wirkungen hervorrufen. Für Nebenwirkungen von MoM-Prothesen können indirekt Informationen aus arbeitsmedizinischen Untersuchungen abgeleitet werden. So wurden dosis- und expositionszeitabhängige Veränderungen der Lungenfunktion bei chronischer, jedoch in der Regel inhalativer Exposition gegenüber Co nachgewiesen [45, 46, 47, 48]. Weiterhin wurden zentralneurologische Symptome bei langfristig Koexponierten beobachtet [49]. Sechswertiges Cr (Cr(VI)) besitzt eine hepatotoxische Wirkung [50], und es wurden negative Auswirkungen erhöhter systemischer Chromkonzentrationen auf das reproduktive System, u. a. eine spermizide Wirkung, berichtet [51, 52]. Sowohl Co [53, 54] als auch Cr [55] können als Haptene fungieren und immunologische, Typ-IV-vermittelte Sensitivierungsreaktionen mit kutanen und extrakutanen Symptomen hervorrufen. In diesem Zusammenhang werden außerdem Kreuzreaktivitäten gegenüber Nickel diskutiert [56, 57]. Während Zeichen der Kardiomyopathie bei langfristiger Koexposition beschrieben wurden, [58, 59, 60] gibt es keine Evidenz für Cr-vermittelte kardiovaskuläre Erkrankungen [61, 62]. Von Bedeutung für die Beurteilung des nephrotoxischen Potenzials systemisch freigesetzter Cr-Verbindungen können Beobachtungen sein, bei denen bei chronisch Cr(VI)-exponierten Stahlarbeitern keine Hinweise auf metallbedingte Nierenfunktionsstörungen gefunden wurden [63, 64].

Sowohl Co als auch Cr werden vorwiegend renal eliminiert, sodass prinzipiell eine Metallakkumulation bei Nierenfunktionsstörungen und renale Metallablagerungen mit konsekutiver Nephrotoxizität als Folge von MoM-Paarungen möglich sind. Hur et al. [65] beobachteten 4 Jahre nach Implantation von Kleinkopf-MoM-Prothesen in einer Serie von 5 Patienten (33–62 Jahre alt) mit bereits präoperativ bestehender fortgeschrittener Niereninsuffizienz im Vergleich zu 6 nierengesunden, altersgematchten Patienten nur mäßig er-

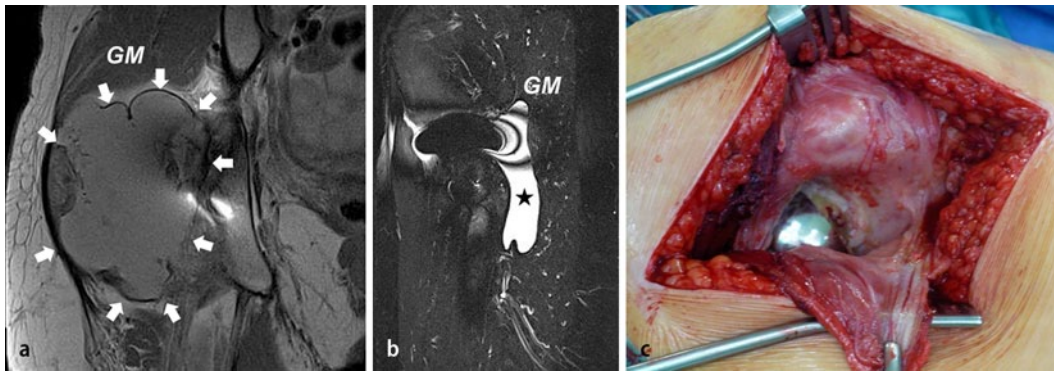


Abb. 2 ▲ ARMD-bedingte Weichteilveränderungen bei Metall-Metall-Gleitpaarungen. Magnetresonanztomographische Darstellung (metallartefaktreduzierte Sequenzen, T1- [a] und T2-Turbo-inversion-recovery-magnitude[TIRM]-Wichtung [b]) einer metallosebedingten, als Pseudotumor imponierenden, periprothetischen zystischen Raumforderung (Pfeile/Stern) im Bereich des M. gluteus maximus (GM) bei einer 54-jährigen Patientin 7 Jahre nach Hüftoberflächenersatz. Intraoperativer Situs nach Eröffnung der Pseudotumorkapsel (c). ARMD „adverse reaction to metal debris“

höhte systemische Co- und vergleichbare Cr-Werte ohne Hinweise auf metallbedingte Nebenwirkungen. Eine kanadische Gruppe berichtete kürzlich von einem 46-jährigen Patienten mit letaler Co-induzierter Kardiomyopathie 6 Monate nach Wechsel eines frakturierten Keramikeinsatzes auf eine Metall-PE-Gleitpaarung [66]. Rizzetti et al. [67] beschreiben einen Fall von metallinduzierter, schwerwiegender Neurotoxizität mit Seh- und Hörverlust einer 58-jährigen Patientin ein Jahr nach Wechsel einer Hüftendoprothese auf eine Metall-PE-Gleitpaarung bei frakturiertem Keramikkopf. Obwohl die Metallionenfreisetzungen in beiden Fallberichten durch Keramikdrittkörperverschleiß begünstigt wurden und das ohnehin geringe Frakturrisiko bei Keramikkomponenten der letzten Generation weiter reduziert werden konnte, unterstreichen solche Fallberichte die Notwendigkeit, die systemische Metalltoxizität bei hüftendoprothetisch versorgten Patienten als mögliche Differenzialdiagnose zu berücksichtigen.

Obwohl verschiedene Autoren auch langfristig keine nephrotoxischen Effekte durch MoM-Prothesen nachweisen konnten [3, 68–71], können aufgrund der diesbezüglich insgesamt begrenzten Literatur aktuell keine allgemeingültigen Aussagen hinsichtlich der Relevanz metallbedingter toxischer Effekte durch MoM-Prothesen abgeleitet werden. Gemäß aktuellen Empfehlungen sollten Patienten mit Nierenfunktionsstörungen nicht mit MoM-Paarungen versorgt werden [72].

Es muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Verfügbarkeit systematisch erhobener Daten zur Toxizität von MoM-Gleitpaarungen aus Untersuchungen mit angemessenem Design sehr begrenzt ist. Erst in einer vor kurzem publizierten Fall-Kontroll-Studie [73] wurden umfangreiche Untersuchungen zu den möglichen Nebenwirkungen in verschiedenen Organsystemen berichtet, die in die richtige Richtung gehen. Dabei zeigten sich 8 Jahre postoperativ nach Oberflächenersatz eine tendenziell höhere Knochendichte mit geringerem „turnover“ von Knochenmarkern und eine geringe Erhöhung des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers bzw. eine erniedrigte Auswurfraction. Umfangreiche Serummarkeranalysen von Nieren-, Leber- und endokriner Funktion sowie neurologische bzw. neuropsychologische Tests ergaben keinerlei Hinweise auf klinisch relevante Beeinträchtigungen. Erst wenn mehrere solcher Untersuchungen verfügbar sind, kann eine objektive Einschätzung der tatsächlichen Toxizität von MoM erfolgen.

Karzinogenität

Auch das karzinogene Potenzial metallischer Implantate wird aktuell kontrovers diskutiert. Es gibt Hinweise darauf, dass die chronisch-inhalative Cr(VI)-Exposition möglicherweise mit einem erhöhten Risiko für Atemwegskarzinome assoziiert ist [74, 75]. Parry et al. [76] beschrieben DNA-Doppelstrangbrüche und zusätz-

lich chromosomale Abberationen in humaner Fibroblastenkultur nach Exposition mit Cr(VI)-Ionen bzw. mit CoCr-Nanopartikeln. Dunstan et al. [77] sowie Landon et al. [78] wiesen bei MoM-Hüftendoprothesenträgern leukozytäre chromosomale Veränderungen nach. Die Bedeutung dieser Beobachtungen ist jedoch unklar, und es wird momentan kontrovers diskutiert, ob MoM-Paarungen zu einer erhöhten Krebsrate führen.

»» **Allgemeingültige Aussagen bzgl. der Relevanz metallbedingter toxischer Effekte sind nicht möglich**

Daten des finnischen Endoprothesenregisters mit allerdings nur durchschnittlich 4-jähriger Nachuntersuchungsperiode zufolge ergeben sich keine Hinweise auf eine Erhöhung der Inzidenz von Karzinomen bei MoM-Endoprothesenträgern im Vergleich zu Patienten mit nicht metallhaltigen Endoprothesen bzw. zur Normalbevölkerung [79]. Die gleiche finnische Arbeitsgruppe beschrieb nach einem für kanzerogenes Screening verlässlicheren Zeitraum von 18 Jahren an über 2000 Patienten mit MoM- und Metall-PE-Paarungen eine dezent erhöhte krebserkrankungsbedingte Sterblichkeitsrate für MoM- gegenüber Metall-PE-Endoprothesenträgern [80]. Einschränkungen dieser Studie beinhalten jedoch die für die Fragestellungen und den Beobachtungszeitraum relative kleinen Stichpro-

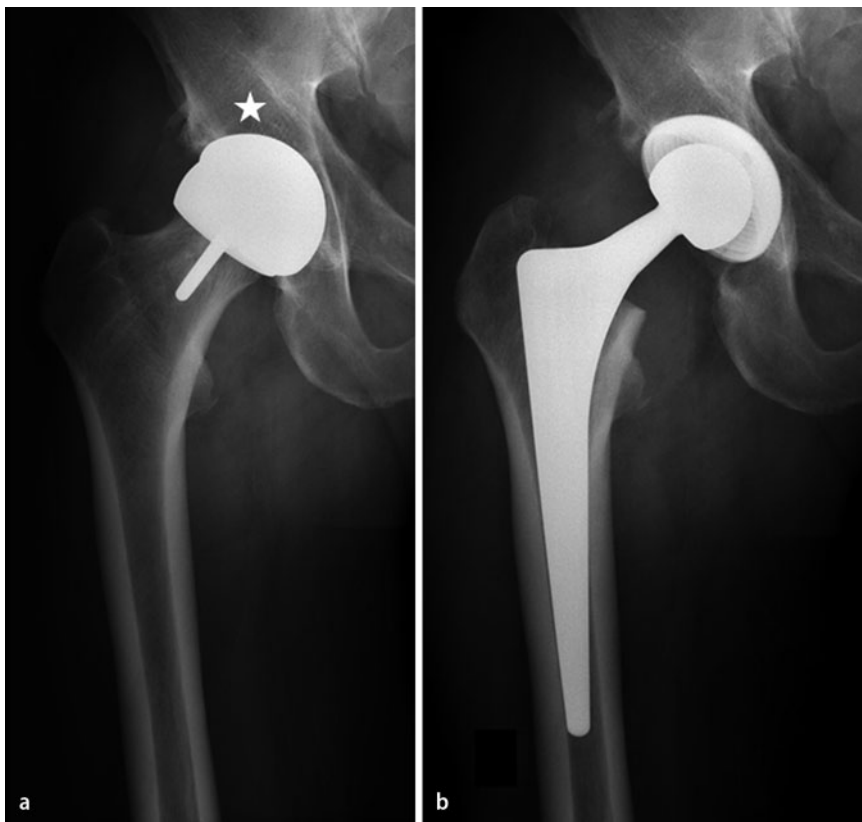


Abb. 3 ▲ ARMD-bedingte periprosthetische azetabuläre Osteolyse (Stern) bei einem 44-jährigen Patienten 3 Jahre nach Hüftoberflächenersatz mit systemisch erhöhten Metallionenwerten und progressiven klinischen Beschwerden (a). Ein Jahr postoperativ nach Wechsel auf ein zementfreies, konventionelles Primärimplantat ohne relevanten azetabulären Knochenverlust unter Verwendung desselben Pfannenaußendurchmessers (b). ARMD, „adverse reaction to metal debris“

benumfang sowie mögliche Unterschiede in der Metallionenfreisetzung der untersuchten Metallpaarungen der ersten Generation im Gegensatz zu aktuell verfügbaren metallischen Paarungen.

Eine Metaanalyse derselben Gruppe um Visuri et al. [81] mit über 73.000 knie- und hüftendoprothetisch versorgten Patienten zeigt wiederum keine krebisbedingte erhöhte Sterblichkeit durch metallhaltige Gleitpaarungen. Einer Analyse des schwedischen Knieendoprothesenregisters aus dem Jahre 2011 zufolge beobachteten die Autoren interessanterweise eine im Vergleich zur Normalbevölkerung erhöhte Rate verschiedener Krebsarten 30 Jahre nach Knieendoprothesenimplantation [82]. Da diese Untersuchung nicht zwischen den im erfassten Zeitraum 1975–2006 implantierten Gleitpaarungen differenziert, kann jedoch keine Aussage zu metallspezifischen karzinogenen Effekten gemacht werden. Zusammengefasst lässt die aktuelle Datenlage

keine zuverlässigen Aussagen hinsichtlich der Frage zu, ob MoM-Hüftendoprothesen ein erhöhtes Auftreten von Tumorerkrankungen bewirken können.

Teratogenität

Obwohl modulierende Mechanismen der maternofetalen Passage von potenziell fruchtschädigenden Metallen beschrieben sind, können aus MoM-Paarungen freigesetzte Co- und Cr-Ionen die Plazentaschranke überwinden [83, 84]. Dennoch gibt es bis dato keine Berichte über teratogene Effekte von MoM-Gleitpaarungen, und diesbezügliche Schlussfolgerungen sind nur spekulativ [85]. In einem aktuellen Fallbericht beschreiben Fritzsche et al. [85] keine morphologisch-funktionellen Veränderungen bei einem regelrecht geborenen Kind einer beidseitigen MoM-Endoprothesenträgerin unter während der gesamten Schwangerschaft bestehenden wesentlich erhöh-

ten systemischen maternalen und fetalen Metallionenwerten. Evidenzbasierte, sichere Aussagen über mögliche, erst längerfristig zum Tragen kommende teratogene Schäden können jedoch aufgrund entsprechend fehlender Patientenkohorten auch in Zukunft nicht gemacht werden. MoM-Endoprothesen sind daher bei Frauen im gebärfähigen Alter gemäß aktueller Empfehlungen nicht indiziert [72].

Diagnostik

Grundsätzlich muss zwischen regulärer Routinediagnostik im Rahmen der Implantatnachsorge (wie nach allen endoprothetischen Eingriffen erforderlich) und spezifischen Untersuchungen beim Auftreten von Beschwerden unterschieden werden. Die Diagnostik mittels Metall-Metall-Hüftendoprothesen versorgter Patienten beinhaltet ein standardisiertes, stufenförmiges Vorgehen unter Würdigung möglicher Differenzialdiagnosen und Nutzung aktueller laborchemischer und radiologischer Methoden. Beim Auftreten von Beschwerden sollten metallosebedingte Beschwerden vorrangig von mechanischen Problemen (z. B. Prothesenlockerung, Impingement etc.) und Symptomen im Rahmen eines periprosthetischen Infekts abgegrenzt werden.

Routinekontrollen

Gemäß den mittlerweile vorliegenden Empfehlungen [72] sollte sich die Häufigkeit der Nachuntersuchungen nach dem verwendeten Typ der Metallpaarung richten. Für asymptomatische Patienten mit Kleinkopf-MoM-Paarungen gelten die für konventionelle Endoprothesen lokal jeweils empfohlenen Kontrollfrequenzen. Die Nachuntersuchung asymptomatischer Großkopf-MoM-Endoprothesenträger sollte lebenslanglich in jährlichen Abständen durchgeführt werden. Patienten mit Hüft-OFE ohne Beschwerden werden jährliche Kontrollen mit Anpassung des Intervalls gemäß den lokalen Empfehlungen für konventionelle Totalendoprothesen ab dem 5. postoperativen Jahr empfohlen. Grundsätzlich ist im Rahmen der Routinediagnostik – ohne Vorliegen von Beschwerden – nur eine klinische und röntgenologische Untersu-

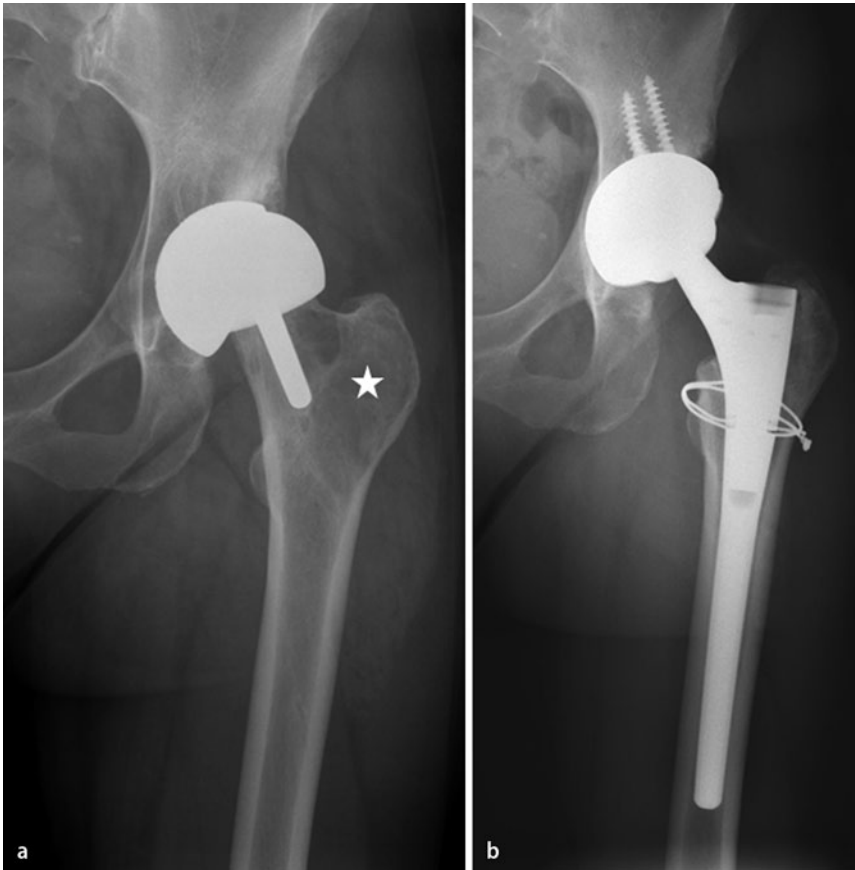


Abb. 4 ▲ Ausgeprägte ARMD (Kobalt-Serum-Wert 165 µg/l) mit periprothetischer femoraler (Stern) und azetabulärer Osteolyse vermutlich infolge vermehrter Randbelastung aufgrund erhöhter Pfanneninklination bei einer 50-jährigen Patientin 7 Jahre nach Hüftoberflächenersatz (a). Ein Jahr postoperativ nach Wechsel auf ein zementfreies Revisionsimplantat und allogener Spongiosaplastik azetabulär und femoral mit erschwelter Einbringung des diaphysär verankerten Prothesenschafts bei umschriebener Schenkelhalssklerosierung (b). ARMD, „adverse reaction to metal debris“

chung erforderlich. Zusätzliche Maßnahmen wie Schnittbildverfahren oder eine Bestimmung von Metallionenspiegeln bleiben besonderen Umständen vorbehalten. So wird z. B. empfohlen, eine Metallionenbestimmung in den ersten 5 Jahren nach allen MoM-Implantationen vorzunehmen und zusätzlich lebenslang bei Hochrisikoimplantaten (wie Großkopfprothesen, zurückgerufenen und suboptimal platzierten Oberflächenersatzes sowie beim Vorliegen bekannter Risikofaktoren, wie z. B. weibliches Geschlecht und Kappendurchmesser <50 mm). Bei Auftreten von Symptomen muss ohnehin unabhängig vom Endoprothesentyp eine engmaschigere Nachuntersuchung (ggf. mit Kontrolle entsprechender Parameter) erfolgen [86].

Bei der langfristigen Nachsorgeplanung von Patienten mit MoM-Hüftendoprothesen muss jedoch berücksichtigt

werden, dass die genannten Metallionenkontrollen nicht flächendeckend zur Verfügung stehen und mit entsprechend infrastrukturellem Aufwand verbunden sind, dessen Finanzierung derzeit noch ungeklärt ist. Deshalb haben die genannten Empfehlungen noch keine forensische Verbindlichkeit.

Diagnostik bei Beschwerden

Anamnestisch sind Art und Dauer der Beschwerden samt Belastungsabhängigkeit, Lokalisation, Schmerzcharakter, bekannte Metallunverträglichkeit (Modeschmuck, Armbanduhr) und ein Ansprechen auf bisherige Therapien zu eruieren. Die klinische Untersuchung umfasst Inspektion (Weichteil-/Narbenverhältnisse), Palpation, Beurteilung von Beckenstand, Beinachsen, Körperlot, Gelenkbeweglichkeit (inklusive Erfassung von Implantat-

Implantat- oder Implantat-Knochen-Impingement), Ausschluss funktioneller und struktureller Störungen der gelenkumfassenden Muskulatur sowie eine neurologische Diagnostik. Sowohl metallose- als auch infektsbedingte Beschwerden können einerseits diagnoseweisend (z. B. lokalisiertes Ekzem, Fistelung), aber auch unspezifisch (z. B. Schmerz, Schwellung, Bewegungseinschränkung) und eventuell sogar nicht vorhanden sein [87]. Es ist ferner zu beachten, dass das Ausmaß des klinischen Beschwerdebildes nicht zwingend mit dem Umfang der periprothetischen Gewebeschädigung korreliert.

Bildgebung

Als erster Schritt in der Bildgebung ist immer ein konventionelles Röntgenbild in 2 Ebenen erforderlich. Die nativradiologische Diagnostik dient der Erfassung struktureller Veränderungen des implantatnahen Knochenlagers (z. B. Osteolyse), der Implantatpositionierung sowie der möglichen Prothesenlockerung im postoperativen Verlauf. Bei Unsicherheit oder Hinweis auf relevante Gewebeschäden sollte als nächster Schritt ein Schnittbildverfahren erfolgen. Das Ausmaß einer Knochendestruktion lässt sich am besten in einer Computertomographie mit Metallartefaktreduktion beurteilen und oft ergibt sich darin auch ein Hinweis auf weichteilige Destruktionen (z. B. große flüssigkeitsgefüllte Bursa oder Pseudotumor, ■ **Abb. 1**; [88]). Weichteilschäden lassen sich jedoch am besten in der Magnetresonanztomographie differenzieren, wobei hier zwingend metallartefaktreduzierende Sequenzen (MARS-MRT) erforderlich sind (■ **Abb. 2**; [89]). Alternativ ist auch eine sonographische Diagnostik möglich, wobei die vergleichende Wertigkeit bzw. Spezifität und Sensitivität aller 3 genannten Verfahren noch nicht abschließend bewertet werden können.

Entzündungsparameter

Im Falle einer Erhöhung der routinemäßig zu bestimmenden Entzündungsparameter (C-reaktives Protein [CRP], Leukozytenanzahl) mit unklarem Infektfokus sollte das Vorliegen einer periprothetischen Infektion mittels Gelenkpunktion und mikrobiologischer Untersuchung geprüft werden.



Abb. 5 ▲ Nativradiologische (a, b) und computertomographische (c, d) Darstellung eines ARMD-bedingten, höhergradigen periprothetischen Pfannendefekts (Sterne) 11 Jahre nach Hüftoberflächenersatz. Acht Monate postoperativ nach Wechsel auf eine Burch-Schneider-Stützschaale mit allogener Spongiosplastik und konventionellem zementfreiem Primärschaft (e). ARMD „adverse reaction to metal debris“

Allergie gegenüber Legierungsmetallen

Besteht der Verdacht auf eine Allergie gegenüber Legierungsmetallen, ist die fachdermatologische Epikutantestung angezeigt [41]. Dabei werden entsprechende Testsubstrate (Nickel, Co, Cr, ggf. ergänzend Titan, Molybdän, Vanadium, Mangan) über 24 h auf dem Rücken des Patienten aufgebracht und Hautreaktionen nach 72 h beurteilt [87]. Wichtig ist jedoch der Hinweis, dass die Ergebnisse von Epikutantestungen nur sehr eingeschränkt auf das periimplantäre Gewebe übertragen werden dürfen. Will man eine mögliche Implantatallergie nachweisen, sollten zusätzlich ein Lymphozytentransformationstest (LTT) (ebenfalls nicht beweisend, aber zumindest für Nickel recht zuverlässig) sowie eine histologische Untersuchung von implantatnahem Gewebe (Nachweis lymphozytärer Infiltrate bei MoM-Paarungen) erfolgen [41].

Metallionenbestimmungen

Relativ große Verunsicherung besteht gegenwärtig hinsichtlich des Stellenwerts von Metallionenbestimmungen im Rahmen der Diagnostik. Aufgrund der verhältnismäßig großen Oberfläche und großen Zahl freigesetzter Metallpartikel (etwa 1000-fach größere Partikelzahl/g Gewebe als bei PE-Gleitpaarungen) kommt es bei Patienten mit implantierter MoM-Hüftendoprothese zu einer regelmäßigen Erhöhung von Metallionenkonzentrationen im Körper. Deshalb wird deren Mes-

sung als Surrogatparameter für die Einschätzung einer systemischen Metallbelastung immer wieder empfohlen.

➤ **Hinsichtlich der angemessenen Untersuchungsintervalle, analytischen Verfahren und zu analysierenden Medien bzw. Ionen gibt es sehr unterschiedliche Angaben.**

Nach den Empfehlungen einer Konsensuskonferenz [72] empfiehlt sich aktuell die Kontrolle der systemischen Metallionenkonzentration auch bei asymptomatischen MoM-Endoprothesenträgern im Rahmen der empfohlenen Nachuntersuchungszeitpunkte, wenn besondere Bedingungen vorliegen (s. oben). Bei symptomatischen Patienten sollte die Kontrolle u. U. entsprechend engmaschiger erfolgen. Obwohl die Ermittlung verschiedener Markermetalle (z. B. Co, Cr, Molybdän) prinzipiell im Blut, Serum und Urin erfolgen kann, ist derzeit die Bestimmung von Co im Vollblut, angegeben als Mikrogramm/Liter ($\mu\text{g/l}$) und mittels validierter Testverfahren (z. B. Atomabsorptionsspektrometrie mit elektrothermischer Aufheizung [GF-AAS] und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma [ICP-MS]), am zweckmäßigsten.

Während Co-Werte $\leq 2 \mu\text{g/l}$ bei fehlenden Beschwerden nach aktuellem Literaturstand als unbedenklich anzusehen sind, [72] ist die klinische Relevanz von Werten zwischen 2 und $7 \mu\text{g/l}$ bei asymptomatischen Patienten derzeit noch unge-

klärt. Deshalb empfiehlt es sich, bei Co-Werten zwischen 2 und $7 \mu\text{g/l}$ mit entsprechendem klinischem Beschwerdebild sowie unabhängig von der Klinik bei Werten $>7 \mu\text{g/l}$ immer eine Komplettierung der Diagnostik mittels Schnittbildverfahren (MARS-MRT, alternativ Sonographie oder CT) vorzunehmen. Verschiedene Algorithmen existieren, in denen genaue Schwellenwerte von Serumionen für eine „gute“ oder „schlechte“ Implantatfunktion angegeben werden.

Van der Straeten et al. [86] und Hart et al. [90] propagieren Co-Grenzwerte von $4,0 \mu\text{g/l}$ im Serum bzw. $5,0 \mu\text{g/l}$ im Vollblut. Die Sensitivität und Spezifität dieser Angaben variieren jedoch und belegen die Schwierigkeit, Entscheidungshilfen in Form eines konkreten Grenzwerts zur Beurteilung von MoM-Prothesenversagen zu definieren. Gemäß der europäischen Konsensempfehlung ist davon auszugehen, einen entsprechenden kritischen Schwellenwert als diagnostische Entscheidungshilfe bei symptomatischen MoM-Patienten für Co im Bereich zwischen 2 und $7 \mu\text{g/l}$ Co im Vollblut als Medium zu definieren. Grundsätzlich ist anzumerken, dass Schwellenwerte nicht nur für lokale, sondern insbesondere auch für systemische Wirkungen von Metallprodukten bei MoM-Endoprothesenträgern in Zukunft noch zu definieren sind. Einige Autoren gehen davon aus, dass zum Beispiel Co-Werte $>20 \mu\text{g/l}$ mit einem erhöhten Risiko für toxisch-systemische Wirkungen einhergehen [86, 91].

Therapie metallassoziierter Komplikationen

Für periprotetische Infektionen, Frakturen und sonstige allgemeine Komplikationen gelten die üblichen Standards in der Hüftendoprothetik. Spezifische Maßnahmen ergeben sich jedoch bei den Komplikationen, die auf metallspezifische Risiken zurückgeführt werden können.

Implantatallergie

In seltenen Fällen kann aufgrund therapieresistenter Beschwerden bei fachdermatologisch getesteter Metallallergie und histologisch nachgewiesenen charakteristischen Veränderungen ein Wechsel auf metallfreie Gleitpaarungskomponenten (z. B. Keramik/Keramik, Keramik/PE) und ggf. ein hypoallergenes (in der Regel titanbasiertes) Implantat erfolgen. Ein Sistieren der Klinik sichert in diesem Fall zudem retrospektiv die Diagnose [87]. Beim Kopfwechsel unter Belassen des Schafts ist prinzipiell die Verwendung entsprechender Metalladapter für Keramikköpfe obligat, um Kompatibilität an der Konus-Kopf-Verbindung zu gewährleisten. Bei tolerablen Beschwerden und nachgewiesener Metallallergie ist auch eine klinisch-radiologische Beobachtung ausreichend, wenn eine normwertige systemische Metallionenkonzentration und eine unauffällige Schnittbilddiagnostik vorliegen.

ARMD

Zur Indikationsstellung sowohl bei asymptomatischen Patienten mit nachgewiesener ARMD (z. B. große Flüssigkeitsansammlungen oder Pseudotumoren und Osteolysen) als auch bei Beschwerden gibt es unterschiedliche Empfehlungen. Nach der aktuellen Einschätzung einer Konsensuskonferenz [72], können sie folgendermaßen zusammengefasst werden:

Bei *asymptomatischen Patienten* müssen kleine Flüssigkeitsansammlungen, die ein Hinweis auf ARMD sein können, mit wiederholter Bildgebung entsprechend überwacht werden. Ein ggf. erstmals erhobener Nachweis erhöhter Metallionenwerte ist durch eine Wiederholungsmessung zu bestätigen, bevor dem

Patienten operative Konsequenzen angeboten werden. Oberhalb eines Schwellenwerts von 2–7 µg/l werden zusätzliche Bildgebungen und engmaschigere Nachuntersuchungen empfohlen. Im Falle pathologischer Befunde der zusätzlichen Bildgebung und/oder einer weiteren signifikanten Steigerung des Co-Werts sollte eine Wechseloperation mit dem Patienten besprochen werden. Pathologische Befunde in der Bildgebung können auch ohne Erhöhung von Metallionen ein Revisionsgrund sein. Dies gilt insbesondere für ausgedehnte Osteolysen bzw. Pseudotumoren, die erheblich destruirend sein können und deren Umfang nicht immer mit der Höhe von Metallionen korrelieren muss. Wenn allerdings eine übermäßige Erhöhung der Metallionenwerte (Co-Werte etwa 20 µg/l oder höher) vorliegt, kann nach bisherigen Erkenntnissen ein wahrscheinlicher Zusammenhang mit der Entstehung von Osteolysen, Gewebenekrosen und auch möglicher langfristiger Auswirkungen auf die systemische Gesundheit angenommen werden. Deshalb sollte in diesen Fällen auch ohne Beschwerden mit dem Patienten über eine Revision gesprochen werden.

Bei *symptomatischen Patienten* ist die Entscheidung zur Art und Durchführung einer Revision neben den genannten Faktoren (Metallionenbestimmung, Ergebnisse bildgebender Untersuchungen) auch von der wahrscheinlichen Ursache der Beschwerden abhängig zu machen. Fortschreitende Osteolysen können über eine Implantatinstabilität zu Beschwerden führen. Eine Sonderform ist die zunehmende Schenkelhalsausdünnung, die die Gefahr einer akuten Fraktur birgt. Große bzw. expandierende Pseudotumoren verursachen häufig mechanische Probleme durch Druck auf benachbarte Strukturen und können sogar Gefäße bzw. Nerven komprimieren. Bei Nachweis von Osteolysen und/oder einem Pseudotumor und/oder zunehmender Schenkelhalsverdünnung und/oder Co-Ionen oberhalb des Schwellenwerts sollte eine Revision in Betracht gezogen werden. Liegt eine gesicherte und revisionsbedürftige ARMD vor, ist eine kausale Behandlung nur durch Wechsel auf metallfreie Gleitpaarungskomponenten möglich. Auch beim Versagen von

OFE-Prothesen ohne lokale Metallnebenwirkungen sollte in der Regel auf metallfreie Gleitpaarungen gewechselt werden. Insbesondere von einer Verwendung der MoM-Großkopfprothesen als früher propagierter Rückzugsoption (z. B. bei Schenkelhalsfrakturen nach OFE) wird dezidiert abgeraten, um nicht das Risiko sekundärer ARMD-Entstehung mit bereits erwähnten ungünstigen klinischen Ergebnissen einzugehen.

Operationstechnische Hinweise für Revisionen bei Metallunverträglichkeit

Hinsichtlich der Operationstechnik und Implantatwahl gelten für die Revision von MoM-Implantaten zunächst die allgemeinen Prinzipien der Wechselendoprothetik, doch sind einige Besonderheiten zu berücksichtigen. Liegen keine ausgeprägten knöchernen Destruktionen vor, kann bei revisionsbedürftigen MoM-Kleinköpfen der isolierte Austausch von Kopf und Inlay erfolgen, wogegen bei OFE- und Großkopfprothesen immer auch ein Ausbau der Monoblockpfanne geboten ist. In der Regel sind die entsprechenden Pfannenkomponenten mit geeigneten Instrumentarien – z. B. kurvierte Meißel – gut entfernbar. Ein übermäßiger Knochenverlust bei der Explantation ist dringend zu vermeiden, da zumindest beim OFE im Rahmen der Primärimplantation ohnehin eine Tendenz zur Einbringung relativ großer Pfannenimplantate besteht. Die Entfernung auch fest sitzender Femurkappen beim OFE gelingt ebenfalls in der Regel relativ leicht, da sich nach partieller Schenkelhalsosteotomie rund um den Zentrierstift die Kappe meist problemlos abziehen lässt. Die Knochenqualität im Schenkelhals ist abhängig davon, ob eine aseptische Lockerung vorliegt oder metallbedingte Osteolysen zu einer Zerstörung geführt haben. Bei festem Implantatsitz und fehlender Osteolyse kann der Markraum um den ehemaligen Stift sehr sklerosiert sein und die spätere Raspelung bzw. das Einbringen eines Implantatschafts beeinträchtigen.

Metallosebedingte Weichteilveränderungen um das Gelenk und Knochendestruktionen, sowohl pfannen- als auch

schaftseitig sollten vollständig entfernt bzw. kürettiert werden, um einer Entstehung von Rezidiven vorzubeugen. Dies kann ausgedehnte Weichteileingriffe und ggf. auch sekundäre Inzisionen erforderlich machen (wenn z. B. auf der Beckeninnenseite oder im Verlauf des Gefäß-Nerven-Bündels relevante Pseudotumoren entstanden sind).

» Ein übermäßiger Knochenverlust bei der Explantation ist unbedingt zu vermeiden

Erfolgt die Revision aufgrund einer Metallunverträglichkeit, sollte grundsätzlich auf metallfreie Gleitpaarungen gewechselt werden (z. B. Keramik-PE oder Keramik-Keramik). Verbleibt die Schaftkomponente nach initialer Kleinkopf- oder Großkopfimplantation, ist immer ein relevanter Konussschaden auszuschließen und ein Keramikkopf nur mit Adapter zu verwenden. Dabei muss jedoch bedacht werden, dass mit Adaptern erneut metallische Komponenten eingebracht werden und damit das neuerliche Risiko einer Freisetzung von Metallpartikeln aus der Konusverbindung besteht. Die Art der Reimplantation erfolgt in Abhängigkeit von der Defektsituation. Wenn auf der Pfannenseite ein geschlossener (engl. „constrained“) Defekt ohne höhergradigen Knochenverlust vorliegt, kann oft erneut auf ein zementfreies sphärisches Implantat gewechselt werden. Bei problemloser Explantation der vorherigen Pfanne ist häufig ein Implantat gleichen oder nur wenig höheren Durchmessers stabil zu verankern (▣ Abb. 3). Auch femurseitig ist nach OFE-Explantation ohne größere Osteolysen meist die Implantation eines Standardschafts möglich, wenngleich eine gelegentlich vermehrte Sklerosierung die Einbringung etwas erschweren kann (▣ Abb. 4). Bei höhergradigen Pfannendefekten infolge von Osteolysen oder/und bei übergroßen Monoblockprimärpfannen sollte anstelle von überdimensionierten Revisionsimplantaten nach Möglichkeit ein knöcherner Defektaufbau (ggf. in Kombination mit Pfannendach- oder Stützschaalen) angestrebt werden, da es sich meist um jün-

gere Patienten mit hoher Lebenserwartung handelt (▣ Abb. 5).

Bei ausgedehnten Weichteilveränderungen etwa durch Pseudotumoren kann die postoperative Stabilität beeinträchtigt sein, weshalb intraoperativ sehr sorgfältig auf eine Luxationstendenz bzw. -prophylaxe mit entsprechenden Maßnahmen (u. a. Offsetrekonstruktion und geeignete Pfannen- und Schaftpositionierung) geachtet werden muss.

Outcome nach Revision von MoM-Implantaten

Entgegen ursprünglichen Berichten [92, 93, 94] zum annehmbar einfachen Wechseleingriff nach fehlgeschlagenem Oberflächenersatz scheint die Revision von MoM-Gleitpaarungen insgesamt eher risikoträchtig zu sein. Grammatopoulos et al. [95] berichten eine Komplikationsrate von 50% bei der Revision von OFE-Implantaten, bei denen der Wechseleingriff aufgrund eines Pseudotumors erfolgt war. Für die Revision fehlgeschlagener MoM-Großkopfprothesen geben Munro et al. [96] ebenfalls eine relativ hohe Komplikationsrate an, denn in ihrem Kollektiv machten ca. 30% postoperative Dislokationen und gut 10% gelockerte Revisionspfannen erneute Wiederholungseingriffe erforderlich. Auch beschreiben sie eine Rezidivrate lokaler Gewebedestruktion von 16%.

Während bei der Revision von OFE-Prothesen nach früher Schenkelhalsfraktur oder mechanisch bedingter Implantatlockerung tatsächlich mit relativ guten postoperativen Ergebnissen gerechnet werden kann, bergen ARMD-bedingte Wechseleingriffe ein größeres Risiko postoperativer Komplikationen. Auch nach unseren eigenen Erfahrungen betrifft dies v. a. die relativ große Gefahr postoperativer Instabilitäten. Deshalb sollte sorgfältig auf eine bestmögliche Pfannenpositionierung mit korrekter Anteversion, Rekonstruktion von Drehzentrum und ausreichendem Offset geachtet werden. Wenn immer möglich, empfiehlt sich außerdem die Nutzung von 36-mm-Köpfen, und in der postoperativen Nachsorge ist eine entsprechende Limitierung des Bewegungsumfangs sinnvoll.

Tipps und Tricks zur Komplikationsvermeidung

- Der Einsatz von MoM-Gleitpaarungen in der Hüftendoprothetik sollte generell einer kritischen und individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung unterzogen werden.
- Der Einsatz des Hüft-OFE sollte auf männliche Patienten im mittleren Lebensalter mit adäquater Knochenqualität, günstigem Schenkelhals-Kopf-Verhältnis und ausreichender Kopfgröße begrenzt sein.
- Es sollte eine optimale Platzierung von MoM-Gleitpaarungen hinsichtlich Pfanneninklination und -anteversion sowie Vermeidung von Impingement angestrebt werden.
- Bei der OFE-Revision sollte grundsätzlich, auch bei regelrechter Pfannenposition ohne Lockerung, ein kompletter Komponentenwechsel erfolgen.
- Verschiedene wissenschaftliche Gesellschaften haben ein „time out“ für schaftbasierte MoM-Großköpfe (≥ 36 mm) angeregt.
- Sämtliche MoM-Gleitpaarungen sind kontraindiziert bei eingeschränkter Nierenfunktion, Frauen im gebärfähigen Alter und bekannter Metallallergie.
- Hinsichtlich Nachkontrollen und Revisionskriterien für MoM-Gleitpaarungen sollten aktuelle nationale und länderübergreifende Empfehlungen beachtet werden.
- Grundsätzlich hat eine kritische Patientenaufklärung über potenzielle Risiken der Unverträglichkeit bei MoM-Gleitpaarungen zu erfolgen.

Fazit für die Praxis

- Es existieren lange und gute Erfahrungen mit Kleinkopf-MoM-Hüftendoprothesen, jedoch weisen Großkopf-MoM-Paarungen und der OFE erhebliche Komplikationsraten auf.
- Nationale und länderübergreifende Konsensusempfehlungen können dem evidenzbasierten Einsatz von MoM-Paarungen in der Primärendoprothetik dienen, die Nachsorge von Patienten vereinheitlichen und Ent-

scheidungshilfen für Art und Zeitpunkt der Revision geben.

- Für das langfristige Monitoring von Patienten mit Großkopf-MoM-Paarungen und Hüft-OFE ist eine erweiterte Infrastruktur, u. a. mit Verfügbarkeit systemischer Metallionenmessung und artefaktreduzierter Schnittbilddiagnostik, erforderlich.
- Beschwerden aufgrund von Implantatallergie sind möglich, aber selten. Ein Wechsel auf metallfreie Gleitpaarungskomponenten und ggf. ein niederallergenes Implantat sollten nur bei histologischem Nachweis periprotetischer Veränderungen, nachgewiesener Metallallergie und therapieresistenten Beschwerden durchgeführt werden.
- Die häufigste und wesentlichste Komplikation sind lokale ARMD. Zur genauen Risikoeinschätzung infolge systemischer Toxizität, Karzinogen- und Teratogenität bei MoM-Paarungen sind weitere Daten erforderlich.
- Bei der Revision von MoM-Gleitpaarungen infolge ARMD sollten „metallfreie“ Gleitpaarungen verwendet werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. K.-P. Günther

UniversitätsCentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, TU Dresden
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden
Annegret.Riemer@uniklinikum-dresden.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. K.-P. Günther, M. Stiehler, F. Zobel, F. Hannemann, J. Schmitt, J. Lützner, S. Kirschner, A. Hartmann weisen auf folgende Beziehungen hin: Forschungsarbeiten der Orthopädischen Universitätsklinik Dresden zu Metallgleitpaarungen wurden partiell mit finanzieller Unterstützung von Implantatherstellern (Zimmer Inc., Smith & Nephew, DePuy) sowie der Deutschen Arthro-Hilfe e. V. gefördert.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. Annual Report 2012. <https://aoanjrr.dmac.adelaide.edu.au/annual-reports-2012>. 2013
2. Eswaramoorthy V, Moonot P, Kalairajah Y et al (2008) The Metasul metal-on-metal articulation in primary total hip replacement: clinical and radiological results at ten years. *J Bone Joint Surg [Br]* 90(10):1278–1283
3. Grubl A, Marker M, Brodner W et al (2007) Long-term follow-up of metal-on-metal total hip replacement. *J Orthop Res* 25(7):841–848
4. Zenz P, Stiehl JB, Knechtel H et al (2009) Ten-year follow-up of the non-porous Allofit cementless acetabular component. *J Bone Joint Surg [Br]* 91(11):1443–1447
5. Baur W, Honle W, Willert HG, Schuh A (2005) Pathological findings in tissue surrounding revised metal/metal articulations. *Orthopäde* 34(3):225–233
6. Bosker BH, Ettema HB, Boomsma MF et al (2012) High incidence of pseudotumour formation after large-diameter metal-on-metal total hip replacement: a prospective cohort study. *J Bone Joint Surg [Br]* 94(6):755–761
7. Bolland BJ, Culliford DJ, Langton DJ et al (2011) High failure rates with a large-diameter hybrid metal-on-metal total hip replacement: clinical, radiological and retrieval analysis. *J Bone Joint Surg [Br]* 93(5):608–615
8. Langton DJ, Jameson SS, Joyce TJ et al (2010) Early failure of metal-on-metal bearings in hip resurfacing and large-diameter total hip replacement: a consequence of excess wear. *J Bone Joint Surg [Br]* 92(1):38–46
9. Meyer H, Mueller T, Goldau G et al (2012) Corrosion at the cone/taper interface leads to failure of large-diameter metal-on-metal total hip arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res* 470(11):3101–3108
10. Langton DJ, Sidaginamale R, Lord JK et al (2012) Taper junction failure in large-diameter metal-on-metal bearings. *Bone Joint Res* 1(4):56–63
11. Singh G, Meyer H, Ruetschi M et al (2013) Large-diameter metal-on-metal total hip arthroplasties: a page in orthopedic history? *J Biomed Mater Res A*. doi:10.1002/jbm.a.34619
12. Gunther KP, Lutzner J, Hannemann F et al (2013) Update on metal-on-metal hip joints. *Orthopäde* 42(5):373–390
13. Daniel J, Ziaee H, Kamali A et al (2010) Ten-year results of a double-heat-treated metal-on-metal hip resurfacing. *J Bone Joint Surg [Br]* 92(1):20–27
14. Treacy RB, McBryde CW, Shears E, Pynsent PB (2011) Birmingham hip resurfacing: a minimum follow-up of ten years. *J Bone Joint Surg [Br]* 93(1):27–33
15. Hartmann A, Lutzner J, Kirschner S et al (2012) Do survival rate and serum ion concentrations 10 years after metal-on-metal hip resurfacing provide evidence for continued use? *Clin Orthop Relat Res* 470(11):3118–3126
16. National Joint Registry for England and Wales. 9th annual report 2012. The NRJ Centre, Hemel Hempstead. <http://www.njrcentre.org.uk>. 2012
17. Langton DJ, Sprowson AP, Joyce TJ et al (2009) Blood metal ion concentrations after hip resurfacing arthroplasty: a comparative study of articular surface replacement and Birmingham hip resurfacing arthroplasties. *J Bone Joint Surg [Br]* 91(10):1287–1295
18. Griffin WL, Nanson CJ, Springer BD et al (2010) Reduced articular surface of one-piece cups: a cause of runaway wear and early failure. *Clin Orthop Relat Res* 468(9):2328–2332
19. Pandit H, Glyn-Jones S, McLardy-Smith P et al (2008) Pseudotumours associated with metal-on-metal hip resurfacings. *J Bone Joint Surg [Br]* 90(7):847–851
20. Kwon YM, Ostlere SJ, McLardy-Smith P et al (2011) „Asymptomatic“ pseudotumours after metal-on-metal hip resurfacing arthroplasty: prevalence and metal ion study. *J Arthroplasty* 26(4):511–518
21. Matthies AK, Skinner JA, Osmani H et al (2012) Pseudotumours are common in well-positioned low-wearing metal-on-metal hips. *Clin Orthop Relat Res* 470(7):1895–1906
22. Williams DH, Greidanus NV, Masri BA et al (2011) Prevalence of pseudotumor in asymptomatic patients after metal-on-metal hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg [Am]* 93(23):2164–2171
23. Hart AJ, Satchithananda K, Liddle AD et al (2012) Pseudotumours in association with well-functioning metal-on-metal hip prostheses: a case-control study using three-dimensional computed tomography and magnetic resonance imaging. *J Bone Joint Surg [Am]* 94(4):317–325
24. o A (2011) A survey on the prevalence of pseudotumours with metal-on-metal hip resurfacing in Canadian academic centers. *J Bone Joint Surg [Am]* 93(Suppl 2):118–121
25. Cadosch D, Chan E, Gautschi OP, Filgueira L (2009) Metal is not inert: role of metal ions released by biocorrosion in aseptic loosening – current concepts. *J Biomed Mater Res A* 91(4):1252–1262
26. Hallab NJ, Jacobs JJ (2009) Biologic effects of implant debris. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 67(2):182–188
27. Brown C, Williams S, Tipper JL et al (2007) Characterisation of wear particles produced by metal on metal and ceramic on metal hip prostheses under standard and microseparation simulation. *J Mater Sci Mater Med* 18(5):819–827
28. Rieker CB, Schon R, Kottig P (2004) Development and validation of a second-generation metal-on-metal bearing: laboratory studies and analysis of retrievals. *J Arthroplasty* 19(8 Suppl 3):5–11
29. Schafer T, Bohler E, Ruhdorfer S et al (2001) Epidemiology of contact allergy in adults. *Allergy* 56(12):1192–1196
30. Schoberl A, Summer B, Jakob K et al (2004) Perimplantar cobalt-specific DTH reaction in a patch test negative patient with failure of hip arthroplasty. *J Allergy Clin Immunol* 113:S250–S251
31. Thyssen JP, Linneberg A, Menne T, Johansen JD (2007) The epidemiology of contact allergy in the general population – prevalence and main findings. *Contact Dermat* 57(5):287–299
32. Hallab N, Merritt K, Jacobs JJ (2001) Metal sensitivity in patients with orthopaedic implants. *J Bone Joint Surg [Am]* 83-A(3):428–436
33. Willert HG, Buchhorn GH, Fayyazi A et al (2005) Metal-on-metal bearings and hypersensitivity in patients with artificial hip joints. A clinical and histomorphological study. *J Bone Joint Surg [Am]* 87(1):28–36
34. Schallock PC, Menne T, Johansen JD et al (2012) Hypersensitivity reactions to metallic implants – diagnostic algorithm and suggested patch test series for clinical use. *Contact Dermat* 66(1):4–19
35. Hallab NJ, Vermees C, Messina C et al (2002) Concentration- and composition-dependent effects of metal ions on human MG-63 osteoblasts. *J Biomed Mater Res* 60(3):420–433

36. Rau C, Thomas P, Thomsen M (2008) Metal sensitivity in patients with joint replacement arthroplasties before and after surgery. *Orthopäde* 37(2): 102–110
37. Gawkrödger DJ (1993) Nickel sensitivity and the implantation of orthopaedic prostheses. *Contact Dermat* 28(5):257–259
38. Foussereau J, Laugier P (1966) Allergic eczemas from metallic foreign bodies. *Trans St Johns Hosp Dermatol Soc* 52(2):220–225
39. Tilsley DA, Rotstein H (1980) Sensitivity caused by internal exposure to nickel, chrome and cobalt. *Contact Dermat* 6(3):175–178
40. Thomas P, Braathen LR, Dorig M et al (2009) Increased metal allergy in patients with failed metal-on-metal hip arthroplasty and peri-implant T-lymphocytic inflammation. *Allergy* 64(8):1157–1165
41. Thomas P, Schuh A, Ring J, Thomsen M (2008) Orthopedic surgical implants and allergies: joint statement by the Implant Allergy Working Group (AK 20) of the DGOOC (German Association of Orthopedics and Orthopedic Surgery), DKG (German Contact Dermatitis Research Group) and DGAKI (German Society for Allergy and Clinical Immunology). *Orthopäde* 37(1):75–88
42. Natsu S, Sidaginamale RP, Gandhi J et al (2012) Adverse reactions to metal debris: histopathological features of periprosthetic soft tissue reactions seen in association with failed metal on metal hip arthroplasties. *J Clin Pathol* 65(5):409–418
43. Korovessis P, Petsinis G, Repanti M, Repantis T (2006) Metallosis after contemporary metal-on-metal total hip arthroplasty. Five to nine-year follow-up. *J Bone Joint Surg [Am]* 88(6):1183–1191
44. Wiley KF, Ding K, Stoner JA et al (2013) Incidence of pseudotumor and acute lymphocytic vasculitis associated lesion (ALVAL) reactions in metal-on-metal hip articulations: a meta-analysis. *J Arthroplasty*. doi:10.1016/j.arth.2013.03.027
45. Kusaka Y, Yokoyama K, Sera Y et al (1986) Respiratory diseases in hard metal workers: an occupational hygiene study in a factory. *Br J Ind Med* 43(7):474–485
46. Swennen B, Buchet JP, Stanescu D et al (1993) Epidemiological survey of workers exposed to cobalt oxides, cobalt salts, and cobalt metal. *Br J Ind Med* 50(9):835–842
47. Gennart JP, Lauwerys R (1990) Ventilatory function of workers exposed to cobalt and diamond containing dust. *Int Arch Occup Environ Health* 62(4):333–336
48. Nemery B, Casier P, Roosels D et al (1992) Survey of cobalt exposure and respiratory health in diamond polishers. *Am Rev Respir Dis* 145(3):610–616
49. Meecham HM, Humphrey P (1991) Industrial exposure to cobalt causing optic atrophy and nerve deafness: a case report. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 54(4):374–375
50. Pascale LR, Waldstein SS, Engbring G et al (1952) Chromium intoxication, with special reference to hepatic injury. *J Am Med Assoc* 149(15):1385–1389
51. Kumar S, Sathwara NG, Gautam AK et al (2005) Semen quality of industrial workers occupationally exposed to chromium. *J Occup Health* 47(5):424–430
52. Li H, Chen Q, Li S et al (2001) Effect of Cr(VI) exposure on sperm quality: human and animal studies. *Ann Occup Hyg* 45(7):505–511
53. Dooms-Goossens A, Ceuterick A, Vanmaele N, De Greef H (1980) Follow-up study of patients with contact dermatitis caused by chromates, nickel, and cobalt. *Dermatologica* 160(4):249–260
54. Shirakawa T, Kusaka Y, Fujimura N et al (1989) Occupational asthma from cobalt sensitivity in workers exposed to hard metal dust. *Chest* 95(1):29–37
55. Moller DR, Brooks SM, Bernstein DI et al (1986) Delayed anaphylactoid reaction in a worker exposed to chromium. *J Allergy Clin Immunol* 77(3):451–456
56. Bencko V (1983) Nickel: a review of its occupational and environmental toxicology. *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol* 27(2):237–247
57. Rystedt I, Fischer T (1983) Relationship between nickel and cobalt sensitization in hard metal workers. *Contact Dermat* 9(3):195–200
58. Horowitz SF, Fischbein A, Matza D et al (1988) Evaluation of right and left ventricular function in hard metal workers. *Br J Ind Med* 45(11):742–746
59. Barborik M, Dusek J (1972) Cardiomyopathy accompanying industrial cobalt exposure. *Br Heart J* 34(1):113–116
60. Jarvis JQ, Hammond E, Meier R, Robinson C (1992) Cobalt cardiomyopathy. A report of two cases from mineral assay laboratories and a review of the literature. *J Occup Med* 34(6):620–626
61. Moulin JJ, Wild P, Haguenoer JM et al (1993) A mortality study among mild steel and stainless steel welders. *Br J Ind Med* 50(3):234–243
62. Rosenman KD, Stanbury M (1996) Risk of lung cancer among former chromium smelter workers. *Am J Ind Med* 29(5):491–500
63. Verschoor MA, Bragt PC, Herber RF et al (1988) Renal function of chrome-plating workers and welders. *Int Arch Occup Environ Health* 60(1): 67–70
64. Littorin M, Welinder H, Hultberg B (1984) Kidney function in stainless steel welders. *Int Arch Occup Environ Health* 53(3):279–282
65. Hur CI, Yoon TR, Cho SG et al (2008) Serum ion level after metal-on-metal THA in patients with renal failure. *Clin Orthop Relat Res* 466(3):696–699
66. Zywiell MG, Brandt JM, Overgaard CB et al (2013) Fatal cardiomyopathy after revision total hip replacement for fracture of a ceramic liner. *Bone Joint J* 95-B(1):31–37
67. Rizzetti MC, Liberini P, Zarattini G et al (2009) Loss of sight and sound. Could it be the hip? *Lancet* 373(9668):1052
68. Daniel J, Ziaee H, Pradhan C et al (2010) Renal clearance of cobalt in relation to the use of metal-on-metal bearings in hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg [Am]* 92(4):840–845
69. Marker M, Grubl A, Riedl O et al (2008) Metal-on-metal hip implants: do they impair renal function in the long-term? A 10-year follow-up study. *Arch Orthop Trauma Surg* 128(9):915–919
70. Yang J, Shen B, Zhou Z et al (2011) Changes in cobalt and chromium levels after metal-on-metal hip resurfacing in young, active Chinese patients. *J Arthroplasty* 26(1):65–70
71. Corradi M, Daniel J, Ziaee H et al (2011) Early markers of nephrotoxicity in patients with metal-on-metal hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 469(6):1651–1659
72. Hannemann F, Hartmann A, Schmitt J et al (2013) European multidisciplinary consensus statement on the use and monitoring of metal-on-metal bearings for total hip replacement and hip resurfacing. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(3):263–271
73. Prentice JR, Clark MJ, Hoggard N et al (2013) Metal-on-metal hip prostheses and systemic health: a cross-sectional association study 8 years after implantation. *PLoS One* 8(6):e66186
74. Goldbohm RA, Tielemans EL, Heederik D et al (2006) Risk estimation for carcinogens based on epidemiological data: a structured approach, illustrated by an example on chromium. *Regul Toxicol Pharmacol* 44(3):294–310
75. Steenland K, Loomis D, Shy C, Simonsen N (1996) Review of occupational lung carcinogens. *Am J Ind Med* 29(5):474–490
76. Parry MC, Bhabra G, Sood A et al (2010) Thresholds for indirect DNA damage across cellular barriers for orthopaedic biomaterials. *Biomaterials* 31(16):4477–4483
77. Dunstan E, Ladon D, Whittingham-Jones P et al (2008) Chromosomal aberrations in the peripheral blood of patients with metal-on-metal hip bearings. *J Bone Joint Surg [Am]* 90(3):517–522
78. Ladon D, Dherty A, Newson P et al (2004) Changes in metal levels and chromosome aberrations in the peripheral blood of patients after metal-on-metal hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 19(8 Suppl 3):78–83
79. Makela KT, Visuri T, Pulkkinen P et al (2012) Risk of cancer with metal-on-metal hip replacements: population based study. *BMJ* 345:e4646
80. Visuri T, Borg H, Pulkkinen P et al (2010) A retrospective comparative study of mortality and causes of death among patients with metal-on-metal and metal-on-polyethylene total hip prostheses in primary osteoarthritis after a long-term follow-up. *BMC Musculoskelet Disord* 11:78
81. Visuri T, Pukkala E, Pulkkinen P, Paavolainen P (2003) Decreased cancer risk in patients who have been operated on with total hip and knee arthroplasty for primary osteoarthritis: a meta-analysis of 6 Nordic cohorts with 73,000 patients. *Acta Orthop Scand* 74(3):351–360
82. Wagner P, Olsson H, Lidgren L et al (2011) Increased cancer risks among arthroplasty patients: 30 year follow-up of the Swedish Knee Arthroplasty Register. *Eur J Cancer* 47(7):1061–1071
83. Brodner W, Grohs JG, Bancher-Todesca D et al (2004) Does the placenta inhibit the passage of chromium and cobalt after metal-on-metal total hip arthroplasty? *J Arthroplasty* 19(8 Suppl 3): 102–106
84. Ziaee H, Daniel J, Datta AK et al (2007) Transplacental transfer of cobalt and chromium in patients with metal-on-metal hip arthroplasty: a controlled study. *J Bone Joint Surg [Br]* 89(3):301–305
85. Fritzsche J, Borisch C, Schaefer C (2012) Case report: high chromium and cobalt levels in a pregnant patient with bilateral metal-on-metal hip arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res* 470(8):2325–2331
86. Van Der Straeten C, Grammatopoulos G, Gill HS et al (2013) The 2012 Otto Aufranc Award: the interpretation of metal ion levels in unilateral and bilateral hip resurfacing. *Clin Orthop Relat Res* 471(2):377–385
87. Thomas P, Schuh A, Ring J, Thomsen M (2008) Orthopedic surgical implants and allergies: joint statement by the Implant Allergy Working Group (AK 20) of the DGOOC (German Association of Orthopedics and Orthopedic Surgery), DKG (German Contact Dermatitis Research Group) and DGAKI (German Society for Allergy and Clinical Immunology). *Orthopäde* 37(1):75–88
88. Bosker BH, Ettema HB, Boomsma MF et al (2012) High incidence of pseudotumour formation after large-diameter metal-on-metal total hip replacement: a prospective cohort study. *J Bone Joint Surg [Br]* 94(6):755–761

89. Anderson H, Toms AP, Cahir JG et al (2011) Grading the severity of soft tissue changes associated with metal-on-metal hip replacements: reliability of an MR grading system. *Skeletal Radiol* 40(3):303–307
90. Hart AJ, Sabah SA, Bandi AS et al (2011) Sensitivity and specificity of blood cobalt and chromium metal ions for predicting failure of metal-on-metal hip replacement. *J Bone Joint Surg [Br]* 93(10):1308–1313
91. Tower SS (2010) Arthroprosthetic cobaltism: neurological and cardiac manifestations in two patients with metal-on-metal arthroplasty: a case report. *J Bone Joint Surg [Am]* 92(17):2847–2851
92. Ball ST, Pinsorsnak P, Amstutz HC, Schmalzried TP (2007) Extended travel after hip arthroplasty surgery. Is it safe? *J Arthroplasty* 22(6 Suppl 2):29–32
93. Freeman MA, Bradley GW (1983) ICLH surface replacement of the hip. An analysis of the first 10 years. *J Bone Joint Surg [Br]* 65(4):405–411
94. Gunther KP, Witzleb WC, Stiehler M, Kirschner S (2008) Revision surgery of hip resurfacing. *Orthopäde* 37(7):685–694
95. Grammatopolous G, Pandit H, Kwon YM et al (2009) Hip resurfacings revised for inflammatory pseudotumour have a poor outcome. *J Bone Joint Surg [Br]* 91(8):1019–1024
96. Munro JT, Masri BA, Duncan CP, Garbuz DS (2013) High complication rate after revision of large-head metal-on-metal total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. doi:10.1007/s11999-013-2979-6

Orthopäde 2013 · 43:79–91
DOI 10.1007/s00132-013-2252-4
Online publiziert: 12. Januar 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

T.M. Parsons¹ · K. Satchithananda² · R. Berber¹ · I.A. Siddiqui¹ · E. Robinson¹ · A.J. Hart¹

¹ Institute of Orthopaedic and Musculoskeletal Science, Royal National Orthopaedic Hospital, University College London, Stanmore

² Department of Radiology, Charing Cross Hospital, Imperial College Healthcare NHS Trust, Imperial College London

Erratum zu: Magnetresonanztomographische Untersuchungen bei Problemen mit Metall-auf-Metall-Implantaten

In der HTML-Version des oben genannten Beitrags wurden leider T.M. Parsons, K. Satchithananda, R. Berber, I.A. Siddiqui und E. Robinson nicht als Koautoren genannt. Wir bitten darum, T.M. Parsons, K. Satchithananda, R. Berber, I.A. Siddiqui und E. Robinson als Koautoren zu zitieren und den Fehler zu entschuldigen.

Die Redaktion

Korrespondenzadresse

A.J. Hart

Institute of Orthopaedic and Musculoskeletal Science, Royal National Orthopaedic Hospital, University College London
Brockley Hill, HA7 4LP Stanmore
Middlesex, UK
a.hart@ucl.ac.uk

Die Online-Version des Originalartikels können Sie unter <http://dx.doi.org/10.1007/s00132-012-2036-2> finden.