

Update Endoprothetik des Handgelenkes

Wrist Arthroplasty in Rheumatoid Arthritis: An Update

Autor

I. Arnold, T. Guttke

Institut

Rotes Kreuz Krankenhaus, Klinik für Orthopädie und operative Rheumatologie, Bremen, Deutschland

Schlüsselwörter

- Handgelenkendoprothese
- carpaler Implantatlockerungen
- Handgelenkarthrodese
- toroidale Ringkerndesign
- Wrightington-Klassifikation

Key words

- wrist arthroplasty
- carpal loosening
- wrist fusion
- toroidale design
- Wrightington classification

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1383588>
Akt Rheumatol 2015;
40: 40–44 © Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0341-051X

Korrespondenzadresse

Dr. Ingo Arnold
Rotes Kreuz Krankenhaus
Klinik für Orthopädie und
operative Rheumatologie
St.-Pauli-Deich 24
28199 Bremen
Deutschland
Tel.: +49/421/5599 501
Fax: +49/421/5599 508
Arnold.I@
roteskreuzkrankenhaus.de

Zusammenfassung

Die Auseinandersetzung mit der Handgelenkendoprothetik bleibt weiterhin schwierig, weil die komplexe Bewegungsdynamik mit einer Endoprothese nicht kopiert werden kann. Dennoch stellt der Eingriff sich als sehr verlässlich schmerzreduzierend dar. Die Zufriedenheit der RA Patienten ist hoch, wenngleich der Bewegungs- und Kraftzugewinn nur moderat ausfällt. Neuere Arbeiten zeigen günstigere Standzeiten der optimierten Prothesensysteme bei allerdings weiterhin kleinen Fallzahlen und kurzen Nachuntersuchungszeiträumen.

Eine intakte Funktionsfähigkeit der oberen Extremität und insbesondere des Handgelenkes ist für den Erhalt der Eigenständigkeit und Selbsthilfefähigkeit bei insbesondere schwerst mutilierenden Verläufen einer rheumatischen Grunderkrankung immanent wichtig. Auch den ästhetischen Aspekt der Hand als wesentlichen Teil unserer Ausdrucksfähigkeit gilt es dabei zu beachten. Nahezu 2/3 aller Verläufe von rheumatoider Arthritis weisen eine Mitbeteiligung des Handgelenkes auf mit zum Teil erheblichen Funktionseinbußen. Bei fehlenden Kompensationsmöglichkeiten durch die Nachbargelenke bedürfen diese häufig einer operativen Intervention. Der Verlust der carpalen Höhe und die Translation des Carpus sowie die damit verbundene muskulo-ligamentäre Imbalance toleriert der Rheumatiker durch die an den eher schleichenden Prozess angepasste Funktionsreduktion oftmals in erstaunlicher Weise. Lange Zeit waren die operativen Möglichkeiten auf Teil- und Vollarthrodese sowie Resektions- und Interpositionsarthroplastiken beschränkt. Dabei zeigen insbesondere Arthrodese mit Rekonstruktion der carpalen Höhe gute Ergebnisse in Form einer erheblichen Schmerzreduktion und verbesserten Kraftentwicklung. Wenn auch weiterhin als Goldstandard

Abstract

The discussion about wrist arthroplasties remains a controversial because the complex movement dynamics of the wrist cannot be reproduced by a prosthesis. Even so the operation has proved to be a very reliable method to reduce pain. The satisfaction level of rheumatoid arthritis patients is high although the gains in freedom of movement and strength may be only moderate. Recent reports demonstrate more favourable life-times for the optimised prosthetic systems, albeit still with only small case numbers and short follow-up times.

betrachtet ist der Verlust der Beweglichkeit für die Patienten vor allem im Bereich der Feinmotorik und der täglichen Hygiene hierbei jedoch nicht zu unterschätzen [1]. Insbesondere bei der Versorgung bilateral betroffener Patienten ist daher eine bewegliche Lösung wünschenswert. Dabei erweist sich eine komplette Beweglichkeit nicht als notwendig. Die „funktionale range of motion“, also die Beweglichkeit mit der nahezu alle Alltagsaktivitäten erfolgreich verrichtet werden können wurde von Brumfield et al. [2] mit Extension/Flexion 10–0–35° ermittelt. Diese Werte wurden von anderen Arbeitsgruppen in ähnlichem Ausmaß bestätigt [3]. Die Einsicht um die Notwendigkeit beweglicher Lösungsansätze führte daher bereits frühzeitig zur Entwicklung endoprothetischer Implantate im Bereich des Handgelenkes. Der erste in großer Zahl implantierte Gelenkersatz aus Silicon wurde von Swanson vorgestellt und bereits Ende der 60er Jahre verwendet [4]. Nach anfänglich verheißungsvollen Ergebnissen wurde dieser Weg aufgrund zunehmender Revisionsraten aus Gründen materialbedingter Abriebsynovialitiden und Werkstoffermüdungen verlassen. Neue Konzepte wurden im Verlauf verwirklicht. Dabei änderten sich nicht nur die verwendeten Materialien hin zu



Abb. 1 Meuliprothese mit radialer Lockerung, konsolidierte Arthrodesese der Gegenseite.

metallischen Implantaten sondern auch biomechanische Grundlagen fanden in Form von Kugelgelenkprothesen und biaxialen Prothesendesigns Einzug in den klinischen Alltag. Die Prothesen von Meuli [5] und Volz [6] wurden in den 1970er Jahren entwickelt und zeichnen sich durch eine distale Zapfenverankerung in den Metacarpalia aus (◉ **Abb. 1**). In Kombination mit einer straffen Führung der Gelenkpartner zueinander führten die sich entwickelnden Kräfte jedoch zu frühzeitigen Auslockerungen der distalen Prothesenkomponente mit Metacarpalefrakturen und Gelenkinstabilitäten. Trotz Verbesserungen im Prothesendesign und dem Wechsel auf unzementierte Verankerungstechniken konnten auch diese Modelle nicht überzeugen. Es gelang diesen Prothesentypen nicht den anatomischen Gelenkdrehpunkt zu rekonstruieren. Die Gelenkkopplung reduzierte die Bewegungsachsen auf 2 Ebenen und konnte damit nicht das natürliche Übergewicht der radialseitigen Handgelenkstrecker und -beuger ausbalancieren.

Aktuelle Prothesenmodelle der „3. Generation“

Als Prothese der sogenannten 3. Generation fand insbesondere die von Cooney und Beckenbaugh aus der Mayo Klinik entwickelte BIAX Prothese Verwendung [7]. Neben der „Maestro“ (Biomet) Prothese finden heute insbesondere in Form der „Universal (II)“ (KMI/Integra) und der „Re-Motion“ (SBI(Small Bone Innovations)) Prothesen vielversprechende Implantate zunehmend Anwendung.

BIAX-Handgelenkendoprothese (DePuy Othopedics Inc, Leeds, UK)

Takelage et al. [8] konnten nach Implantation einer BIAX Prothese bei 66 RA Patienten eine kumulative Überlebensrate von 83% nach 8 Jahren für den Revisionseingriff nachweisen. Für radiolo-

gische Lockerungszeichen lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei 78%, für das Auswandern der distalen Komponente als „Terminal Event“ bei 82%. Nach einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeit von 52 Monaten erreichten im HSS Score 74% der Patienten befriedigende bis exzellente Ergebnisse, über 50% der auf der kontralateralen Seite fusionierten Patienten würden retrospektiv eine endoprothetische Lösung bevorzugen. Signifikant erhöhte Lockerungsraten fanden sich bei in Extension eingebrachter distaler Komponente. Kretschmer [9] berichtete von 11 entfernten BIAX-Prothesen nach durchschnittlich 2 Jahren (26%) bei 42 Primärimplantationen. Bei 39 dieser Patienten bestand die OP Indikation aufgrund einer degenerativen bzw. posttraumatischen Arthrose. Ein nicht unerheblicher Teil der Patienten zeigte sich dabei mit dem postoperativen Ergebnis nicht zufrieden, die Komplikationsrate lag insgesamt bei 45%. Die Autoren machten dafür zum einen operationstechnische Ursachen verantwortlich (z.B. Belassen des distalen Ulnakopfes) zum anderen prothesenbedingte Ursachen (flache Polyethylenpfanne mit Inkongruenz des Gelenkkopfes, Abrieb der dorsalen Polyethylenkante der Gelenkpfanne mit sekundärer Luxationsneigung und Abriebsynovialitis). 2011 berichtete van Harlingen [10] von 32 nachuntersuchten BIAX Prothesen im Verlauf nach 6 Jahren. Trotz hoher Komplikationsraten (31 Komplikationen bei 21 Patienten) war die Patientenzufriedenheit bei 27 von 32 Patienten überraschend hoch, nicht zuletzt war dies einer deutlichen Schmerzreduktion sowie einer funktionell guten Beweglichkeit von im Mittel 29° Flexion und 28° Dorsalextension geschuldet. 22 Prothesen wiesen zum Nachuntersuchungszeitpunkt radiologische Lockerungszeichen auf. Daten aus dem norwegischen Prothesenregister [11] zeigten für die BIAX Prothese eine 5 Jahres Überlebensrate von 85% welche sich mit den oben genannten Daten von Takelage [8] und auch den Arbeiten von Cobb und Beckenbaugh [7] decken. Die notwendige knöcherne Resektion zur Implantation der BIAX Prothese („resektional design“) war jedoch im Vergleich zu moderneren Prothesenentwicklungen („resurfacing design“) erheblich, Komplikationen bestanden primär aufgrund von erhöhten carpalen Lockerungsraten mit Implantatwanderung und Malalignment. Ursächlich hierfür waren die fehlende Schraubenfixation der carpalen Komponente und eine allein waagrecht ausgerichtete distale Resektion des Radius mit auch ästhetisch beeinträchtigender Radialisierung des Carpus. Die physiologische Neigung des Radius gegenüber der Handwurzel von gut 30° fand im Prothesendesign keine Berücksichtigung. Trotz Veränderungen dieses Designs mit Verkürzung des Metacarpale 3 Zapfens und Versuchen der zementierten Implantationstechnik wurde die BIAX Prothese 2004 vom Markt genommen.

Maestro (Biomet, Warsaw, IN) Handgelenkendoprothese

22 Maestro Handgelenkendoprothesen wurden von von Nydick 2012 in einer Arbeit mit einem Follow-up von im Mittel 28 Monaten (4–55 Monate) nachuntersucht. Im Kollektiv fanden sich 5 RA Patienten, die Übrigen wiesen nicht entzündliche Veränderungen des Handgelenkes auf. Die operativ versorgten Handgelenke erreichten im Schnitt 60% der Greifkraft der Gegenseite, die Schmerzreduktion war postoperativ signifikant reduziert (VAS 8 prä OP vs. 2 post OP). Radiologische Lockerungszeichen fanden sich in keinem der nachuntersuchten Handgelenke. Die Autoren berichten von 30% Komplikationen, mit Kontrakturen

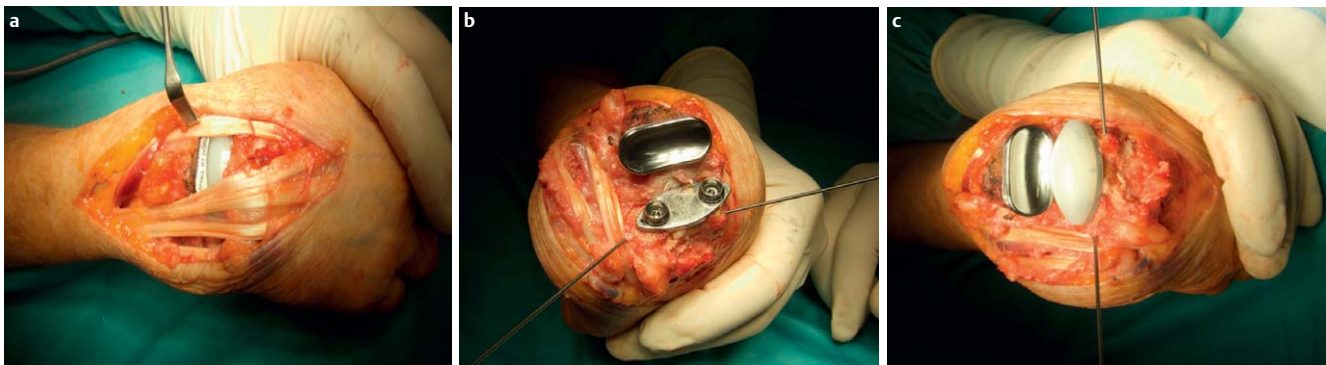


Abb. 2 OP Situs Universal II Prothese **a** radiale u. karpale Komponente, **b** Kopplung mit PE Matching, **c** nach Reposition.

in 4 Fällen, einem tiefen Protheseninfekt, einer Instabilität und einer rezidivierenden Synovialitis. 5 dieser Patienten wurden einer Revision zugeführt.

Universal I und Universal II Handgelenkprothese (KMI/Integra)

Die von Menon entwickelte Universal Prothese sollte durch eine doppelte Titanschraubenfixation im Carpus ohne Krafteinleitung in die Metacarpalia die Lockerungsraten der distalen Gelenkkomponente senken, auch entsprach die radiale Komponente jetzt dem physiologischen radio-lunärem Gelenkflächenverlauf. In seiner Arbeit von 1998 verzeichnete er keine radiologischen Anzeichen einer Lockerung in einem Nachuntersuchungszeitraum von über 6 Jahren. Trotz einer deutlicher Schmerzreduktion und eines funktionellen Bewegungsumfanges musste er 5 Prothesendislokationen bei 37 Implantationen (18,5%) beobachten [12]. Ähnliche Dislokationsraten (14%) lieferte die Arbeit von Divellbiss 2002 [13] bei insgesamt ähnlich guten Effekten auf Bewegungserhalt und Schmerzarmut. Van Winterswijk [14] beobachtete eine Prothesendislokation in seinem RA Patientengut bei 15 Implantationen. Radiologische Lysezeichen verzeichnete er nach 48 Monaten nicht. Ward [15] beschreibt ein Implantatüberleben von 75% respektive 60% nach 5 und 7 Jahren in einer prospektiven Arbeit nach Implantation von 19 Universal Prothesen bei RA Patienten und einem Nachuntersuchungszeitraum von im Mittel 7,3 Jahren. Die Autoren berichten hingegen von 50% Revisionsraten im Beobachtungszeitraum vorwiegend aufgrund von carpaler Komponentenlockerung.

Im eigenen Patientengut konnten wir 9 Universal I Prothesen nach durchschnittlich 33 Monaten nachuntersuchen. Alle Implantate waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung stabil und knöchern integriert. Der VAS war von 7 auf 2, der DASH Score von 58 auf 31 verbessert. Die Beweglichkeit in der Sagittalebene für Extension und Flexion betrug gesamt 55°, in der Frontalebene für Radial- und Ulnarabduktion 25°. Eine Revision der Prothesenkomponenten war bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt nicht notwendig. Das ursprüngliche Prothesendesign von Menon wurde durch Grosland, Rogge und Adams [16] nach umfangreicher Implantatanalyse optimiert und als Universal II Prothese auf den Markt gebracht. Um die Prothesenstabilität zu erhöhen erfolgte eine Vergrößerung der radialen Komponente mit reduzierter radialer Inklination von 20 auf 14°. Darüber hinaus wurde der zwischengeschaltete Polyethylenkern von einem toroidalen Ringkerndesign hin zu einer mehr ellipsoiden Form hin verändert (► **Abb. 2**). Dieses modifizierte Prothesendesign wurde von Ferreres [17]

retrospektiv in 22 Fällen nach über 5 Jahren und prospektiv von Morapudi [18] in 19 Fällen nach 3 respektive 5 Jahren nachuntersucht. In beiden Arbeiten traten im Untersuchungszeitraum keine Prothesendislokationen auf. Marapudi berichtete über 3 Fälle von radiologischen Lockerungszeichen, 2 davon zeigten kleine Osteolysen ausschließlich im Bereich der Schraubenspitze des Metacarpale 2 ohne Progress. Bei einem Fall bestand eine symptomfreie distale Komponentenlockerung mit Reduktion des radiocarpalen Abstandes im Studienverlauf.

ReMotion (Small Bone Innovations, Morrisville, PA) Handgelenkprothese

Das Prinzip der Remotion Prothese ähnelt dem der Universal II Prothese mit einer doppelten distalen Schraubenfixation, titanbeschichteten Cr-Co Komponenten und einem ellipsoiden Polyethyleninsert welches jedoch eine 10° Relativbewegung zur carpalen Basisplatte zulässt. Dies erfolgt unter der Vorstellung einer zum einen reduzierten Scherkräfteeinleitung in die metallene Carpuskomponente, zum anderen zur Ermöglichung komplexer Flexions-Rotationsbewegungen (z.B. „Dart-Werfen“) [19]. Auf eine knöcherne Resektion im Bereich des Radius wird nahezu komplett verzichtet um den Bandapparat und seine propriozeptiven Elemente nicht zu diskriminieren. Eine Resektion des Ulnarköpfchens ist bei diesem Prothesentyp nicht erforderlich. Bidwai [20] veröffentlichte Frühergebnisse nach 1–5 Jahren postoperativ von 10 Implantaten mit guten Resultaten bzgl. Schmerz und Flexionsfähigkeit, bei jedoch einer Komplikationsrate an postoperativen Wund und Weichteilproblemen von 20%. Herzberg [21] publizierte 2011 Frühergebnisse nach durchschnittlich 32 postoperativen Monaten. 13 Prothesen wurden bei RA, 7 bei Non-RA Patienten implantiert. Dabei verbesserten sich die klinischen Scores um 41% in der RA Gruppe gegenüber 27% in der Non-RA Gruppe. Der Meuli Score ergab nur 1 schlechtes Ergebnis in der RA Gruppe mit 12 sehr guten und guten Ergebnissen. Auch hier unterlag die non-RA Gruppe mit nur knapp über 50% guten und sehr guten Resultaten. In der Literatur finden sich 2 Arbeiten mit vergleichsweise großen Fallzahlen. Boeckstyns [22] berichtete in einer Multicenterstudie von 52 von ursprünglich 60 Remotion Prothesen die nach durchschnittlich 6 Jahren nachuntersucht wurden. 5 Prothesen wurden aufgrund der frühzeitigen Notwendigkeit zur Revision exkludiert, bei 4 dieser Prothesen erfolgte die Revision aufgrund von Komponentenlockerungen, 1 Revision erfolgte aufgrund einer Gelenksteife in unphysiologischer Stellung. Bei 3 dieser 5 Patienten erfolgte die sekundäre Arthrodesis, in 2 Fällen erfolgte der Komponentenwechsel.

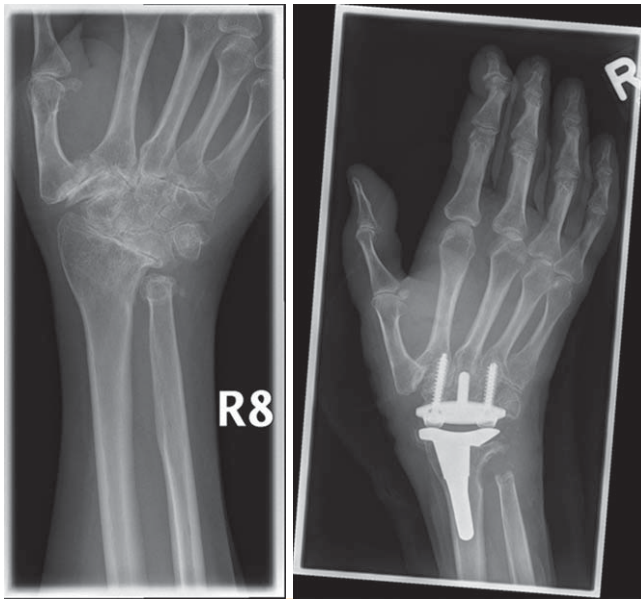


Abb. 3 Eigene Versorgung mit Universal II Prothese bei RA assoziierter fortgeschrittener Handgelenkdestruktion mit Os carpalis und bereits Aufbrauch der proximalen Handwurzelreihe, Knochenverlust der Ulna mit entsprechender Schrägstellung des Gelenkes rechte Hand, Typ Wrightington Stadium III.

Im verbliebenen Kollektiv zeigten sich signifikant verbesserte Werte des VAS und der Funktionsscores, wobei sich nur für die postoperative Beweglichkeit signifikante Unterschiede zwischen Rheumatikern und Nichtrheumatikern zeigten. Letztere profitierten dabei insbesondere bzgl. Flexion und Supination. 215 Remotion Prothesen konnten in Form einer prospektiven internationalen Multicenterstudie mit einem Follow-up von 4 Jahren nachuntersucht werden [23]. Es ist die erste und bis dato einzige Publikation mit entsprechend großen Fallzahlen. Interessant auch hier der Vergleich von 129 RA gegenüber 86 non-RA Handgelenken. Die Datenakquise erfolgte dabei anhand einer Web-basierten prospektiven Datenbank an 7 Zentren mit mindestens 15 eingebrachten Einzelfällen. Erfasst wurden prä und postoperative klinische und radiologische Befunde in regulären Zeitintervallen. Im Kollektiv kam es über den Beobachtungszeitraum nur zu einer Prothesendislokation (non-RA). 112 Handgelenke hatten zum Zeitpunkt der letztmaligen Untersuchung (Minimum 2, Maximum 8 Jahre) eine Standzeit von mindestens 2 Jahren. Deutliche Verbesserungen wurden in dieser Gruppe im VAS und QuickDASH-Score ermittelt, die Beweglichkeit zu präoperativ verbesserte sich hingegen nicht (-1% Beweglichkeit bei RA vs. -9% Beweglichkeit bei non-RA). Signifikante Verbesserungen bzgl. des Kraftzugewinnes fanden sich zu Gunsten der RA Gruppe mit 40% gegenüber 19% in der non RA Gruppe ($p=0,033$). Radiologische Zeichen der Implantatlockerung fanden sich bei 12% (RA) respektive 18% (non-RA). Komplikationsraten von 5% (RA) und 6% (non-RA) im Gesamtkollektiv die zu einer Implantatrevision führten zeigten zwischen den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Diskussion

Die Entwicklungen und Grundlagenforschungen [24] der letzten Jahrzehnte führen heute trotz und wegen mannigfaltiger Fehlschläge zu einem deutlich besseren Verständnis der komplexen

biomechanischen Verhältnisse im gesunden wie insbesondere im (RA) erkrankten Handgelenk. Zentrale Schwierigkeit bei der Entwicklung suffizienter Implantate besteht in der Notwendigkeit eines stabilen Gelenkes unter möglichst komplettem Erhalt der Bänder und Weichteile auf der einen Seite und der möglichst stressfreien Kraftübertragung auf die distalen Prothesenteile zur Reduktion carpaler Implantatlockerungen auf der anderen Seite. Letzteres ist jedoch nur durch eine möglichst geringe Komponentenkopplung möglich. Diesen Spagat zu meistern führte nach heutigem Wissensstand zu folgenden Überlegungen:

- ▶ konkav-konvexe ellipsoide Designkonzepte scheinen überlegen und den physiologische Prinzipien des Radiocarpalgelenkes zu entsprechen (allerdings ist hinsichtlich der Rekonstruktion der Gelenklinie weiterhin noch nicht abschließend beantwortet, wie distal die radiale Komponente einzubringen ist und wo genau das „Center of rotation“ zu liegen hat)
- ▶ -Sparsame Knochenresektionen unter Schonung der Bänder mit entsprechendem Erhalt der Propriozeption erhöhen die intrinsische Stabilität und schaffen im Revisionsfall eine bessere Ausgangslage für eine evtl. notwendige sekundäre Arthrodese. Dieser Umstand sollte immer mit bei der Indikationsstellung zur Handgelenkendoprothese bedacht sein, da eine Revision zur sekundären Arthrodese unter Rekonstruktion der carpalen Höhe kaum ohne Knocheninterponat auskommen wird. Der autologe Ersatz von Spongiosa aus dem Beckenkamm ist natürlich begrenzt, und ist häufig bei multiartikulär betroffenen RA Patienten bei vorangegangenen operativen Interventionen bereits verwendet worden
- ▶ Die Verankerung der distalen Prothesenkomponente sollte intercarpal erfolgen und die Metacarpalia nur an der Basis erreichen um lange Hebelarme zu minimieren
- ▶ Die intercarpale Fusion scheint die Implantatstabilität distal, unter der Vorstellung eines „solid block“-Prinzips, zu erhöhen (◉ **Abb. 3**)

Auch wenn bis auf die norwegische Veröffentlichung von Krughaug [6] über 189 erfasste Handgelenkendoprothesen bisher keine weiteren Registerdaten erfasst sind, lassen sich die Standzeiten und das funktionelle Ergebnis nicht mit denen der Hüft- oder Knieendoprothetik vergleichen. Andererseits stellt im Versagensfall – anders als bei den großen Gelenken – die Konversion zur Handgelenkarthrodese eine gute Option dar. Studien welche die primäre mit der sekundären Handgelenkfusion vergleichen existieren allerdings nicht.

Die Indikation sollte auf die stabilen postentzündlichen Destruktionsformen zunächst beschränkt bleiben entsprechend einem Handgelenkbefall Typ III nach der Wrightington-Klassifikation (Destruktionen der Interkarpalgelenke, des Radioscaphoidalgelenks oder die palmare Subluxation bei fehlenden oder nur gering ausgeprägten Radiusdestruktionen).

Bei jüngeren Patienten mit progredienten RA-Verläufen, sollte eher die Arthrodese bevorzugt werden, insbesondere auch wenn langfristig möglicherweise der Einsatz von Gehhilfen notwendig zu werden scheint [25]. Bei bilateralem postentzündlichem Handgelenkaufbrauch stellt allerdings die bewegliche operative Versorgungsoption in Kombination mit der Fusion der dominanten Hand eine gute rheumaorthopädische Option dar. Möglicherweise lassen sich die strengen Indikationen künftig erweitern, sollten die früh bis mittelfristigen Ergebnisse der neusten Generation von Handgelenkendoprothesen sich weiterhin bestätigen. Darüber hinaus unterstreichen aktuelle Kosten/Nutzen

Analysen in Bezug auf (QALYs) quality-adjusted-life-years den Wert einer beweglichen Lösung gegenüber der Handgelenkarthrodese [26].

Interessenkonflikt: Nein

Literatur

- 1 Murphy DM, Khoury JG, Imbriglia JE et al. Comparison of arthroplasty and arthrodesis for the rheumatoid wrist. *J Hand Surg Am* 2003; 28: 570–576
- 2 Brumfield RH, Champaux JA. A biomechanical study of normal functional wrist motion. *Clin Orthop Relat Res* 1984; 23–25
- 3 Thabe H, Schill S. Die rekonstruktive Versorgung des rheumatischen Handgelenks mit Handgelenksprothesen. *Modular Physiological Wrist Arthroplasty in Rheumatoid Arthritis. Akt Rheumatol* 2009; 34: 38–46
- 4 Swanson AB. Flexible implant arthroplasty for arthritic disabilities of the radiocarpal joint. A silicone rubber intramedullary stemmed flexible hinge implant for the wrist joint. *Orthop Clin North Am* 1973; 4: 383–394
- 5 Meuli HC. Reconstructive surgery of the wrist joint 1972; 4: 88–90
- 6 Volz RG. Total wrist arthroplasty: a new approach to wrist disability. *Clin Orthop Relat Res* 1977; 180–189
- 7 Cobb TK, Beckenbaugh RD. Biaxial total-wrist arthroplasty. *J Hand Surg Am* 1996; 21: 1011–1021
- 8 Takwale VJ, Nuttall D, Trail IA et al. Biaxial total wrist replacement in patients with rheumatoid arthritis. Clinical review, survivorship and radiological analysis. *Bone Joint Surg [Br]* 2002; 84-B: 692–699
- 9 Kretschmer F, Fansa H. Die Biax Handgelenkprothese: Management und Erfahrungen bei 42. Patienten. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2007; 238–248
- 10 van Harlingen D, Heesterbeek PJ, de Vos M. High rate of complications and radiographic loosening of the biaxial total wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis: 32 wrists followed for 6 (5–8) years. *Acta Orthop* 2011; 82: 721–726
- 11 Krukhaug Y, Lie SA, Havelin LI et al. Results of 189 wrist replacements. A report from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta Orthop* 2011; 82: 405–409
- 12 Menon J. Universal Total Wrist Implant: experience with a carpal component fixed with three screws. *J Arthroplasty* 1998; 13: 515–523
- 13 Divilbiss BJ, Sollerman C, Adams BD. Early results of the Universal total wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *J Hand Surg Am* 2002; 27: 195–204
- 14 van Winterswijk PJ, Bakx PA. Promising clinical results of the universal total wrist prosthesis in rheumatoid arthritis. *Open Orthop J* 2010; 4: 67–70
- 15 Ward CM, Kuhl T, Adams BD. Five to ten-year outcomes of the Universal total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 914–919
- 16 Grosland NM, Rogge RD, Adams BD. Influence of articular geometry on prosthetic wrist stability. *Clin Orthop Relat Res* 2004; 134–142
- 17 Ferreres A, Lluch A, Del Valle M. Universal total wrist arthroplasty: midterm follow-up study. *J Hand Surg Am* 2011; 36: 967–973
- 18 Morapudi SP, Marlow WJ, Withers D et al. Total wrist arthroplasty using the Universal 2 prosthesis. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2012; 20: 365–368
- 19 Gupta A. Total wrist arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2008; 37: (Suppl 1): 12–16
- 20 Bidwai AS, Cashin F, Richards A et al. Short to medium results using the remotion total wrist replacement for rheumatoid arthritis. *Hand Surg* 2013; 18: 175–178
- 21 Herzberg G. Prospective study of a new total wrist arthroplasty: short term results. *Chir Main* 2011; 30: 20–25
- 22 Boeckstyns ME, Herzberg G, Merser S. Favorable results after total wrist arthroplasty: 65 wrists in 60 patients followed for 5–9 years. *Acta Orthop* 2013; 84: 415–419
- 23 Herzberg G, Boeckstyns M, Sorensen AI et al. “Remotion” total wrist arthroplasty: preliminary results of a prospective international multicenter study of 215 cases. *J Wrist Surg* 2012; 1: 17–22
- 24 Bajuri MN, Abdul Kadir MR, Murali MR et al. Biomechanical analysis of the wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis: a finite element analysis. *Med Biol Eng Comput* 2013; 51: 175–186
- 25 Arnold I. Stellenwert der Handgelenkendoprothetik beim Rheumatiker. *Arthritis & Rheuma* 2009; 1–6
- 26 Cavaliere CM, Chung KC. A cost-utility analysis of nonsurgical management, total wrist arthroplasty, and total wrist arthrodesis in rheumatoid arthritis. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 379–391

Hinweis:

Dieser Artikel wurde gemäß des Erratums vom 10.3.2015 geändert.

Erratum:

Im Heft 1/2015 wurde im obengenannten Artikel nachträglich T. Guttke als Zweitautor aufgenommen und die Schreibweise der Institutsangabe korrigiert. Die korrekte Schreibweise lautet Rotes Kreuz Krankenhaus, Klinik für Orthopädie und operative Rheumatologie und nicht Rheumaorthopädie, rotes Kreuz Krankenhaus. Wir bitten dies zu entschuldigen.