

Die Zukunft der Schulterendoprothetik

Von Peter Habermeyer, Frank Martetschläger
und Mark Tauber

Keywords: Schulterendoprothetik, HemiCap-Prothese, inverse Prothese, Prothesenversagen, Pyrocarbon
Die Zukunft der Schulterendoprothetik liegt in der Weiterentwicklung bestehender Implantate, der Verbesserung und Vereinfachung der OP Planung, der Instrumente und der OP-Techniken sowie im Bereich biologischer Verfahren, neuer Werkstoffe und in mit 3D Druckern „personalisierten“ Spezialimplantaten.



Schaftprothesen für die Schulter gibt es seit 1951. Analog zur Hüftprothese wurden sie als Langschaftprothesen entwickelt. Die Schulter ist aber kein Hüftgelenk, verfügt über keinen „Schulterhals“ analog zum Schenkelhals und braucht keine diaphysäre Verankerung, weil sich das Drehzentrum mitten in der Metaphyse befindet.¹ Also führte der Weg in der Schulterendoprothetik in den letzten Jahren weg von der Schaftprothese hin zu schaftfreien Prothesen oder metaphysären Kurzschaften. Für die schaftfreien Kopfprothesen liegen nun bis zu 10 Jahre Erfahrung vor, ohne dass es zu anfangs befürchteten Prothesenlockerungen gekommen wäre (Abb. 1).² Langschaftprothesen sind nur noch zu empfehlen, wenn sie konvertierbar, also ohne Schaftwechsel in eine inverse Prothese umbaubar sind.

Cup-Prothesen

Die noch vor einigen Jahren als en vogue geltenden Cup-Prothesen haben heute als „onlay“ resurfacing Implantate ihre Bedeutung fast völlig verloren, weil sie meistens

overconstrained sind, den Pfanneneinbau erschweren und es unter der Kappe zu heftigem remodelling bis zur Osteolyse kommt. Darüberhinaus wird in der Literatur häufig eine Varusfehlstellung beschrieben (Abb. 2).

HemiCap-Prothesen

Im Gegensatz zu den Kappenprothesen – Onlay-Technik – handelt es sich beim Teilgelenkflächenersatz um eine Inlay-Technik,



Abb. 1: Schaftfreie Prothese Typ Eclipse (Fa. Arthrex)



Abb. 2: Cup Prothese der Fa. Tornier

da der Oberflächenersatz mit dem angrenzenden Knorpel bündig abschließt. Für den Indikationsbereich der zirkumskripten viertgradigen Chondralschäden bei sonst intakter Gelenkfläche, besonders des jüngeren Patienten, wurde der Teilgelenkflächenersatz in Form von sog. HemiCap-Prothesen als Alternative zur Cup-Prothese entwickelt. Die Besonderheit des Implantats liegt in den verschiedenen wählbaren Größen und Krümmungsradien, um die elliptische Form der Humeruskopfgeometrie in Inlaytechnik nachbilden zu können. Die Verankerung erfolgt zementfrei mittels Schraubensystem. Bei diesem auch rein arthroskopischen Teilgelenkflächenersatz kann über eine trans-humerale Zielbohrung in das Zentrum des Chondraldefektes die Pin-geführte Knochenlagerpräparation erfolgen und schließlich das Implantat eingebracht werden (Abb.3). Der große Vorteil dieser Methode liegt im Erhalt des M. subscapularis und der somit möglichen frühfunktionellen Rehabilitation.³

Inverse Prothesen

Mit der von Grammont 1985 entwickelten inversen Schultertotalprothese liegt uns ein nicht mehr ganz neues Implantat vor, das sich gegenwärtig in einem erheblichen Evolutionsprozess befindet. Der klassischen Grammont-Prothese werden das glenoidale Notching mit mechanisch ausgelöster und durch PE-wear induzierter Osteolyse angekreidet. Durch die starke Kaudalisierung des Humerus können nach Jahren Acromionermüdungsbrüche oder auch zunehmende Deltaschwäche auftreten. Das stark medialisierte Rotationszentrum schwächt die Außenrotation und birgt die Gefahr der Prothesenluxation. Letzteres gleicht man durch Lateralisation der Glenosphäre entweder durch Knocheninterposition (Bio-RSA) oder durch Verwendung von Glenosphären mit größerem Durchmesser aus.

Zur Vermeidung des glenoidalen Notchings hat sich ein steilerer Inklinationswinkel (135°) der humeralen Gelenkfläche bewährt, der den mechanischen Kontakt

mit dem Scapulahals vermeidet und gleichzeitig auch die Adduktion und die Rotation verbessert. In Zukunft werden die inversen Implantate eine modulare Anpassung des Inklinationswinkels – zwischen 135° und 155° – erlauben, damit man den verschiedenen Arthroseformen gerecht wird. Letztlich wird nicht mehr die Anatomie des Gelenkes der Prothese angepasst, sondern die Prothese der Pathologie der Schulter. Somit kann man den Grad der Kaudalisierung des Humerus und der Medialisierung der Glenosphäre patientengerecht einstellen.

Darüberhinaus sind im Schaftbereich metaphysär verankerte Kurzschaftprothesen in der klinischen Erprobung, genauso wie Veränderungen der Gleitpaarung mit epiphysärer Metallpfanne und PE- Glenosphären. Gegenwärtig vollzieht sich ein Trend hin zum frühen Einsatz der inversen Prothesen. Dieser Trend ist aufgrund der bisweilen hohen Komplikationsraten und der fraglichen Langlebigkeit der Prothese jedoch als kritisch anzusehen und die Indikation vor Implantation sollte streng gestellt werden.⁴ Zu empfehlen sind, wie eingangs bereits erwähnt, sogenannte Plattformsysteme, die bei Versagen der Rotatorenmanschette jederzeit konvertierbar sind.

Frakturprothesen

Eine besonders kritische Situation ergibt sich bei den Frakturprothesen, die im Falle einer ausbleibenden Einheilung der Tuberkula zwangsweise zum Funktionsausfall und damit zum Prothesenwechsel führen.⁵ Da die anatomischen Frakturprothesen aufgrund des eingetretenen Prothesenhochstandes nur technisch sehr schwierig unter Inkaufnahme von massiver Kaudalisierung umbaubar sind, liegt die künftige Richtung im umgekehrten Vorgehen. Indem man primär ein Implantat verwendet, auf das bei jungen Personen eine anatomische Kalotte aufgebaut wird und im Versagensfall auf invers konvertiert werden kann, begünstigt man die Gelenkmechanik, da es nicht zur Überspannung des Gelenks kommt.



Abb. 3: Partieller Oberflächenersatz Typ Partial Eclipse (Fa. Arthrex)

3D-Planung

Um die Präzision der Pfannenimplantation zu verbessern, kommen verbesserte Planungssoftware und 3D Animationen zur Anwendung nachdem die Navigation auf diesem Gebiet enttäuscht hatte. Durch 3D Rekonstruktion des Pfannenverbrauchs werden patientenspezifische Frässhablonen und Bohr- und Resektionshilfen präoperativ angefertigt, die eine präzise Pfannenbearbeitung erlauben. Es ist von der 3D Planung kein sehr weiter Schritt, bis in Zukunft mit Hilfe von 3D Druckern Patienten spezifische und pathologiekonforme Prothesen maßgeschneidert werden könnten.⁶

Prothesenversagen: Ursachen und Abhilfe

Die mit Abstand häufigste Ursache für Prothesenversagen liegt im Bereich der Glenoidkomponenten. Dabei unterscheiden sich zementierte von unzementierten Systemen. Beide Systeme weisen hohe Lockerungsraten auf, wobei bei den metal back-Systemen hohe Raten an Metallosen hinzukommen. Diese Systeme haben sich daher bislang nicht durchsetzen können. Polyethylen hat als Werkstoff per se das Problem des PE-Abriebs, was zwangsweise zur Osteolyse führt. Wo liegen die Lösungen für die Zukunft?

Biologische Verfahren wie die nach Matsen benannte Methode des „ream and →



Abb. 4: Konvertierbare Glenoidkomponente (Fa. Arthrex)



Abb. 5: Kurzschaftprothese Typ Ascend (Fa. Tornier), die auch mit einer Pyrocarbonkalotte erhältlich ist.

run" mit Wiederherstellung der Pfannenkonkavität durch konzentrische Abrasionsarthroplastik des Pfannenbodens können noch zusätzlich durch eine azelluläre dermale Matrix abgedeckt werden, welche Wachstumsfaktoren, Elastin und natives Kollagen als Gerüst enthält. Diese wird wiederum mit platelet rich plasma unterspritzt. Dieses „biologische resurfacing“, das immer mit einem „ream and run“ kombiniert werden sollte, ist in Erprobung. Bislang konnte sich diese Technik aufgrund hoher Versagensraten jedoch nicht durchsetzen.⁷

Um die Zementschäden zu vermeiden sind neue Konzepte der Verankerung auf dem Weg. Das sind völlig zementfreie PE-Pfannen mit einem zentralen aufgefächerten Peg, in den der Knochen einwachsen kann. Sogenannte „augmentierte“ PE-Pfannen können den exzentrischen dorsalen Glenoidverbrauch ausgleichen und korrigieren gleichzeitig die pathologische Retroversion der Pfanne. Der Glenoidverschleiß geht mit einer Pfannenabflachung einher, weswegen neue zementierte PE-Pfannensysteme einen größeren Pfannenradius aufweisen und damit auch der Pfannenboden weniger tief aufgereamt werden muß. Auch im Glenoidbereich ist die Konvertierbarkeit der Glenoidkomponenten ein grosses Thema. Dies ist jedoch nur mit zementfreien Metal Back-Pfannen möglich. Beim Pfannenträger aus Titan kann sowohl eine PE Komponente als auch eine Glenosphäre aufgebracht werden, weswegen bei fortgeschrittenem Pfannenschaden (Typ B2) oder bei kritischen Zustand der Rotatorenmanschette auf eine konvertierbare Pfanne zurückgegriffen werden sollte (Abb. 4).⁸

Für die Herstellung von hochvernetztem Polyethylen kann die Quervernetzung über radiochemische Prozesse (Gamma-Bestrahlung, Bestrahlung mittels Elektronenstrahl) und chemische Prozesse (Peroxid-Behandlung, Siliziumwasserstoff-Behandlung) erreicht werden. Der crosslinking-Effekt führt zu einer komplexen Änderung der molekularen Anordnung der Polymerketten. Dies führt, mechanisch gesehen, zu einer Zunahme der Abriebfestigkeit und zum anderen auch der Zugfestigkeit des PE. Jedoch führt

es auch zu einer Abnahme des kristallinen, soliden Teils des Kunststoffes und somit auch des E-moduls. Ein geringeres E-modul führt zu größeren Kontaktflächen, geringerem Kontaktstress und so potenziell weniger Abrieb. Ein Nachteil hoch quervernetzter Polyethylene aber ist, dass die entstehenden Partikel verglichen mit konventionellem PE vermehrt im Bereich von $<1\mu\text{m}$ liegen und somit schneller zu einer aseptischen Lockerung der Prothese führen können.

Letztlich ist auch hochvernetztes Polyethylen zu weich und abriebgefährdet, was zur Suche nach besserem Material auf der Kopfseite führt.

Literatur

1. Magosch P, Habermeyer P, Bachmeier S, Metcalfe N. *Bio-mechanische Grundlagen des metaphysär verankerten Humeruskopfersatzes. Obere Extremität.* 2012;7:11-16.
2. Habermeyer P, Lichtenberg S, Tauber M, Magosch P. *Midterm results of stemless shoulder arthroplasty: A prospective study.* *J Shoulder Elbow Surg.* 2015.
3. Matis N, Ortmaier R, Moroder P, Resch H, Auffarth A. *Posttraumatic arthrosis of the glenohumeral joint : From partial resurfacing to reverse shoulder arthroplasty.* *Unfallchirurg.* 2015;118:592-600.
4. Smithers CJ, Young AA, Walch G. *Reverse shoulder arthroplasty.* *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2011;4:183-190.
5. Tauber M, Magosch P, Habermeyer P. *Humeral head replacement in acute proximal humerus fractures.* *Unfallchirurg.* 2013;116:691-697.

Schon seit Jahren ist der Werkstoff Keramik als Material für die Kopfkalotten im Gebrauch, hat aber ein zu hartes Elastizitätsmodul. Ein ideales Kopfersatz-Material sollte dieselben elastischen Eigenschaften wie Knochen aufweisen und mechanischen Stress natürlich weiterleiten. Pyrocarbon hat ähnliche elastische Eigenschaften wie Knochen und eine Oberflächenmorphologie, die eine Osteointegration zulässt. Seit 2009 sind Pyrocarbon-Kopfkalotten in der klinischen Anwendung und werden als Kurzschafft Prothesen oder als schafftfreie Humerus Cup-Prothesen erprobt (Abb. 5).

Zugangstechnik

Eine letzte wichtige Weiterentwicklung gilt der Zugangstechnik. Da der klassische deltopektorale Zugang obligat zur Abtrennung und damit zur potentiellen Insuffizienz des M.subscapularis führt, wird zur Vermeidung einer Subscapularisablösung am Rotatorenintervall-Zugang gearbeitet. Dabei präpariert man minimal invasiv durch die Kapsellücke zwischen Subscapularis und Supraspinatus, osteotomiert „gedeckt“ den Humeruskopf und gewinnt damit ausreichend Zugang zur Pfanne. Spezialinstrumente sind hierfür erforderlich. Die kommenden Jahre werden zeigen, ob sich dieser neue Zugangsweg durchsetzen wird.⁹

Fazit

Der vorliegende Artikel zeigt die rasante Evolution der Schulterendoprothetik in den letzten 65 Jahren und stellt die derzeitigen Trends und Schwerpunkte der Forschung und Produktentwicklung dar. In der engen Zusammenarbeit zwischen Industrie, Grundlagenforschung und spezialisierten Schulterchirurgen steckt ein enormes Potential für die Schulterendoprothetik der Zukunft, das in der Lage sein wird, die Zufriedenheit unserer Patienten nach Prothesenimplantation weiter zu verbessern.

6. Walch G, Vezeridis PS, Boileau P, Deransart P, Chaoui J. Three-dimensional planning and use of patient-specific guides improve glenoid component position: an in vitro study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24:302-309.
7. Puskas GJ, Meyer DC, Lebschi JA, Gerber C. Unacceptable failure of hemiarthroplasty combined with biological glenoid resurfacing in the treatment of glenohumeral arthritis in the young. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015.
8. Habermeyer P, Magosch P. Zementfreier anatomischer Glenoidersatz. *Obere Extremität.* 2015;10:80-87.
9. Ding DY, Mahure SA, Akuoko JA, Zuckerman JD, Kwon YW. Total shoulder arthroplasty using a subscapularis-sparing approach: a radiographic analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24:831-837.

Prof. Dr. Peter Habermeyer
 PD Dr. Frank Martetschläger
 PD Dr. Mark Tauber
 Deutsches Schulterzentrum
 ATOS Klinik München
 Martetschlaeger@atos.de