

Rettungsoperationen und deren Differenzialindikation am distalen Radioulnargelenk

Rettungsoperationen werden zur Verbesserung der Funktion und Reduktion von Schmerzen bei endgültig zerstörten Gelenken verwendet, bei denen rekonstruktive Maßnahmen nicht mehr möglich sind. Ziel dieser Operationsverfahren ist nicht die Wiederherstellung einer normalen Anatomie und Biomechanik, sondern die Verbesserung der klinischen Symptomatik, die mit der manifesten Arthrose eines Gelenkes einhergeht. Am arthrotisch destruierten distalen Radioulnargelenk (DRUG) besteht die klinische Symptomatik aus einer schmerzhaft gestörten Unterarmdrehbewegung, die zumeist mit einer Kraftverminderung der betroffenen Hand verbunden ist.

Ursachen der Arthrose des DRUG

In allen Studien über Rettungsoperationen am DRUG fand sich die distale Radiusfraktur als bei weitem häufigste Ursache für die Entstehung einer Arthrose des DRUG. Bei intraartikulären Frakturen führt die Zerstörung des Gelenkknorpels oder die Inkongruität des Ulnakopfes oder der Incisura ulnaris des Radius zur Arthrose. Auch eine chronische Instabilität oder Luxation des DRUG nach Radiusfrakturen wird als Entstehungsursache für eine Arthrose angesehen.

Ob die in Fehlstellung verheilte, streng extraartikuläre distale Radiusfraktur ebenfalls eine Arthrose des DRUG bedingen kann, wird kontrovers diskutiert. Die Verkippung des distalen Radius nach dorsal

oder palmar und nach radial führt bei den in Fehlstellung verheilten extraartikulären Radiusfrakturen sowohl zu Veränderungen der physiologischen Stellung der radiokarpalen Gelenkfläche als auch zur gleichzeitigen Verkippung der ebenfalls am distalen Radiusfragment befindlichen Incisura ulnaris. Dies ist zumeist verbunden mit einer Verkürzung des Radius. Es resultiert eine Verkantung der Incisura ulnaris gegenüber dem unveränderten Ulnakopf als Gelenkpartner [1]. Biomechanisch kommt es zu einer Veränderung des Kontaktflächenverhaltens der Gelenkpartner im DRUG [2] mit einem erhöhten Drehwiderstand [3] und einer Blockierung der Umwendbewegung [4, 5, 6].

Bislang fehlt der direkte Nachweis eines Zusammenhangs zwischen Arthroseent-

stehung und in Fehlstellung verheilten extraartikulärer distaler Radiusfraktur. Die bekannten biomechanischen Veränderungen sowie die Kenntnis vieler Langzeitverläufe (■ **Abb. 1**) weisen jedoch darauf hin, dass es sich hierbei um eine präarthrotische Deformität für das DRUG handelt [7].

Seltener Ursachen sind die primäre Arthrose des DRUG, die posttraumatische Arthrose bei chronischer Instabilität des DRUG nach Verletzungen des ulnokrarpalen Bandkomplexes (TFCC), angeborene Deformitäten (Madelung-Deformität) oder Tumoren (Riesenzelltumor). Bei Patienten mit einer rheumatischen Grunderkrankung stellt die Destruktion des DRUG nur einen Teil der Gesamtveränderungen am Handgelenk und an der



Abb. 1 ▶ Ausgeprägte posttraumatische Arthrose des DRUG 11 Jahre nach in Fehlstellung verheilte extraartikulärer Radiusfraktur bei einem 59-jährigen Patienten

Orthopäde 2004 · 33:704–714
DOI 10.1007/s00132-004-0660-1
© Springer-Verlag 2004

J. van Schoonhoven · U. Lanz

Rettungsoperationen und deren Differenzialindikation am distalen Radioulnargelenk

Zusammenfassung

Die häufigste Ursache für die Entstehung der Arthrose des distalen Radioulnargelenkes (DRUG) ist die in Fehlstellung verheilte distale Radiusfraktur. Eine vollständige Wiederherstellung der Funktion des DRUG kann weder durch Ulnakopfresektion, Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik, Kapandji-Sauvé-Operation noch durch endoprothetischen Ersatz des Ulnakopfes erreicht werden. Die Bewertung der einzelnen Methoden muss sich an der Komplikationsrate orientieren. Die wesentliche Komplikation der resezierenden Verfahren besteht in der biomechanischen Destabilisierung des distalen Unterarmgefüges mit sekundärer, schmerzhaft-

ter Instabilität des distalen Ulnaendes, und zwar für die Ulnakopfresektion erheblich häufiger als für die anderen Therapieverfahren. Wir sehen daher keine Indikation mehr für die vollständige Entfernung des Ulnakopfes. Nach Ergebnissen und Häufigkeit der sekundären Instabilität für die Hemiresektions-Interpositionsarthroplastik und die Kapandji-Sauvé-Operation sind diese Methoden gleichwertig. Bei vorbestehender Instabilität des DRUG oder erheblicher Achsenfehlstellung favorisieren wir die Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik. Studien ergaben, dass durch den endoprothetischen Ersatz des Ulnakopfes eine sekundäre In-

stabilität behoben, oder, bei primärer Verwendung, vermieden werden kann. Die Hauptindikation ist die Revision bei schmerzhafter, sekundärer Instabilität des distalen Ulnaendes. Bis zum Vorliegen von Langzeitergebnissen begrenzen wir den primären endoprothetischen Ersatz des Ulnakopfes auf spezielle Indikationen.

Schlüsselwörter

Distales Radioulnargelenk · Ulnakopfresektion · Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik · Kapandji-Sauvé-Operation · Ulnokarpaler Bandkomplex (TFCC)

Salvage procedures for the distal radioulnar joint and their specific indications

Abstract

The most common cause of an arthritically damaged distal radioulnar joint is a malunion of a distal radius fracture. Therapeutically, ulnar head resection, hemiresection-interposition-technique, Kapandji-Sauvé procedure and implantation of an ulnar head prosthesis have been described. None of these procedures is able to restore the complete function of the joint. Therefore, anatomical reconstruction of the joint in acute or secondary correction osteotomy for malunited fractures of the distal radius should be performed to avoid the development of the arthrosis. Numerous clinical studies have demonstrated a similar reduction of the clinical symptoms for all procedures. Therefore, classification of the different procedures has to consider the number of complications. Biomechanically, partial resection of the distal ulna will destabilize the distal radioulnar context and clinically may lead to pain-

ful radioulnar and/or dorsopalmar instability of the distal ulnar stump. Biomechanically and clinically, this complication, next to secondary extensor tendon ruptures, has to be expected far more often following complete resection of the ulnar head than in the alternative procedures. We do not see any remaining indication for complete resection of the ulnar head. Clinical results and the occurrence of painful instability of the distal ulnar stump have been reported almost identically for the hemiresection-interposition technique and the Kapandji Sauvé procedure. Therefore, both procedures appear to be equally suitable for the treatment of painful arthrosis of the distal radioulnar joint. In patients with a preexisting instability of the distal radioulnar joint, or a major deformity of the radius or the ulna, we prefer to perform the hemiresection-interposition-technique. In these conditions we consider the remain-

ing contact of the triangular fibrocartilage complex with the distal end of the ulna a biomechanical advantage to reduce the risk of secondary instability. Biomechanically as well as clinically, replacement of the ulnar head using a prosthesis has been shown to either avoid or solve the problem of instability. We therefore consider ulnar head replacement the treatment of choice in secondary painful instability following resection procedures at the distal end of the ulna. Primary ulnar head replacement should be considered in special indications until long-term follow-up results are available.

Keywords

Distal radioulnar joint · Ulnar head resection · Hemiresection-interposition technique · Kapandji-Sauvé procedure · Triangular fibrocartilage complex

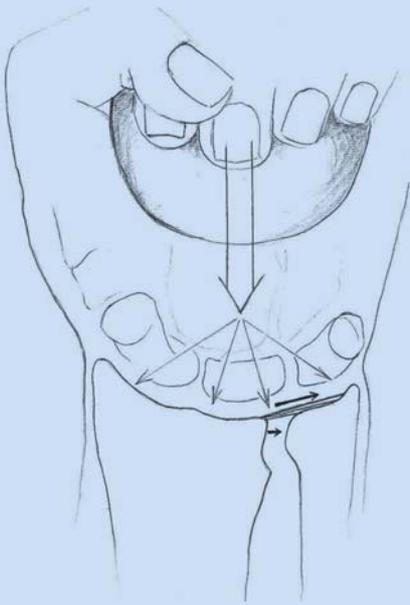


Abb. 2 ▲ Schematische Darstellung der axialen Kraftübertragung von der Hand auf den Unterarm am Handgelenk

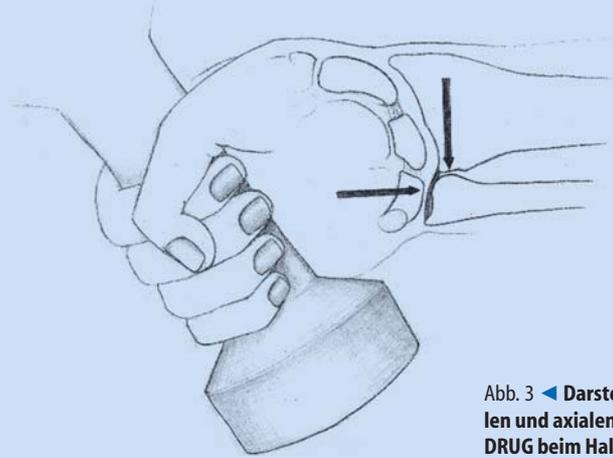


Abb. 3 ◀ Darstellung der transversalen und axialen Druckbelastung des DRUG beim Halten einer Hantel

Hand im Rahmen der Allgemeinerkrankung dar. Diese Patienten sollten daher in klinischen Studien immer gesondert betrachtet werden.

Anatomie und Biomechanik

Die Unterarmdrehbewegung ist eine Funktion des gesamten Unterarmes, bestehend aus einem intakten proximalen und distalen Radioulnargelenk sowie einer achsengerechten Ausrichtung beider Unterarmknochen [8]. Proximal erfolgt die Stabilisierung durch das Ligamentum anulare radii. Entlang dem Verlauf des Unterarmes spannt sich die Membrana interossea zwischen Radius und Ulna. Der für die Stabilität wesentliche Anteil ist hierbei der zentrale Anteil [9, 10]. Die Stabilität am DRUG wird gewährleistet durch den TFCC, den M. pronator quadratus, das Retinaculum extensorum des 5. und 6. Strecksehnenfaches, die Sehne des M. extensor carpi ulnaris und die Gelenkkapsel des Gelenkes. Diese Strukturen umfassen den Ulnakopf wie eine Weichteilmütze [11]. Da die Gelenkconfiguration der Circumferentia articularis des Ulnakopfes und der Incisura ulnaris des Radius nur wenig Stabilität vorgeben, gewährleistet diese intakte Weichteilmütze sowohl eine Drehbewegung von 180° als auch die Stabilität in diesem Bewegungsumfang.

Hagert [12] demonstrierte, dass das DRUG sowohl Druck-, als auch Zugbelastungen ausgesetzt ist. Die Zugkräfte, die bei der axialen Belastung zwischen Radius und Ulna entstehen, werden durch den TFCC aufgefangen. Die Druckbelastung wird in axialer Richtung über den TFCC von der Hand auf den Ulnakopf übertragen (■ Abb. 2).

In transversaler Richtung erfolgt die Druckübertragung vom Radius auf den Ulnakopf. Die Stabilität wird hierbei durch die knöchernen Abstützung des Radius auf dem Ulnakopf gewährleistet. Die rein transversale Belastung des DRUG ist bei den Aktivitäten des täglichen Lebens selten. Beim Heben oder Tragen von Gegenständen kommt es zu einer Kombination von axialer und transversaler Belastung auf das DRUG (■ Abb. 3). Palmer und Werner [13] fanden im biomechanischen Modell eine Verteilung der axialen Druckübertragung von der Hand auf den Unterarm zu 81,6% über den Radius und zu 18,4% über die Ulna bei gleicher Länge von Ulna und Radius im Handgelenkbereich. Diese axiale Kraftübertragung ist abhängig von der Länge der Ulna in Relation zur Radiusgelenkfläche, was als Ulnavarianz bezeichnet wird. Ishii et al. [14] wiesen in biomechanischen Untersuchungen die transversale Druckbelastung des DRUG nach, wobei die Autoren keine

Rückschlüsse auf das Ausmaß der Kräfte in der In-vivo-Situation machen konnten.

Rettungseingriffe am DRUG

Zur Therapie der manifesten Arthrose des DRUG stehen die Ulnakopfresektion, die Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik, die Operation nach Kapandji-Sauvé und der endoprothetische Ersatz des Ulnakopfes zur Verfügung.

Ulnakopfresektion

Das zuerst beschriebene Verfahren war die Resektion des Ulnakopfes. In der englischen Literatur wird die Operation in der Regel als „Darrach procedure“ angegeben, wobei Buck-Gramcko [15] die Erstbeschreibung auf E.M. Moore (1880) zurückverfolgte.

Operationsmethode

Die Operation besteht aus der Resektion des Ulnakopfes proximal des Ulnakopfniveaus. Eine Refixierung des stabilisierenden Bandapparates an das distale Ulnaende erfolgt nicht. An Weichteilen zur Stabilisierung des distalen Ulnaendes verbleiben lediglich palmar Ansatzreste des M. pronator quadratus, dorsal das 6. Strecksehnenfach mit der ECU-Sehne und proximal die Membrana interossea.

Zur Vermeidung einer Instabilität des distalen Ulnaendes wurden zahlreiche Modifikationen der Operation mit gleichzeitiger Weichteilfesselung des distalen Ulnaendes beschrieben.

Klinische Studien

Die vollständige Resektion des Ulnakopfes zur Behandlung der nichtrheumatischen Arthrose des DRUG wird auch in der aktuellen Literatur anhand von klinischen Nachuntersuchungsergebnissen sehr kontrovers beurteilt. Übereinstimmend wird von allen Autoren über eine sehr zufrieden stellende Verbesserung der klinischen Parameter (Unterarmdrehbewegung, Kraft, Schmerzreduktion) durch die Operation berichtet. In Hinblick auf die Komplikationsträchtigkeit dieser Methode herrscht allerdings keine Übereinstimmung.

Während DiBenedetto et al. [16] sowie Tulipan et al. [17] keine Komplikationen nach Ulnakopfresektion beobachteten, bewerteten Pachucki et al. [18] sowie Schiltenswolf et al. [19] bei fehlenden Instabilitätsproblemen die verbliebene Kraftminderung von 50% im Vergleich zur Gegenseite in dieser Patientengruppe als problematisch. Ekenstam et al. [20] berichteten, dass nur die Hälfte ihrer 24 Patienten mit dem Operationsergebnis zufrieden waren und 10 der Patienten eine schmerzhafte Instabilität des distalen Ulnaendes beklagten.

Minami et al. [21] fanden bei 11 von 16 Patienten eine Reduktion der Kraftentwicklung von mehr als 50% im Vergleich zur Gegenseite sowie bei 7 Patienten eine schmerzhafte Instabilität. Bieber et al. [22] berichteten über 20 ausgesuchte Patienten, bei denen die Ursache für Schmerzen nach einer Ulnakopfresektion durch die Instabilität des distalen Ulnaendes erklärt werden konnte. Field et al. [23] berichteten, dass lediglich 50% ihrer 36 Patienten nach einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 6 Jahren ein zufrieden stellendes Ergebnis erreichten und ein Drittel der Patienten eine schmerzhafte Instabilität des distalen Ulnaendes entwickelten. Craigen und Stanley [24] berichteten über eine schmerzhafte Instabilität des distalen Ulnaendes bei 7 von 10 Patienten, bei denen im Rahmen einer Arthrodese des Handgelenkes gleichzeitig eine Ulnakopfresektion durchgeführt wurde.



Abb. 4 ▲ Radiologische Darstellung der dorsoulnaren Instabilität nach Ulnakopfresektion (b). Bei dem 56-jährigen Patienten kam es zu Rupturen der Extensor-digiti-minimi- und der Extensor-digitorum-V- und -IV-Sehnen durch das prominente Ulnaende. Radioulnare Konvergenz in der axialen Belastung (c) im Vergleich zur posterioranterioren Röntgenaufnahme ohne Belastung (a). Radioulnares Impingement in der transversalen Belastungsaufnahme (d) mit knöchernem Anschlagen des distalen Ulnaendes an den Radius

Bell et al. [25] analysierten anhand von 10 ausgesuchten Patienten die schmerzhafte Instabilität nach Ulnakopfresektion. In ihrer Untersuchung beschrieben sie eine radioulnare Instabilität mit knöchernem Anschlagen des distalen Ulnaendes an den Radius, was sich radiologisch in Form von Arosionen am Radius bemerkbar machte und klinisch zur schmerzhafte Einschränkung der Unterarmdrehbewegung mit erheblichem Kraftverlust führte. Mit diesem Symptombild definierten sie den Begriff des Ulna-Impingement-Syndroms. Zur radiologischen Demonstration dieser Instabilität beschrieben Lees und Schecker eine transversale Belastungsaufnahme des Handgelenkes ([26]; ▣ Abb. 4).

Neben der angegebenen schmerzhafte Instabilität des distalen Ulnaendes und dem verbleibenden Kraftverlust nach Ulnakopfresektion fanden Minami et al. [21], Pring und Williams [27] sowie Newmeyer und Green [28] Rupturen der Extensor-digiti-minimi- und mehrerer Extensor-digitorum-Sehnen nach Ulnakopfresektionen aufgrund des nach dorsal instabilen Ulnaendes (▣ Abb. 4).

Biomechanische Studien

Im biomechanischen Modell konnten Sauerbier et al. [29, 30] demonstrieren, dass der Verlust des Ulnakopfes unausweichlich zu einer radioulnaren Instabilität mit Konvergenz des Radius an das Ulnaende führt. Eine zusätzliche dorsopalmare Instabilität wurde festgestellt, konnte jedoch bezüglich der Richtung unter den verschiedenen Belastungssimulationen nicht näher definiert werden. Es handelt sich also um eine multidirektionale Instabilität (▣ Abb. 4). In den biomechanischen Studien

dien von Peterson und Adams [31] und Sauerbier et al. [32] wurde die Auswirkung von unterschiedlichen Weichteilfesselungsoperationen auf die radioulnare Instabilität nach Ulnakopfresektion untersucht. Es konnte dargestellt werden, dass keine der beschriebenen Operationsverfahren in der Lage ist diese Instabilität zu reduzieren. In Hinblick auf die Kraftübertragung von der Hand auf den Unterarm fanden Shaaban et al. [33] nach Ulnakopfresektion eine nahezu vollständige Verschiebung der Kraftübertragung auf den Radius, was sie als biomechanisches Äquivalent zu einem „one-bone forearm“ interpretierten.

Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik des Ulnakopfes

Um die Instabilitätsproblematik zu überwinden, beschrieb Bowers 1985 [34] die Hemiresektions-Interpositions-Technik (HIT). 1986 veröffentlichten Watson et al. [35] die Matched-Ulna-Resektion.

Operationsmethode

Bei beiden Operationstechniken handelt es sich um die Teilresektion des zum Radius weisenden Anteils des Ulnakopfes im Sinne einer Hemiresektionsarthroplastik. Hierdurch wird der Ansatz des TFCC an der Basis des Processus styloideus ulnae als wesentlich stabilisierender Struktur belassen. Zur Vermeidung einer transversalen Instabilität mit Impingement des distalen Ulnaendes gegen den Radius oder den Karpus wird die Interposition eines Sehnenballes empfohlen. Eine vorliegende Ulna-Plussituation muss durch gleichzeitige Verkürzung der Ulna behoben werden, um ein ulnokarpales Impaction-Syndrom des Processus styloideus ulnae an das Os triquetrum zu vermeiden.

Klinische Studien

Die klinischen Ergebnisse der HIT wurden in der Literatur für Patientengruppen mit unterschiedlicher Indikation veröffentlicht. In allen Studien fand sich eine statistisch signifikante Verbesserung der klinischen Parameter. Die durchschnittliche postoperative Pronation wird mit 74° [36,37] bis 86° [38], die Supination mit 69° [39] bis 87° [38], die Kraft mit 67% [39] bis 88% [38] der Gegenseite bei deutlicher Reduktion der Schmerzen angegeben. Die

postoperative Entwicklung einer schmerzhaften Instabilität des distalen Ulnaendes wurde in den Studien sehr unterschiedlich angegeben. Während in den Studien von Faithful und Kwa [40] sowie Minami et al. [38] eine Instabilitätsproblematik überhaupt nicht erwähnt wurde, berichtete Fernandez [36], dass eine dorsale Subluxation der distalen Ulna in seinem Patientenkollektiv nicht aufgetreten ist.

Imbriglia und Matthews [41] bemerkten, dass 22 von 23 wegen einer chronischen Instabilität des DRUG behandelten Patienten ein verbessertes Stabilitätsgefühl angaben. In einer 2. Studie beobachteten Minami et al. [37] radiologisch eine Annäherung der distalen Ulna an den Radius bei allen sowie sekundäre Osteophytenbildung am Ulnaende bei einigen Patienten. Die Autoren interpretierten diese radiologischen Befunde als Zeichen einer postoperativen Instabilität. In unserer Studie [39] fand sich eine Instabilität der distalen Ulna bei 21 von 36 Patienten, die allerdings nur bei 14 Patienten schmerzhaft war. Das funktionelle Ergebnis unter Verwendung des DASH Beurteilungsschemas wurde bislang nur in einer Studie ermittelt und mit durchschnittlich 35 angegeben [39].

Die von Watson beschriebene Methode unterscheidet sich nicht wesentlich von der HIT und fand keine weitere Verbreitung. Es liegen lediglich die klinischen Ergebnisse der 21 vom Autor selbst behandelten Patienten vor [42].

Biomechanische Studien

Auch für die HIT fand sich im biomechanischen Modell, dass der Teilverlust des Ulnakopfes zu einer radioulnaren Instabilität aufgrund der verringerten knöchernen Abstützung des Radius im DRUG führt. Diese war jedoch statistisch signifikant geringer ausgeprägt als bei der Ulnakopfresektion ([29];  Abb. 5).

Kapandji-Sauvé-Operation

Ein vollständig anderes Therapiekonzept wurde 1936 von Sauvé und Kapandji [43] beschrieben.

Operationsmethode

Die mögliche Instabilitätsproblematik nach Resektionsarthroplastiken am DRUG wird bei dieser Methode vermie-

den, indem eine Arthrodesse des Ulnakopfes an die Incisura ulnaris des Radius erfolgt. Um die dadurch aufgehobene Unterarmdrehbewegung wiederherzustellen, muss gleichzeitig eine Segmentresektion aus der distalen Ulna proximal des Ulnakopfes erfolgen. In der resultierenden Pseudarthrose kann die Drehbewegung des Radius um die Ulna erfolgen. Bei dieser Operationsmethode muss bei bestehender Ulna-Plussituation am Handgelenk die Arthrodesse des DRUG unter gleichzeitiger Verschiebung des Ulnakopfes nach proximal durchgeführt werden, um ein Ulna-Impaction-Syndrom zu vermeiden.

Klinische Studien

Es handelt sich um die zzt. am häufigsten verwendete Rettungsoperation am DRUG, und es liegen zahlreiche Studien über die Ergebnisse mit dieser Operationsmethode vor. Bei einer statistisch relevanten Verbesserung aller klinischen Parameter wird über eine postoperative Pronation von 77° [44] bis 83° [45], Supination von 72° [46] bis 89° [45] und eine Kraftentwicklung von 62% [45] bis 88% [47] im Vergleich zur Gegenseite berichtet. Neben einer statistisch signifikanten Schmerzreduktion in allen Studien wird das funktionelle Ergebnis, gemessen mit dem DASH-Bewertungsschema, mit 23 [48] bis 28 [49] angegeben.

Hinsichtlich der Komplikationen werden in den Studien seltene Fälle von knöcherner Überbrückung des Resektionsspaltes, Irritationen des Ramus dorsalis des N. ulnaris sowie fehlende knöcherner Konsolidierung der Arthrodesse im DRUG angegeben. Häufig wird über eine lokale Irritation durch die Schrauben mit der Notwendigkeit der Metallentfernung berichtet. In Hinblick auf die Entstehung einer schmerzhaften Instabilität des distalen Ulnaendes finden sich in den Studien sehr unterschiedliche Angaben.

Gordon et al. [46] fanden bei 3 von 15 wegen einer posttraumatischen Arthrose des DRUG behandelten Patienten postoperativ eine Instabilität des distalen Ulnaendes. Sanders et al. [50] berichteten über eine klinische Instabilität bei 6 von 9 Patienten, die aufgrund einer posttraumatischen Arthrose operiert wurden. Bei 2 Patienten wurde diese Instabilität als schmerzhaft an-

gegeben. Nakamura et al. [51] fanden bei 14 von 15 aufgrund einer chronischen Instabilität behandelten Patienten radiologische Zeichen einer Instabilität des distalen Ulnaendes, welches bei 4 Patienten als schmerzhaft angegeben wurde. Waizenegger et al. [52] beobachteten die Entwicklung einer schmerzhaften Instabilität bei 4 von 13 Patienten, die aufgrund einer posttraumatischen Instabilität des DRUG operiert worden waren. Minami et al. [47] fanden radiologisch eine Instabilität bei allen 15 aufgrund einer Arthrose des DRUG behandelten Patienten. Bei 2 Patienten war diese Instabilität klinisch Ursache für verbliebene Schmerzen.

Mikkelsen et al. [53] berichteten über ihre Ergebnisse von 12 Patienten mit schmerzhaftem DRUG nach distalen Radiusfrakturen und beobachteten eine schmerzhaft postoperative Instabilität des distalen Ulnaendes bei 2 Patienten. In einem größeren Patientenkollektiv von 37 aufgrund einer Arthrose des DRUG behandelten Patienten, fanden Carter und Stuart [45] klinisch eine postoperative Instabilität des distalen Ulnaendes bei 18 Patienten, die bei 9 Patienten als schmerzhaft beschrieben wurde. Lamey und Fernandez berichten über eine schmerzhaft Instabilität trotz primär zusätzlich durchgeführter Weichteilfesselung des distalen Ulnaendes bei 2 von 18 Patienten [54]. Wüstner-Hofmann et al. fanden eine Instabilität mit schmerzfreiem Klicken des distalen Ulnaendes bei 6 von 30 Patienten [44]. Zimmermann et al. diskutieren zwar ausführlich eine mögliche Instabilitätsproblematik, machen jedoch keine Häufigkeitsangaben in ihrem Patientenkollektiv von 105 nachuntersuchten Patienten [49].

Daecke et al. berichten über eine schmerzhaft radioulnare Instabilität bei 4 von 38 Patienten. Zusätzlich konnten die Autoren eine statistisch signifikante Beziehung zwischen der Länge der proximalen Ulna und dem klinischen Resultat nachweisen. Eine kurze proximale Ulna ergab signifikant ungünstigere Ergebnisse [48].

Biomechanische Studien

Obwohl es sich um die gebräuchlichste Rettungsoperation am DRUG handelt, liegt bislang keine biomechanische Studie vor, die sich mit der veränderten Kraft-

übertragung oder der potenziellen Destabilisierung des distalen Ulnaendes beschäftigt.

Ulnakopfprothese

Das Konzept des endoprothetischen Ersatzes des Ulnakopfes durch eine Prothese im Sinne einer Hemiarthroplastik des DRUG wurde zur Therapie der schmerzhaften Instabilität des distalen Ulnaendes nach vorangegangenen Resektionsverfahren des Ulnakopfes entwickelt [55].

Operationsmethode

Die Operation besteht aus der Rekonstruktion der anatomischen, das DRUG stabilisierenden Weichteilstrukturen und dem gleichzeitigen Ersatz des Ulnakopfes durch eine Prothese. Hierzu wird die Weichteilmütze, die sich über dem Ulnakopf verspannt dargestellt, ggf. rekonstruiert und durch den Keramikprothesenkopf, der auf den zementfrei implantierten Titanprothesenschaft aufgesetzt wird, ausgefüllt (Ulnakopfprothese der Fa. Martin-Medizin-Technik). Bei Verwendung der Ulnakopfprothese der Fa. Avanta erfolgt die Fixierung des TFCC direkt am Chrom-Kobalt-Prothesenkopf. Zu den Ergebnissen mit diesem Prothesensystem liegen allerdings bislang keinerlei Veröffentlichungen vor, obwohl es seit 1999 verwendet wird.

Klinische Studien

In einer ersten prospektiven klinischen Studie wurde über die Erfahrungen bei 23 Patienten berichtet, bei denen die Martin-Ulnakopfprothese zur Rekonstruktion des DRUG verwendet wurde, um eine schmerzhaft Instabilität des distalen Ulnaendes nach vorausgegangener Resektionsarthroplastik des DRUG zu behandeln [56]. In einer weiteren Studie mit einem größeren Patientenkollektiv von 57 Patienten und einem Nachuntersuchungszeitraum von bis zu 5 Jahren und 7 Monaten wird über die Ergebnisse sowohl bei der Behandlung von Patienten mit einer Arthrose des DRUG als auch mit einer schmerzhaften Instabilität des distalen Ulnaendes nach vorangegangenen Rettungsoperationen berichtet [57].

Hier steht eine Anzeige
This is an advertisement



Springer

54 x 240 mm)



Abb. 5 ◀ Parallele Ausrichtung von Radius und Ulna in der axialen Belastungsaufnahme (a) und in der seitlichen Röntgenaufnahme (b) bei radioulnarer Konvergenz in der transversalen Belastungsaufnahme (c) nach Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik des DRUG



Abb. 6 ◀ Kongruente Darstellung nach Rekonstruktion des DRUG der Patientin aus ▣ Abb. 5 durch eine Martin-Ulnakopfprothese in der axialen Belastungsaufnahme (a) und seitlichen Röntgenaufnahme (b). Stabile Situation in der transversalen Belastung (c) durch Wiederherstellung der knöchernen Abstützung des Radius im DRUG

Bei einer statistisch signifikanten Verbesserung aller klinischen Parameter und des Schmerzes wird eine durchschnittliche postoperative Pronation von 78°, Supination von 76° und Kraftentwicklung von 77% im Vergleich zur Gegenseite bei einer hohen Patientenzufriedenheit angegeben [57]. Weitere Erfahrungsberichte mit kleinen Patientenkollektiven bestätigen die Resultate der zuvor genannten Studien [58, 59].

In den klinischen Studien wird berichtet, dass die Stabilität des DRUG bei Patienten mit schmerzhafter Instabilität des distalen Ulnaendes wiederhergestellt und bei Patienten mit einer Arthrose des DRUG erhalten werden konnte. Eine erneute Instabilität entwickelte sich bei 3 von 57 Patienten [57] aufgrund einer insuffizienten Weichteilsituation (rheumatoide Arthritis, mehrfache Voroperationen am DRUG, veraltete Essex-Lopresti-Situation). Neben

einer Infektion wird über eine Prothesenlockerung berichtet. Bei 2 Patienten kam es zu einem Ulna-impaction-Syndrom, da bei der Implantation der Prothese das Längenverhältnis am Handgelenk nicht korrekt wiederhergestellt wurde und eine Ulna plus Situation entstand.

Biomechanische Studien

In 2 voneinander unabhängigen Studien wurde am biomechanischen Modell

nachgewiesen, dass der Ersatz des Ulnakopfes unter Rekonstruktion der stabilisierenden Weichteile die Stabilität des DRUG wiederherstellen [30] und gewährleisten kann [60]. Biomechanisch wesentlich ist hierbei die Wiederherstellung der knöchernen Abstützung des Radius im DRUG zur Vermeidung oder Beseitigung einer radioulnaren Konvergenz.

Diskussion

Bei der manifesten und symptomatischen Arthrose des DRUG führen die schmerzhafte Einschränkung der Unterarmdrehbewegung, verbunden mit dem Kraftverlust der betroffenen Hand, zu einer wesentlichen Funktionseinschränkung für die Patienten. Für die Bewertung der möglichen operativen Verfahren muss betrachtet werden, inwieweit diese Symptomatik unter Berücksichtigung der Komplikationsrate durch die einzelnen Therapieformen verbessert werden kann. Bei der Durchsicht der klinischen Studien zu den verschiedenen Operationsverfahren lässt sich feststellen, dass eine statistisch signifikante Verbesserung der klinischen Parameter durch jedes der beschriebenen Therapieverfahren zu erzielen ist. Die Bewertung der einzelnen Verfahren muss sich daher anhand der beschriebenen Komplikationen und deren Häufigkeit orientieren.

Vermeidbare Komplikationen

Wie bei jeder Operation gibt es hier zunächst vermeidbare, operationstechnische Komplikationen. Diese bestehen aus der Verletzung des Ramus dorsalis des N. ulnaris, der zu weit proximal gelegenen Segmentresektion bei der Kapandji-Sauvé-Operation und der inkorrekten Einstellung des Längenverhältnisses zwischen Ulna und Radius am Handgelenk mit resultierendem Ulna-Impaction-Syndrom bei der HIT, der Kapandji-Sauvé-Operation und der Prothesenimplantation. Als schicksalhafte Komplikation muss man die Entwicklung einer postoperativen Infektion bewerten. All diese Komplikationen sind für die Bewertung der Verfahren nicht wesentlich, da sie für keine Me-

thode in besonderer Häufigkeit beschrieben wurden.

Operationsspezifische Komplikationen

An operationsspezifischen Komplikationen finden sich für die Kapandji-Sauvé-Operation die mögliche, aber seltene Entwicklung eines Brückenkallus sowie eine häufige, lokale Irritation der Weichteile durch das Osteosynthesematerial mit der Notwendigkeit zu operativen Zweiteingriffen.

Für den endoprothetischen Ersatz des Ulnakopfes muss theoretisch wie bei jeder Endoprothese die Möglichkeit der Prothesenlockerung mit Versagen der Methode erwogen werden. Diese Komplikation trat zwar im bisherigen Beobachtungsverlauf von mittlerweile 9 Jahren lediglich in einer speziellen Situation auf, lässt sich letztendlich jedoch erst nach Vorliegen von 10-Jahres-Resultaten wirklich beurteilen.

Für die resezierenden Operationsverfahren steht als operationsspezifische Komplikation die veränderte Biomechanik mit Destabilisierung des distalen Unterarmgefüges und der möglichen Entwicklung einer schmerzhaften Instabilität des Ulnaendes im Vordergrund. In der Vielzahl von klinischen Studien wird die Häufigkeit dieser Komplikation für die einzelnen Methoden sehr unterschiedlich angegeben. Allgemein wird jedoch beobachtet, dass eine klinisch manifeste Instabilität nicht zwangsläufig auch zu einer Schmerzsymptomatik führen muss.

Der Verlust des Ulnakopfes bei der Resektionsarthroplastik und damit auch der Insertion des TFCC als wesentlicher, stabilisierender Struktur führte in den biomechanischen Studien immer zu einer multidirektionalen Instabilität des distalen Ulnaendes sowohl in dorsopalmarer als auch in radioulnarer Richtung. In der transversalen Belastung des Handgelenkes fällt der Radius aufgrund der fehlenden knöchernen Abstützung im DRUG auf das distale Ulnaende mit radioulnarem Impingement (■ Abb. 4).

Eine zusätzliche Weichteilfesselung des distalen Ulnaendes konnte diese Instabilität weder im biomechanischen Modell [31, 32] noch in der klinischen Erfahrung vermeiden [22, 61]. Zusätzlich fand sich bio-

mechanisch die nahezu komplette Verschiebung der axialen Kraftübertragung am Handgelenk auf den Radius. Die klinische Relevanz dieser biomechanischen Veränderungen wurde in vielen Studien demonstriert. Aufgrund der dorsopalmaren Instabilität des Ulnaendes wurden Rupturen von Strecksehnen beschrieben [21, 27, 28]. Die radioulnare Instabilität resultierte bei einer hohen Anzahl von Patienten in einem schmerzhaften Impingement-Syndrom [20, 21, 22, 23, 24, 25]. Die verbliebene Schmerzsymptomatik und Verschiebung der Kraftübertragung auf den Radius führte zu einem erheblichen Kraftverlust der betroffenen Extremität [18, 19, 21]. Diese operationsspezifischen Komplikationen führten zu der Empfehlung, die Indikation zur Ulnakopfresektion auf die Behandlung bei der chronischen Polyarthritiden zu begrenzen [22, 23, 24].

Indikationen und Kontraindikationen

Beim endoprothetischen Ersatz des Ulnakopfes handelt es sich im Gegensatz zu den übrigen Therapieverfahren nicht um ein resezierendes Verfahren, sondern um die Rekonstruktion des DRUG. Dementsprechend fand sich auch im biomechanischen Modell, dass eine Instabilitätsproblematik nicht zu erwarten ist oder eine bestehende Instabilität nach vorangegangener Resektion aufgehoben werden kann (■ Abb. 6).

Klinisch bestätigte sich dieses Konzept mit Ausnahme der Patienten, bei denen die Weichteile eine Stabilität nicht gewährleisten konnten. Eine ungenügende Weichteilsituation wurde von den Autoren jedoch auch als Kontraindikation für die Methode angegeben [55, 56, 57]. Bei der biomechanisch eindeutigen Überlegenheit der Methode und mittlerweile 9-jähriger klinischer Erfahrung kann die Verwendung zur primären Therapie der schmerzhaften Arthrose des DRUG erwogen werden. Dies gilt insbesondere für die Patienten, bei denen aufgrund einer starken beruflichen Beanspruchung und Belastung des Handgelenkes (Schmied, Bauarbeiter) durch resezierende Therapiemaßnahmen eine schmerzhaft Instabilitätsproblematik zu erwarten wäre. Um eine bereits bestehende schmerzhaft Instabilität des distalen Ulnaendes zu be-



Abb. 7 ◀ Röntgenologisch stabile Darstellung des distalen Ulnaendes in der axialen Belastung (a) und in der seitlichen Röntgenaufnahme (b) bei radioulnarem Impingement (c) nach Kapandji-Sauvé-Operation in der transversalen Belastung

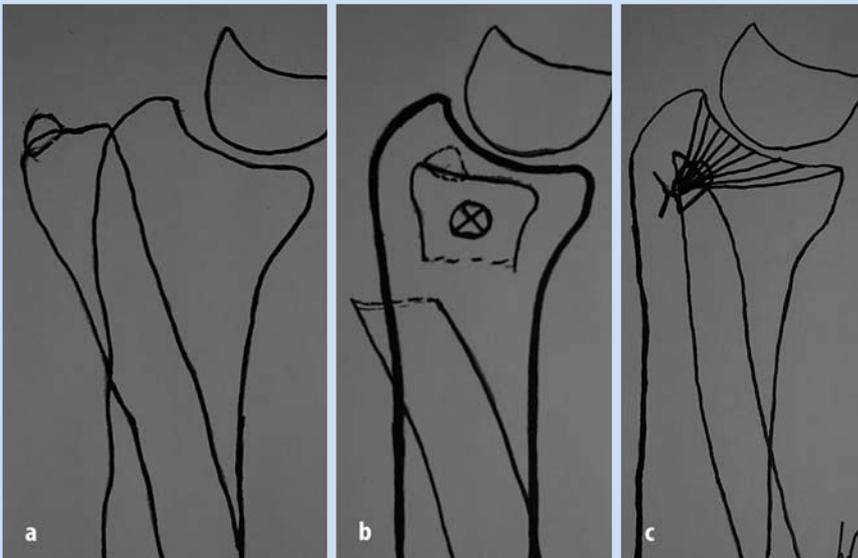


Abb. 8 ◀ Schematische Darstellung einer dorsalen Instabilität des DRUG (a), der Proximalisierung der Instabilität nach Kapandji-Sauvé-Operation (b) und der möglichen Stabilisierung (c) im Rahmen einer Hemiresektions-Interpositions-Arthroplastik

handeln, ist die Rekonstruktion des DRUG unter Verwendung der Ulnakopfprothese als das Therapieverfahren der Wahl anzusehen.

Als alternative Standardmethoden zur primären Therapie der schmerzhaften Arthrose des DRUG verbleiben die HIT und die Operation nach Kapandji-Sauvé. Biomechanisch führt die Hemiresektion des Ulnakopfes mit Weichteilinterposition zu einer radioulnaren Konvergenz, die jedoch deutlich geringer ausgeprägt ist als bei der Ulnakopfresektion [29]. Die klinische Relevanz fand sich in den unterschiedlichen Studien bestätigt, in denen bis zu 39% der Patienten ein schmerz-

haftes Impingement-Syndrom entwickelten [39]. Erstaunlicherweise liegen zur Kapandji-Sauvé-Operation bislang keine biomechanischen Studien vor. Theoretisch handelt es sich jedoch um dieselbe Situation wie bei einer Ulnakopfresektion, wobei das distale Ulnaende lediglich proximal des fusionierten Ulnakopfes zu liegen kommt.

In der axialen Belastung des Handgelenkes wird im Gegensatz zur Ulnakopfresektion allerdings die Belastung über den fusionierten Ulnakopf auf den Radius übertragen, wodurch die Belastung des distalen Ulnaendes in dieser Belastungsrichtung vermieden wird (▣ Abb. 7). Theo-

retisch kommt es hierdurch allerdings ebenso wie bei der Ulnakopfresektion zur vollständigen Verschiebung der axialen Kraftübertragung auf den Radius. Demgegenüber kann bei der HIT theoretisch ein verbleibender axialer Kraftfluss von der Hand über den TFCC auf die Ulna angenommen werden. In der transversalen Belastungsebene muss biomechanisch ebenso wie bei den übrigen resezierenden Verfahren von einer radioulnaren Konvergenz ausgegangen werden.

Diese theoretischen, biomechanischen Erwägungen finden in den klinischen Studien ihr Korrelat, in denen über eine schmerzhafte Instabilität des distalen UL-

naendes bei bis zu 31% der Patienten berichtet wurde [52]. Da entsprechend den klinischen Studien für beide Operationsverfahren eine nahezu identische Verbesserung der klinischen Symptomatik bei vergleichbarer Komplikationsrate zu erwarten ist, stehen sie sich gleichwertig gegenüber.

Einschränkungen der Indikation ergeben sich unseres Erachtens für die Kapandji-Sauvé-Operation aufgrund theoretischer, biomechanischer Überlegungen. Bei einer chronischen Instabilität mit sekundärer Arthrose des DRUG kommt es über den zeitlichen Verlauf auch zur Insuffizienz der sekundären Stabilisatoren des Unterarmgefüges. Dies sind die Membrana interossea, der M. pronator quadratus und die Sehnscheide und die Sehne des M. extensor carpi ulnaris. Bei der Kapandji-Sauvé-Operation verbleiben jedoch lediglich diese Weichteilstrukturen, um eine Stabilität des distalen Ulnaendes zu erhalten. Bei diesen Patienten sehen wir das Risiko einer Proximalisierung der vorbestehenden Instabilität, welche durch die Fusion am DRUG beseitigt werden kann. Im Gegensatz hierzu verbleibt bei der HIT der TFCC als zusätzlicher Stabilisator, dessen Spannung im Rahmen der Operation durch eine Kürzung der distalen Ulna noch verstärkt werden kann (■ Abb. 8).

Eine weitere Kontraindikation für die Kapandji-Sauvé-Operation sehen wir bei einer erheblichen Achsenfehlstellung des Radius oder der Ulna. In dieser Situation, z. B. nach fehlerhaften Frakturen mit verbliebener erheblicher Fehlstellung eines der beiden Unterarmknochen, kann die parallele Ausrichtung von Ulna und Radius zwar im DRUG durch die Fusion erzielt werden, das distale Ulnaende wird jedoch entsprechend der vorbestehenden Achsenfehlstellung von der Achse des Radius nach dorsal oder palmar abweichen. Auch hier besteht der theoretische Vorteil der HIT in der verbleibenden Stabilisierung durch den TFCC, der zumindest zu einem gewissen Grad eine parallele Ausrichtung der beiden Unterarmknochen erhalten kann.

Fazit

Die häufigste Ursache der Arthrose des DRUG ist die distale Radiusfraktur. Durch keine der

in der Literatur beschriebenen Rettungsoperationen kann die normale Funktion des DRUG wiederhergestellt werden. Oberstes Ziel muss es daher sein, eine vermeidbare Arthrose des Gelenkes durch korrekte Wiederherstellung der Gelenkkonfiguration im Rahmen der Primärbehandlung oder durch sekundäre Rekonstruktion im Sinne einer Radiuskorrektur bei fehlerhafter Fraktur zu verhindern. Bei der manifesten, schmerzhaften Arthrose des DRUG empfehlen wir, entsprechend den diskutierten Ergebnissen aus den klinischen und biomechanischen Studien, nachfolgende Differenzialindikation für die einzelnen Rettungsoperationen. Aufgrund der bestehenden Therapiealternativen sehen wir keine Indikation für die alleinige Ulnakopfresektion. Zur Therapie der schmerzhaften Arthrose stehen die HIT und die Kapandji-Sauvé-Operation als gleichwertige Therapieverfahren zur Verfügung. Bei Patienten mit einer vorbestehenden Instabilität des DRUG oder einer erheblichen Achsenfehlstellung von Radius oder Ulna favorisieren wir die HIT. Bei Patienten mit einer starken beruflichen oder privaten Beanspruchung des Handgelenkes sehen wir die Notwendigkeit zur primären Rekonstruktion des DRUG unter Verwendung der Ulnakopfprothese. Ebenso verwenden wir die Ulnakopfprothese bei fehlenden Kontraindikationen zur Therapie der schmerzhaften Instabilität des distalen Ulnaendes nach resezierenden Operationsverfahren.

Korrespondierender Autor

Priv.-Doz. Dr. med. J. van Schoonhoven

Orthopädische Klinik II – Klinik für Hand- und Fußchirurgie – des St.-Franziskus-Hospitals, Hohenzollertring 72, 48145 Münster
E-Mail: vanschoonhoven@hotmail.com

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

1. Prommersberger K-J, Moosavi S, Lanz U (1999) Ergebnisse der Korrekturosteotomie fehlerhafter Extensionsfrakturen der Speiche an typischer Stelle. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 31: 234–240
2. Bade H, Lobeck F (1991) Gelenkflächenverhalten der Articulatio radioulnaris distalis bei fehlgestelltem distalen Radius. *Unfallchirurgie* 17: 213–217
3. Bronstein AJ, Trumble TE, Tencer AF (1997) The effects of distal radius fracture malalignment on forearm rotation: a cadaveric study. *J Hand Surg Am* 22: 258–262

4. Hirahara H, Neale PG, Lin YT, Cooney WP, An KN (2003) Kinematic and torque-related effects of dorsally angulated distal radius fractures and the distal radial ulnar joint. *J Hand Surg Am* 28: 614–621
5. Kihara H, Palmer AK, Werner FW, Short WH, Fortino MD (1996) The effect of dorsally angulated distal radius fractures on distal radioulnar joint congruency and forearm rotation. *J Hand Surg Am* 21: 40–47
6. Munesada S, Oka Y, Terada H, Rokuuma N (1983) Rotation of the forearm in fracture of the distal radius: clinical and experimental studies. In: Nakamura R, Linscheid RL, Miura T (eds) *Wrist disorders. Current concepts and challenges*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio, pp 227–231
7. Schoonhoven J van, Prommersberger K-J, Lanz U (1999) Die Bedeutung des distalen Radioulnargelenkes bei rekonstruktiven Eingriffen nach fehlerhaften Körperfernen Speichenbrüchen. *Orthopädie* 28: 864–871
8. Hagert CG (1987) The distal radioulnar joint. *Hand Clin* 3: 41–50
9. Skahan III. JR, Palmer AK, Werner FW, Fortino MD (1997) The interosseous membrane of the forearm: Anatomy and function. *J Hand Surg Am* 22: 981–985
10. Nakamura T, Yabe Y, Horuchi Y (1999) In vivo MR studies of dynamic changes in the interosseous membrane of the forearm during rotation. *J Hand Surg Br* 24: 245–248
11. Schoonhoven J van, Lanz U (1998) „Rund um den Ellenkopf“: Verletzungsmuster und Klassifikationen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 30: 351–360
12. Hagert CG (1994) Distal radius fracture and the radioulnar joint – anatomical considerations. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 26: 22–26
13. Palmer AK, Werner FW (1984) Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop* 187: 26–35
14. Ishii S, Palmer AK, Werner FW, Short WH, Fortino MD (1998) Pressure distribution in the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am* 23: 909–913
15. Buck-Gramcko D (1990) On the priorities of publications of some operative procedures on the distal end of the ulna. *J Hand Surg Br* 15: 416–420
16. DiBenedetto MR, Lubbers LM, Coleman CR (1991) Long-term results of the minimal resection Darrach procedure. *J Hand Surg Am* 16: 445–450
17. Tulipan DJ, Eaton RG, Eberhart RE (1991) The Darrach procedure defended: technique redefined and long-term follow-up. *J Hand Surg Am* 16: 438–444
18. Pachucki A, Matuschka H, Russe F (1991) Die Ellenköpfchenresektion – Indikation und Behandlungsergebnisse. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 23: 318–320
19. Schiltenswolf M, Martini AK, Bernd L, Lukoschek M (1992) Ergebnisse nach Ellenköpfchenresektion. *Z Orthop* 130: 181–187
20. Ekenstam F af, Engkvist O, Wadin K (1982) Results from resection of the distal end of the ulna after fractures of the lower end of the radius. *Scand J Plast Reconstr Surg* 16: 177–181
21. Minami A, Ogino T, Minami M (1987) Treatment of distal radioulnar disorders. *J Hand Surg Am* 12: 189–196
22. Bieber EJ, Linscheid RL, Dobyns JH, Beckenbaugh RD (1988) Failed distal ulna resections. *J Hand Surg Am* 13: 193–200
23. Field J, Malkowski RJ, Leslie IL (1993) Poor results of Darrach's procedure after wrist injuries. *J Bone Joint Surg* 75-B: 53–57
24. Craigen MAC, Stanley JK (1995). Distal ulnar instability following wrist arthrodesis in men. *J Hand Surg Br* 20: 155–158
25. Bell MJ, Hill RJ, McMurtry RY (1985) Ulnar impingement syndrome. *J Bone Joint Surg* 67-B: 126–129
26. Lees VC, Scheker LR (1997) The radiological demonstration of dynamic ulnar impingement. *J Hand Surg Br* 22: 448–450

Hier steht eine Anzeige
This is an advertisement



Springer

54 x 240 mm)

27. Pring DJ, Williams DJ (1986) Closed rupture of extensor digitorum communis tendon following excision of distal ulna. *J Hand Surg Br* 11: 451–452
28. Newmeyer WL, Green DP (1982) Rupture of digital extensor tendons following distal ulnar resection. *J Bone Joint Surg* 64-A: 178–182
29. Sauerbier M, Fujita M, Hahn ME, Neale PG, Berger RA (2002) The dynamic radioulnar convergence of the Darrach procedure and the ulnar head hemiresection interposition arthroplasty: a biomechanical study. *J Hand Surg Br* 27: 307–316
30. Sauerbier M, Hahn ME, Fujita M, Neale PG, Berglund LJ, Berger RA (2002) Analysis of dynamic distal radioulnar convergence after ulnar head resection and endoprosthesis implantation. *J Hand Surg Am* 27: 425–434
31. Petersen MS, Adams BD (1993) Biomechanical evaluation of distal radioulnar reconstructions. *J Hand Surg Am* 18: 328–334
32. Sauerbier M, Berger RA, Fujita M, Hahn ME (2003) Radioulnar convergence after distal ulnar resection. Mechanical performance of two commonly used soft tissue stabilizing procedures. *Acta Orthop Scand* 74: 420–428
33. Shaaban H, Giakas G, Bolton M, Williams R, Scheker LR, Lees VC (2004) The distal radioulnar joint as a load-bearing mechanism – a biomechanical study. *J Hand Surg Am* 29: 85–95
34. Bowers WH (1985) Distal radioulnar joint arthroplasty: The hemiresection-interposition technique. *J Hand Surg Am* 10: 169–178
35. Watson HK, Ryu J, Burgess RC (1986) Matched distal ulnar resection. *J Hand Surg Am* 11: 812–817
36. Fernandez DL (1988) Radial osteotomy and Bowers arthroplasty for malunited fractures of the distal end of the radius. *J Bone Joint Surg* 70-A: 1538–1551
37. Minami A, Suzuki K, Suenaga N, Ishikawa J (1995) Hemiresection-interposition arthroplasty for osteoarthritis of the distal radioulnar joint. *Int Orthop* 19: 35–39
38. Minami A, Kaneda K, Itoga H (1991) Hemiresection-interposition arthroplasty of the distal radioulnar joint associated with repair of triangular fibrocartilage complex lesions. *J Hand Surg Am* 16: 1120–1125
39. Schoonhoven J van, Kall S, Schober F, Prommersberger K-J, Lanz U (2003) Die Hemiresektions-Interpositionsarthroplastik als Rettungsoperation bei Arthrose des distalen Radioulnargelenkes. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 35: 175–180
40. Faithfull DK, Kwa S (1992) A review of distal ulnar hemiresection arthroplasty. *J Hand Surg Br* 17: 408–410
41. Imbriglia JE, Matthews D (1993) Treatment of chronic post-traumatic dorsal subluxation of the distal ulna by hemiresection-interposition arthroplasty. *J Hand Surg Am* 18: 899–907
42. Watson HK, Gabuzda GM (1992) Matched distal ulna resection for posttraumatic disorders of the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am* 17: 724–730
43. Sauvé L, Kapandji M (1936) Nouvelle technique de traitement chirurgical des luxations récidivantes isolées de l'extrémité inférieure du cubitus. *J Chir* 47: 589–594
44. Wüstner-Hofmann MC, Schober F, Hofmann AK (2003) Die Wertigkeit der Operation nach Kapandji unter Berücksichtigung von klinischer Nachuntersuchung und postoperativer Knochendichtemessung. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 35: 147–156
45. Carter PB, Stuart PR (2000) The Sauve-Kapandji procedure for post-traumatic disorders of the distal radio-ulnar joint. *J Bone Joint Surg* 82-B: 1013–1018
46. Gordon L, Levinsohn DG, Moore SV, Dodds RJ, Castleman LD (1991) The Sauve-Kapandji procedure for the treatment of posttraumatic distal radioulnar joint problems. *Hand Clin* 7: 397–403
47. Minami A, Suzuki K, Suenaga N, Ishikawa J (1995) The Sauvé-Kapandji procedure for osteoarthritis of the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am* 20: 602–608
48. Daecke W, Martini AK, Streich NA (2003) Die Kapandji-Sauvé-Operation bei der chronischen Dysfunktion des distalen Radioulnargelenkes unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitergebnisse. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 35: 164–169
49. Zimmermann R, Gschwentner M, Arora R, Gabl M, Pechlaner S (2003) Klinische Langzeitergebnisse der Kapandji-Sauvé-Operation. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 35: 157–163
50. Sanders RA, Frederick HA, Hontas RB (1991) The Sauvé-Kapandji procedure: a salvage operation for the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am* 16: 1125–1129
51. Nakamura R, Tsunoda K, Watanabe K, Horii E, Miura T (1992) The Sauvé-Kapandji procedure for chronic dislocation of the distal radio-ulnar joint with destruction of the articular surface. *J Hand Surg Br* 17: 127–132
52. Waizenegger M, Schranz P, Barton NJ (1993) The Kapandji procedure for post-traumatic problems. *Injury* 24: 662–666
53. Mikkelsen SS, Lindblad BE, Larsen ER, Sommer J (1997) Sauvé-Kapandji operation for disorders of the distal radioulnar joint after Colles' fracture. *Acta Orthop Scand* 68: 64–66
54. Lamey DM, Fernandez DL (1998) Results of the modified Sauvé-Kapandji procedure in the treatment of chronic posttraumatic derangement of the distal radioulnar joint. *J Bone Joint Surg* 80-A: 1758–1769
55. Schoonhoven J van, Herbert TJ, Krimmer H (1998) Neue Konzepte der Endoprothetik des distalen Radioulnargelenkes. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 30: 387–392
56. Schoonhoven J van, Fernandez DL, Bowers WH, Herbert TJ (2000) Salvage of failed resection arthroplasties of the distal radioulnar joint using a new ulnar head prosthesis. *J Hand Surg Am* 25: 438–446
57. Schoonhoven J van, Herbert TJ, Prommersberger KJ, Krimmer H (2003) Ulnakopfprothese. *Orthop* 32: 809–815
58. Smet L de, Peeters T (2003) Salvage of failed Sauvé-Kapandji procedure with an ulnar head prosthesis: report of three cases. *J Hand Surg Br* 28: 271–273
59. Grechenig W, Peicha G, Fellingner M (2001) Primary ulnar head prosthesis for the treatment of an irreparable ulnar head fracture dislocation. *J Hand Surg Br* 26: 269–271
60. Masaoka S, Longworth SH, Werner FW, Short WH, Green JK (2002) Biomechanical analyses of two ulnar head prostheses. *J Hand Surg Am* 27: 845–853
61. Bowers WH (1991) Instability of the distal radioulnar articulation. *Hand Clin* 7: 311–327