

## Die inverse Schulterendoprothese zur Behandlung der Defektarthropathie

### Reverse Total Shoulder Arthroplasty for the Treatment of Defect Arthropathy

Ludwig Seebauer, Willibald Walter, Werner Keyl<sup>1</sup>

#### Zusammenfassung

##### Operationsziel

Schmerzbefreiung sowie Wiederherstellung der Funktion zerstörter Schultergelenke mit ausgedehnten, nicht rekonstruierbaren Rotatorenmanschettendefekten durch endoprothetischen Ersatz.

##### Indikationen

Jede Defektarthropathie im weiteren Sinne, d.h. jede schmerzhafte Schulterarthropathie mit insuffizienter und nicht rekonstruierbarer Rotatorenmanschette, insbesondere primäre Defektarthropathie, rheumatoide Arthritis mit ausgedehntem Rotatorenmanschettendefekt, Arthropathie nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette, destruktive rheumatoide Arthritis und kristallinduzierte Arthropathie.

Relativ: Versagen einer primären Schulterendoprothese bei irreparabler Rotatorenmanschettenruptur.

##### Kontraindikationen

Strukturelle oder neurogene Läsion des Musculus deltoideus.

Fortgeschrittene Glenoiddestruktion.

Relativ: Alter < 65 Jahre.

##### Operationstechnik

Exposition des Glenoids über einen anterosuperioren oder deltoideopektoralen Zugang. Humeruskopfresektion im epi-metaphysären Übergangsbereich. Vollständige Mobilisation der anterior-inferior-posterioren Kapsel vom Glenoidhals. Präparation des Glenoids für die zementfreie Fixation der Glenoidbasisplatte (Metaglène). Vorbereiten des Humerusschafts für die Implantation der Humeruskomponenten in 0–10° Retroversion. Zementlose oder zementierte Implantation der modularen Humeruskomponenten nach Aufschrauben der Glenosphäre auf die Glenoidbasisplatte.

##### Weiterbehandlung

Thoraxabduktionskissen in 30° Abduktion in der Skapulaebene, 30° Flexion und Neutralrotation für 4–6 Wochen. Frühe funktionelle aktiv-assistive Mobilisation ab dem

#### Abstract

##### Objective

Total shoulder replacement for restoration of function and for pain relief of damaged glenohumeral joint accompanied by extensive irreparable cuff defect.

##### Indications

Any painful shoulder arthropathy with insufficient and irreparable rotator cuff, especially primary defect arthropathy, rheumatoid arthritis with extensive rotator cuff defect, arthropathy after reconstruction of rotator cuff, mutilating rheumatoid arthritis, and crystal-induced arthropathy.

Relative: failure of primary shoulder replacement in the presence of an irreparable cuff defect.

##### Contraindications

Structural or neurogenic lesion of deltoid muscle.

Advanced glenoid destruction.

Relative: age < 65 years

##### Surgical Technique

Anterosuperior or deltopectoral approach. Exposure of glenoid. Resection of humeral head at epi-metaphyseal junction. Complete detachment of anterior, inferior, and posterior capsule from glenoid neck. Preparation of glenoid for cement-free fixation of glenoid base plate (metaglène). Preparation of humeral shaft for implantation of humeral component in 0–10° of retroversion. Screwing of glenosphere to base plate. Insertion of cemented or cement-free modular humeral component.

##### Results

Between 10/1997 and 03/2001, a reverse total shoulder arthroplasty was done in 57 patients (14 men, 43 women; average age 70.1 years). Average follow-up time was 18.2

Operat Orthop Traumatol 2005;17:1–24

DOI 10.1007/s00064-005-1119-1

---

<sup>1</sup>Abteilung für Orthopädie und Sportorthopädie, Städtisches Krankenhaus Bogenhausen, München.

1. postoperativen Tag für 6 Wochen. Bei Refixation des Musculus deltoideus nach anterosuperiorem Zugang keine aktive Abduktion und Flexion gegen Widerstand während der ersten 6 Wochen.

### Ergebnisse

Von 10/1997 bis 03/2001 wurden 57 Patienten (14 männlich, 43 weiblich, Durchschnittsalter 70,1 Jahre) mit einer inversen Schulterendoprothese behandelt. Die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit betrug 18,2 Monate. 98% der Patienten würden die Operation noch einmal durchführen lassen. Der durchschnittliche alters- und geschlechtskorrelierte Constant-Score betrug 94%. Bei nicht voroperierten Patienten lag er sogar bei 97%. Bei allen Patienten konnte eine komplette oder annähernd komplette Schmerzfreiheit erreicht werden. Sofern die Deltamuskulatur durch Voroperationen nicht geschädigt war, ließ sich auch eine gute Verbesserung von Kraft und Funktion erzielen, wobei in den Funktionsparametern mit Ausnahme einer geringen Innenrotationseinschränkung (durchschnittlich L5) alle anderen Parameter altersentsprechend normal waren und bei der Kraftentwicklung in der gehaltenen Abduktion die altersspezifischen Werte in der Regel erreicht wurden. Erosionen am inferioren Glenoidpol („inferiores Glenoidnotching“) wurden im Beobachtungszeitraum nur in erst- oder zweitgradiger Ausprägung beobachtet, jedoch nie bis zur inferioren Schraube oder darüber hinaus reichend (dritt- oder viertgradig). Ebenso trat im Beobachtungszeitraum keine aseptische Lockerung der Glenoidbasisplatte (Metaglène) auf.

### Schlüsselwörter

Schulterendoprothetik · Rotatorenmanschettenmassendefekt · Defektarthropathie · Destruierende Omarthritis · Inverse Schulterprothese · Deltaprothese

### Vorbemerkungen

Bei einem massiven Defekt der Rotatorenmanschette kommt es zum Verlust der dynamischen Stabilisierung des Schultergelenks und zur anterosuperioren Verlagerung des glenohumeralen Drehzentrums. Das Ausmaß dieser Dezentrierung ist abhängig von

- Art und Anzahl der insuffizienten oder defekten Sehnen der Rotatorenmanschette,
- dem Ausmaß der Atrophie der noch vorhandenen Rotatorenmanschettenmuskulatur [4, 5, 24],
- der Destruktion des korakoakromialen Bogens (Forix humeri),
- Art und Ausmaß begleitender Glenoiddestruktionen.

months. 98% of patients would agree to repeat surgery. Average Constant Score adjusted to age and gender was 94%, 97% for patients not having undergone previous surgery. All patients reported complete or almost complete freedom of pain. On the condition that the deltoid muscle was not damaged during previous surgery, a good improvement of power and function could be obtained. All functional parameters were normal for the patient's age with the exception of a slight limitation of internal rotation (average L5). The power of maintained abduction also corresponded in general to age-specific values. Only grade 1 or 2 inferior glenoid notching was observed but never reaching or surpassing the inferior screw (grade 3 or 4); no glenoid base plate loosening.

### Key Words

Total shoulder replacement · Cuff arthropaty · Cuff defect · Advanced glenohumeral osteoarthritis · Reverse shoulder prosthesis · Delta prosthesis

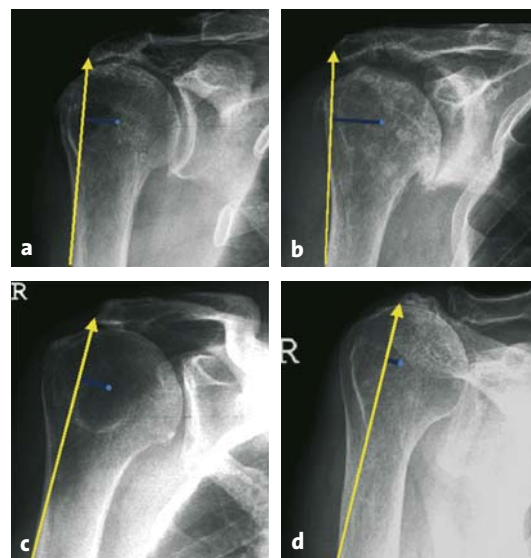
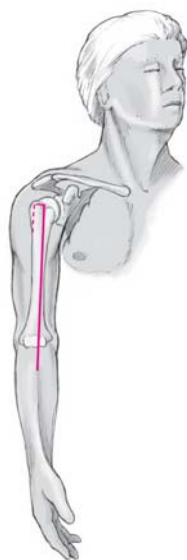
### Introductory Remarks

Massive rotator cuff defects lead to a loss of dynamic glenohumeral stabilization and to an anterosuperior displacement of the glenohumeral center of rotation. The extent of displacement of the center of rotation depends on

- number of tendons affected and their degree of involvement,
- extent of atrophy of the intact muscles [4, 5, 24],
- structural integrity of the coracoacromial arch,
- extent and direction of the accompanying glenoid destruction.

**Abbildungen 1a bis 1d**

Pathomechanisch-funktionelle Klassifikation der Defektarthropathie hinsichtlich Position und Stabilität des glenohumeralen Drehzentrums in vier unterschiedliche Typen. Die Typen unterscheiden in ihrer Prognose nach konventioneller endoprothetischer Versorgung [12, 21–23]. Dargestellt ist der Einfluss der Position des Drehzentrums auf den Hebelarm der Deltamuskulatur in der Abduktionsstartposition (blaue Balken: Hebelarm der Deltamuskulatur, rot: Zugrichtung der Deltamuskulatur).



- a) Ia: Keine superiore Migration des Drehzentrums, stabiles Gelenk durch Azetabularisierung des Fornix humeri und Femoralisierung des Humeruskopfs.
- b) Ib: Keine superiore Migration des Drehzentrums; signifikante mediale Glenoiderosion mit Medialisierung des Drehzentrums.
- c) IIa: Superiore Migration des Drehzentrums, grenzwertige stabile Gelenksituation aufgrund residualer Stabilisierung durch intakten Fornix humeri.
- d) IIb: Superiore Migration des Drehzentrums, anterosuperior instabiles Gelenk.

**Figures 1a to 1d**

Pathomechanical and functional classification of the defect arthropathies in regard to position and stability of the glenohumeral center of rotation in four different types. The differences become apparent either preoperatively after elimination of pain or postoperatively after implantation of a conventional prosthesis [12, 21–23]. The influence of the center of rotation on the lever arm of the deltoid muscle in abduction is shown (blue bar: lever arm of the deltoid muscle; red: pull of the deltoid muscle).

- a) Ia: no superior migration of the center of rotation, stable joint by acetabularization of the coracoacromial arch and femoralization of the humeral head.
- b) Ib: no superior migration of the center of rotation; significant medial glenoid erosion with medialization of center of rotation.
- c) IIa: superior migration of the center of rotation, precarious joint stability assured by intact coracoacromial arch.
- d) IIb: superior migration of the center of rotation, anterosuperior instability.

Durch die anterosuperiore Verlagerung und Instabilität des glenohumeralen Drehzentrums kommt es zur Insuffizienz der Deltamuskulatur. Biomechanische Untersuchungen von Grammont & Baulot [6] haben ergeben, dass eine Verlagerung des glenohumeralen Drehzentrums nach kaudal und medial um jeweils 1 cm zu einer Zunahme des Drehmoments der Deltamuskulatur um 20% und 30% führt.

Wir haben in Ergänzung und im Gegensatz zu Favard et al., die eine deskriptiv-morphologische Klassifikation angeben [3], eine funktionell-biomechanische Einteilung der Defektarthropathien in vier Typen vorgenommen (Abbildungen 1a bis 1d).

Konventionelle, „anatomische“ Prothesen führen bei Defektarthropathien allenfalls zu einer gewissen Schmerzbefreiung. Nicht rekonstruierte oder nicht rekonstruierbare Rotatorenmanschetten und ein geschädigter Fornix humeri ziehen jedoch regelmäßig schlechte funktionelle Ergebnisse nach sich [13, 15, 27, 28]. Auch der Einsatz von großen oder übergroßen

The anterosuperior displacement and the instability of the center of rotation cause an insufficiency of the deltoid muscle. Biomechanical investigations done by Grammont & Baulot [6] have shown that a caudal and medial displacement of the glenohumeral center of rotation by 1 cm each causes an increase in the moment of rotation of the deltoid muscle by 20% and 30%, respectively.

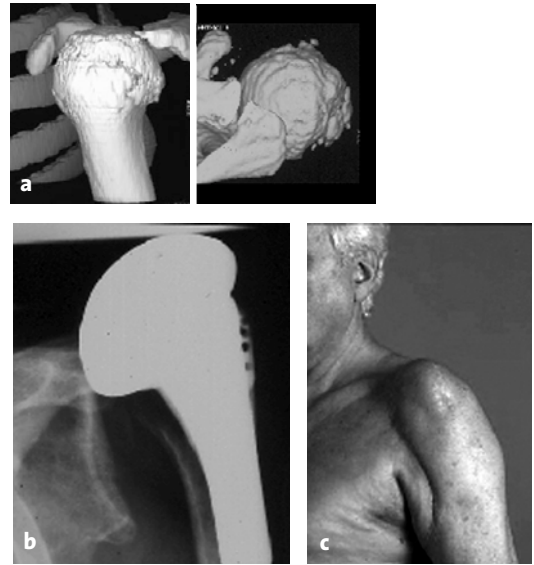
We have modified the purely descriptive, morphologic classification of Favard et al. [3] and established a strictly functional and biomechanical classification of defect arthropathies into four types (Figures 1a to 1d).

For defect arthropathies the use of conventional “anatomic” prostheses leads at best to a certain alleviation of pain. Nonreconstructed or irreparable rotator cuffs and a damaged coracoacromial arch regularly lead to poor functional results [13, 15, 27, 28]. Also the choice of large or oversized heads rarely gives satisfactory results [7]. Constrained prostheses introduced at the end of the 70s and the beginning of the 80s have

**Abbildungen 2a bis 2c**

Maximale anterosuperiore Translation bei Rotatorenmassendefekt und strukturellem Defekt des Fornix humeri.

72-jähriger Mann. Erstoperation: Subakromiale Dekompression und Rekonstruktion der Rotatorenmanschette bei großem Defekt. Sekundär Entwicklung einer Defektarthropathie mit anterosuperiorer glenohumeraler Instabilität aufgrund massiver Reruptur der Rotatorenmanschette. Fehlende kraniale Abstützung des Humeruskopfs durch zu ausgedehnte Akromioplastik (a). Nach Versorgung mit Hemiprothese und erneuter Rekonstruktion der Rotatorenmanschette kam es zu einer erneuten Ruptur mit hochgradiger anterosuperiorer glenohumeraler Instabilität (b, c).



**Figures 2a to 2c**

Maximal anterosuperior translation with cuff defect and structural defect of coracoacromial arch.

72-year-old man. Initial surgery: subacromial decompression and rotator cuff reconstruction for massive defect. Postoperative development of a defect arthropathy with anterosuperior glenohumeral instability secondary to a massive re-tear of the cuff. Absent cranial support for the humeral head due to an extensive acromioplasty (a). After hemiarthroplasty and repeat rotator cuff reconstruction a rerupture occurred with marked anterosuperior glenohumeral instability (b, c).

Köpfen kann nur selten zufriedenstellende Resultate liefern [7]. Geführte („constrained“) Prothesen, die Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre eingesetzt wurden, sind aufgrund der frühzeitigen Lockerungsproblematik der Glenoidkomponente rasch wieder verlassen worden [13, 16, 18]. Auch die funktionellen Ergebnisse nach bipolaren Schulterprothesen [26, 29] sind deutlich heterogener als bei der inversen Prothese [2, 6, 20, 22, 23, 25].

Weder durch Hemi- noch durch bipolare Prothesen lässt sich das Rotationszentrum des Schultergelenks ausreichend weit nach kaudal und medial verlagern und halten. Dies ist jedoch für eine Verbesserung der Deltafunktion notwendig. Selbst bei ausreichender Stabilität des Drehzentrums sind die funktionellen Ergebnisse schlechter als bei der inversen Prothese. Die Implantation einer Hemi- oder bipolaren Prothese führt bei Patienten mit normaler Glenoidanatomie, massivem Rotatorendefekt und insuffizientem Fornix humeri zu einer anterosuperioren Dislokation mit schlechtem funktionellem Ergebnis (Abbildungen 2a bis 2c). Daher können diese Prothesen allenfalls bei Defektarthropathien vom Typ I mit gleichzeitiger zentraler Glenoiderosion (Typ Ib nach unserer Einteilung) hilfreich sein (Abbildungen 3a und 3b). Bei Hemiprothesen mit übergroßem Kopf kommt es sogar zu einer Lateralisierung des Drehzentrums, wodurch sich der Hebelarm und das mögliche Drehmoment der Deltamuskulatur verschlechtern. In der Literatur wird in der Kategorie der guten und sehr guten Ergebnisse

been abandoned on account of early loosening [13, 16, 18]. Also the functional results of the bipolar prostheses [26, 29] are definitively less uniform than of the reverse prosthesis [2, 6, 20, 22, 23, 25].

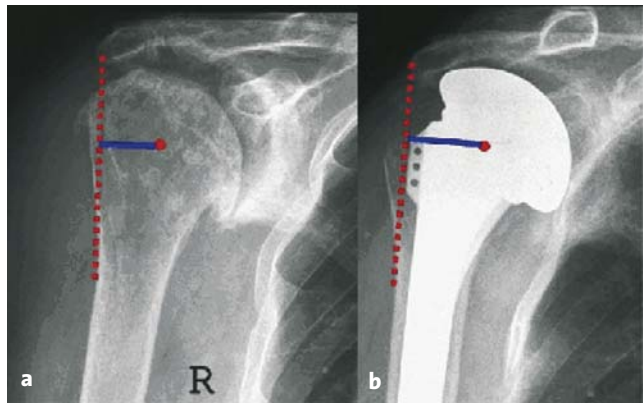
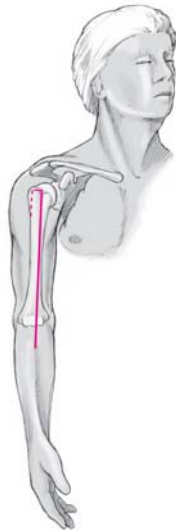
Neither hemiarthroplasties nor bipolar prostheses allow a sufficient caudal and medial relocation of the center of rotation and its maintenance. This, however, is necessary to optimize the function of the deltoid. Even if the normal center of rotation has been restored, the functional results are not as good as those with the reverse prosthesis. The implantation of hemiprotheses or bipolar prostheses in patients with normal glenoid anatomy but with massive rotator cuff defects and inadequate coracoacromial arch leads to an anterosuperior displacement with a poor functional result (Figures 2a to 2c). Therefore, these prostheses can perhaps be of help for type I defect arthropathies accompanied by a central glenoid erosion (type Ib of our classification; Figures 3a and 3b). The use of oversized humeral heads for hemiarthroplasty leads to a lateralization of the center of rotation that causes a deterioration of the lever arm and the moment of rotation of the deltoid muscle. Published reports dealing with hemiarthroplasties or bipolar prostheses list their results as excellent and good, even when the maximal elevation and abduction only reach 110° [7, 29]. Anatomic prostheses lead to superior displacement of the humeral head that invariably occurs in the presence of massive defects; only constrained prostheses can prevent this displace-

**Abbildungen 3a und 3b**

Defekttyp Ib vor (a) und nach konventioneller Hemiprothese (b). Der Hebelarm des Deltamuskels bleibt erhalten oder vergrößert sich sogar etwas durch leichte Medialisierung des Drehzentrums.

**Figures 3a and 3b**

Defect type Ib before (a) and after conventional hemiarthroplasty (b). The lever arm of the deltoid muscle is preserved or increased due to a slight medialization of the center of rotation.



bei der Hemi- und bipolaren Prothese ein maximales Elevations- und Abduktionsausmaß von 110° beschrieben [7, 29]. Bei anatomischen Prothesen kann die superiore Dislokation des Humerkapfels, die bei massiven Defekten (vor allem anterosuperioren) unweigerlich auftritt, nur durch retentive Glenoidkomponenten verhindert werden. Die zentrifugal angreifenden Kräfte führen rasch zur Glenoidlockerung [13–15, 19].

Bei der inversen Prothese wird die anatomische Gelenkrekonstruktion verlassen. Der Deltamuskel wird eingesetzt, um die Abduktion und Flexion zu ermöglichen und gleichzeitig der inversen Gelenkgeometrie eine dynamische Stabilität zu geben (Abbildung 4).

Wir sehen für die Differentialtherapie der Defekarthropathie folgende Kriterien:

*Hemiprothese:*

- Defekttyp Ia (Abbildung 1),
- jüngerer Patient (< 60 Jahre),
- posterosuperiorer Rotatorendefekt,
- Fornix intakt,
- geringere Funktionsansprüche.

*Bipolare Prothese:*

- bei Defekttyp Ib mit ausgeprägter medialer Glenoiderosion.

*Inverse Prothese:*

- Defekttyp IIb,
- Patient > 65 Jahre,
- anterosuperiorer Rotatorendefekt,
- Fornix nicht intakt,
- Glenoidsubstanz ausreichend erhalten,
- hohe Funktionsansprüche (z.B. kontralaterale Parese),
- Defekttyp IIa: relative Indikation; eher bei älteren

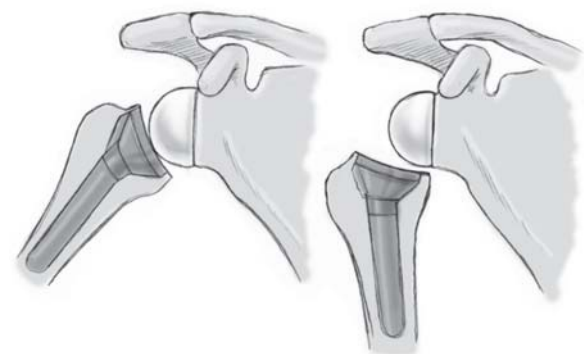
ment. However, the centrifugally acting forces rapidly cause a glenoid loosening [13–15, 19].

The reverse prosthesis abandons the principle of an anatomic joint reconstruction. The deltoid muscle is used for abduction and flexion and at the same time provides a dynamic stability thanks to the inverse joint geometry (Figure 4).

In respect to the choice of prosthetic replacement in instances of defect arthropathies we would like to formulate the following indications:

*Hemiarthroplasty:*

- defect type Ia (Figure 1),
- younger patient (< 60 years),
- posterosuperior cuff defect,
- coracoacromial arch intact,
- lower functional demands.



**Abbildung 4**

Autostabilität der nicht gekoppelten Prothese durch das „Koadaptationsprinzip“.

**Figure 4**

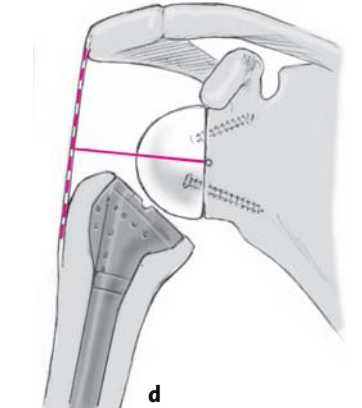
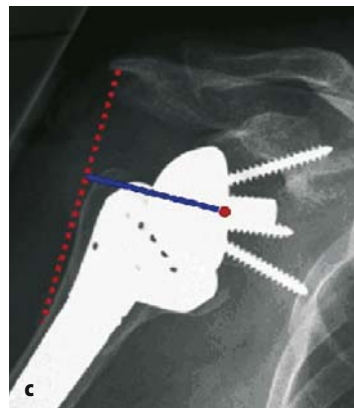
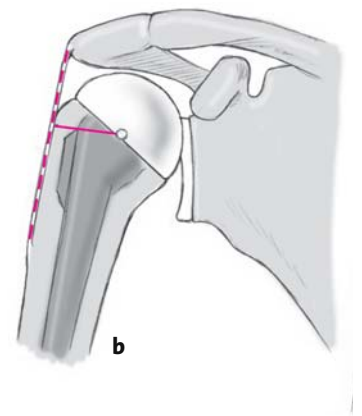
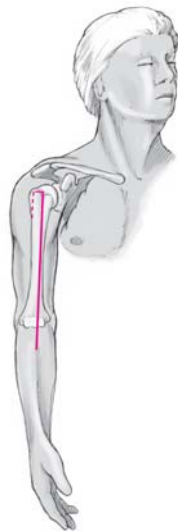
Dynamic stability of the nonconstrained prosthesis thanks to the “Coadaptation Principle”.

**Abbildungen 5a bis 5d**

Optimierung des Hebelarms der Deltamuskulatur (blauer Balken) durch Kaudalisierung und Medialisierung des Drehzentrums: Defektarthropathie Typ Ib mit kurzem Hebelarm der Deltamuskulatur (a).

Schematische Darstellung des Drehzentrums (roter Punkt) und Deltahebelarms (blauer Balken) nach Implantation einer konventionellen Schulterprothese. Biomechanisch ungünstige Situation durch superiore Migration des Humerkopfs mit kranialer Positionierung des Drehzentrums und kurzem Deltahebelarm (b).

Implantation einer Deltaprothese: Die Kaudalisierung und Medialisierung des Drehzentrums durch Invertierung der Konkav-Konvex-Situation führen zu einer deutlichen Vergrößerung des Hebelarms der Deltamuskulatur (dicke Balken, c, d). 1 cm Medialisierung und 1 cm Kaudalisierung bedeuten eine Verbesserung des Deltamuskeldrehmoments um > 30% [6].



**Figures 5a to 5d**

Optimization of the lever arm of the deltoid muscle (blue bar) by caudalization and medialization of the center of rotation: type Ib defect arthropathy with short lever arm of the deltoid muscle (a).

Schematic representation of the center of rotation (red dot) and the deltoid lever arm (blue bar) after implantation of a conventional shoulder arthroplasty. Biomechanically unfavorable situation due to superior migration of the humeral head with cranial displacement of the center of rotation and short deltoid lever arm (b).

Implantation of reverse prosthesis: caudalization and medialization of the center of rotation by inverting the concave-convex relationship lead to a marked increase of the deltoid lever arm (heavy bar, c, d). Medialization by 1 cm and caudalization by 1 cm improve the moment of the deltoid's rotation by > 30% [6].

Patienten oder hohen Funktionsansprüchen.

Die von Grammont & Baulot [6] 1993 erstmals beschriebene inverse Schulterendoprothese (Delta3®) führt unabhängig vom Defektzustand oder Insuffizienzgrad der Rotatorenmanschette durch die Umkehrung der Konkav-Konvex-Situation der Gelenkpartner (Glenoid = hemisphärischer Metallkörper, Humerusepiphyse = konkave Polyethylen-[PE-]Schale) zur Wiederherstellung eines dynamisch stabilen, kaudalisierten und medialisierten Drehzentrums (Abbildungen 5a bis 5d). Dadurch können die Deltakraft verbessert zum Einsatz gebracht und das Schultergelenk weitgehend allein mit dem Musculus deltoideus bewegt werden. Eine Grundvoraussetzung für die Implantation der inversen Prothese stellt daher ein strukturell und neurologisch intakter Deltamuskel dar.

*Bipolar prosthesis:*

– implant of choice for defect type Ib accompanied by marked medial glenoid erosion.

*Inverse prosthesis:*

- defect type IIb,
- older patient (> 65 years),
- anterosuperior cuff defect,
- coracoacromial arch not preserved,
- sufficient glenoid stock,
- high functional demands (such as contralateral paresis),
- defect type IIa: a relative indication; to be used rather for older patients or for patients with high functional demands.

The reverse shoulder prosthesis (Delta3®) first described by Grammont & Baulot [6] in 1993 restores the

Folgende biomechanische Prinzipien sind bei der inversen Prothese verwirklicht:

– *Stabilität des Drehzentrums.*

Es handelt sich im weitesten Sinne um eine „semi-constrained“ Prothese, wobei Grammont & Baulot die Führung der Gelenkpartner als Koadaptation bezeichnen, da das Ausmaß der Konformität der Gelenkflächen und der Führung vom Abduktionsgrad abhängt (Abbildung 4).

– *Optimierung der Position und Stabilität des Drehzentrums.*

Der Deltamuskel wird in die Lage versetzt, im gesamten glenohumeralen Bewegungsumfang seine optimale Wirkung zu erzielen. Durch die Kaudalisierung und Medialisierung des Drehzentrums kommt es gerade in der Abduktionsstartphase zu einer deutlichen Verbesserung des Deltahebelarms und -drehmoments. Der Hebelarm der Deltamuskulatur für die Abduktionsstartphase wird im Vergleich zum präoperativen Zustand oder bei Versorgung mit konventioneller Hemiprothese mehr als verdoppelt (Abbildung 5b). Nach Grammont & Baulot [6] führen 1 cm Kaudalisierung und Medialisierung zu einer Zunahme des Drehmoments um 20–30%. In der Abduktionsendposition stabilisiert der Musculus deltoideus die Schulter so weit, dass der in der Regel noch vorhandene inferiore Anteil des Musculus infraspinatus und Musculus teres minor eine außenrotatorische Komponente entfalten kann. In der Adduktionsposition wird die fehlende Außenrotationskraft des Musculus infraspinatus z.T. durch die posterioren Deltaanteile gewährleistet [17].

– *Autostabilität (= dynamische Stabilität).*

Durch die Invertierung der Konkav-Konvex-Situation werden die normalerweise zentrifugal in Relation zum Drehzentrum angreifenden Deltakräfte in zentripetale Kräfte auf das Glenoid und die Skapula hin umgeformt [6].

center of rotation to its stable medial and caudal position. This restoration is independent of the condition of the defect and the degree of insufficiency of the rotator cuff thanks to a reversal of concave-convex relationship of the joint partners (glenoid = metal hemisphere, humeral head = polyethylene [PE] cup; Figures 5a to 5d). This improves the power of the deltoid allowing a movement of the shoulder by this muscle alone. A prerequisite for the implantation of the reverse prosthesis is a structurally and neurologically intact deltoid muscle.

The following biomechanical principles have been realized by the reverse prosthesis:

– *Stability of the center of rotation.*

In a broader sense we deal with a semiconstrained prosthesis. The play between the joint partners is called, by Grammont & Baulot, “coadaptation”, as the degree of conformity of the joint surfaces and their movements depend on the degree of abduction (Figure 4).

– *Optimization of the position of the center of rotation and its stability.*

The deltoid muscle can exert its optimal effect through the entire range of the glenohumeral motion. The Delta prosthesis causes a caudalization and medialization of the center of rotation and thus improves the lever arm and the moment of rotation, particularly at the beginning of abduction. The lever arm of the deltoid muscle at the beginning of abduction in comparison to the preoperative condition or to the use of a conventional hemiprosthesis is more than doubled (Figure 5b). According to Grammont & Baulot [6] 1 cm of caudalization and medialization increases the moment of rotation by 20–30%. In the end position of abduction the deltoid muscle stabilizes the shoulder to a point where the teres minor, if present, exerts a function as an external rotator. In the position of adduction the power of external rotation lost by the absence of the infraspinatus is taken over only partly by the posterior part of the deltoid [17].

– *Dynamic stability.*

The inversion of concave-convex relationship allows to change the direction of centrifugal forces of the deltoid normally acting on the center of rotation into centripetal forces acting on glenoid and scapula [6].

### Operationsprinzip und -ziel

Schmerzbefreiung sowie Wiederherstellung von Funktion und Kraft zerstörter Schultergelenke mit ausgedehnten, nicht rekonstruierbaren Rotatorenmanschettendefekten durch inversen endoprothetischen Ersatz mit Umkehrung der Konkav-Konvex-Situation der Gelenkpartner (Abbildung 6). Der Deltamuskel wird in die Lage versetzt, im gesamten glenohumeralen Bewegungsumfang seine optimale Wirkung zu erzielen.

### Surgical Principles and Objective

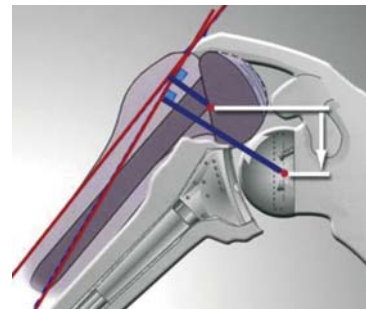
Implantation of a prosthesis reversing the concave-convex relationship of the joint partners for relief of pain and restoration of function and power of the destroyed glenohumeral joint accompanied by a massive irreparable defect of the rotator cuff (Figure 6). This allows the deltoid muscle to exert an optimal function during the entire glenohumeral range of motion.

### Abbildung 6

Signifikante Kaudalisierung und Medialisierung der Drehzentrens durch Invertierung der Konkav-Konvex-Situation und signifikante Vergrößerung des Hebelarms der Deltamuskulatur (blaue Balken).

### Figure 6

Significant caudal and medial shift of the center of rotation by reversal of the concave-convex relationship. Significant increase of the lever arm of the deltoid (blue bars).



### Vorteile

- Gute funktionelle Ergebnisse trotz defekter Rotatorenmanschette.
- Rettungsoperation bei Versagen konventioneller Schulterprothesen mit begleitender Rotatorensuffizienz.
- Alternative zur Arthrodesis bei erhaltener Deltamuskulatur und intaktem Nervus axillaris.

### Nachteile

- Anspruchsvolle Operationstechnik.
- Gefahr einer Läsion des Nervus axillaris.
- Keine Langzeitergebnisse bekannt.

### Indikationen

- Defektarthropathien des Typs IIb nach unserer Einteilung, bei denen die Destruktion und Degeneration der Gelenkpartner von einem massiven, nicht rekonstruierbaren Rotatorenmanschettendefekt begleitet sind. Für die Indikation spielt die zugrundeliegende Ätiopathologie keine entscheidende Rolle, ausschlaggebend ist einzig das Ausmaß der Dezentrierung und Destabilisierung des glenohumeralen Drehzentrums. Die häufigsten Ätiopathologien sind
  - primäre Defektarthropathie,
  - rheumatoide oder psoriatische Arthritis mit ausgedehntem Rotatorenmanschettendefekt,

### Advantages

- In spite of a rotator cuff defect good functional results can be expected.
- Revision surgery possible after failed conventional shoulder prosthesis in the presence of a nonfunctional cuff.
- An alternative to an arthrodesis as long as deltoid muscle and axillary nerve remain intact.

### Disadvantages

- Technically demanding surgery.
- Risk of damaging the axillary nerve.
- Long-term results still outstanding.

### Indications

- Type IIb defect arthropathy according to our classification including all affections in which the glenohumeral joint is either destroyed or degenerated and accompanied by a massive, irreparable tear of the cuff. The underlying etiopathology is of no crucial importance to the surgical indication. Only the degree of decentralization and loss of stability of the glenohumeral center of rotation are of prime importance. The most important etiopathologies are:
  - primary defect arthropathy,
  - rheumatoid or psoriatic arthritis with extensive cuff defect,



- Arthropathie nach Rekonstruktionsversuch der Rotatorenmanschette,
- destruktive rheumatoide Arthritis,
- kristallinduzierte Arthropathie (Milwaukee-Schulter) [11].

#### Relativ

- Defektarthropathie Typ IIa unter Berücksichtigung des individuellen funktionellen Anspruchs und des Alters des Patienten. Ältere Patienten (> 70 Jahre) und Patienten mit hohen funktionellen Ansprüchen (z.B. kontralaterale Hemiparese) sollten eher mit einer inversen Prothese als mit einer konventionellen Hemiprothese behandelt werden.
- Revision herkömmlicher Prothesen mit funktionell relevanten, nicht rekonstruierbaren Rotatorenmanschettendefekten.

#### Kontraindikationen

- Strukturelle oder neurogene Defekte der Deltamuskulatur.
- Ausgedehnte Glenoiddestruktion ohne ausreichende Knochensubstanz zur Verankerung der Metaglene. Das bedeutet in der Regel eine zentrale Erosion über die mediale Korakoidbasis hinaus.
- Typ-Ib-Defekte mit massiver zentraler Glenoiderosion.

#### Relativ

- Alter < 65 Jahre.

#### Patientenaufklärung

- Allgemeine Operationsrisiken.
- Läsion des Nervus axillaris.
- Lockerung des Implantats.
- Gelenkluxation.
- Dehiszenz des Musculus deltoideus mit entsprechender Funktionsbehinderung.
- Bluttransfusion.
- Dauer des stationären Aufenthalts 10–14 Tage.
- Anschlussheilbehandlung (AHB) für 3–4 Wochen.
- Intermittierende temporäre Ruhigstellung auf Thoraxabduktionskissen für ca. 6 Wochen.
- Nach Abschluss der AHB weitere Krankengymnastik zwei- bis dreimal pro Woche zur Kräftigung der Deltamuskulatur.
- Funktioneller Endzustand durch Kraftzuwachs der Deltamuskulatur in der Regel nach 9–12 Monaten erreicht.
- Noch keine Langzeitergebnisse bekannt.

- cuff arthropathy after attempted reconstruction of the rotator cuff,
- mutilating rheumatoid arthritis,
- crystal-induced arthropathy (Milwaukee shoulder) [11].

#### Relative

- Type IIa defect arthropathy taking the individual functional demands and the patient's age into consideration. Older patients (> 70 years) and patients with high functional demands as seen in patients with contralateral hemiparesis should be treated with a reverse prosthesis rather than with a conventional hemiprosthesis.
- Revision of conventional prosthesis with irreparable cuff defects affecting the function.

#### Contraindications

- Structural or neurogenic lesion of deltoid muscle.
- Advanced glenoid destruction without sufficient bone stock for anchorage of the metaglene. This means in general a central erosion extending over the medial base of the coracoid.
- Type Ib defect with massive central glenoid erosion.

#### Relative

- Age < 65 years.

#### Patient Information

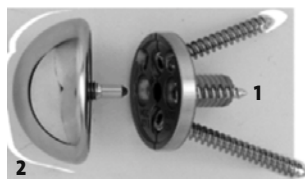
- Usual surgical risks.
- Risk of damage to axillary nerve.
- Loosening of implants.
- Dislocation.
- Dehiscence of deltoid with corresponding functional deficits.
- Possible need for blood transfusion.
- Length of hospital stay: 10–14 days.
- Intensive rehabilitation for 3–4 weeks.
- Intermittent temporary immobilization on an abduction pillow for 6 weeks followed by physiotherapy two to three times a week to strengthen deltoid muscle.
- Functional end result can only be expected after 9–12 months, when the deltoid muscle has reached its maximal strength.
- Long-term results still outstanding.

### Operationsvorbereitungen

- Analyse der Deltafunktion in allen drei Anteilen (Pars clavicularis, Pars acromialis, Pars spinalis).
- Selektive elektromyographische Analyse aller drei Anteile bei Voroperationen oder nach Schulterverletzungen.
- Exakte Erfassung der passiven und aktiven Bewegungsumfänge.
- Röntgenaufnahmen der Schulter: anteroposterior (a.p.; „true“ = Grashey-Aufnahme), „outlet“, axial.
- Funktionsaufnahmen unter Belastung (Abduktion/Flexion gegen Widerstand) bei fraglicher Instabilität des Drehzentrums.
- Computertomographie (CT) bei fraglicher Glenoiddestruktion oder Erosion.
- Magnetresonanztomographie (MRT) bei relativer Indikation, kurzer Anamnesedauer und jüngeren Patienten zur Feststellung der Rekonstruierbarkeit der Rotatorenmanschette.
- Größenbestimmung und Planungsskizze mit Hilfe von Planungsschablonen.

### Instrumentarium und Implantate

- Standardinstrumente für Schultereingriffe.
- Zwei Subskapularisretraktoren.
- Zwei spitze und zwei stumpfe Hohmann-Hebel.
- Oszillierende Säge.
- Modulare Schaft- und Glenoidprothesen Delta3<sup>®</sup> (Fa. DePuy, Mellinweg 16, 66280 Sulzbach; Abbildung 7).
- Prothesenspezifisches Instrumentarium und Probeimplantate der Delta3<sup>®</sup>-Prothese (Fa. DePuy; Abbildung 8).



**Abbildung 7**

Modulare Schaft- und Glenoidkomponenten der Delta3<sup>®</sup>-Prothese.

Metaglène an der Rückseite mit Hydroxylapatit beschichtet (1) und Glensphäre (Durchmesser 36 oder 42 mm; 2) mit Kegel- und Schraubverbindung zur Metaglène.

Modulares Schaftimplantat mit Polyethylen-Inlay (3) sowie Metaphyse (36/1, 36/2, 42/2; 4) und Diaphyse (Schaftdurchmessergrößen 1–4, Längen 100, 150 und 180 mm; 5). Jeweils zementlose Version mit Hydroxylapatit beschichtet und zementierbare Module.

### Preoperative Work Up

- Analysis of the function of all three parts of the deltoid muscle (clavicular, acromial, and scapular part).
- In instances of previous surgery or shoulder injuries selective electromyography of all three parts.
- Documentation of passive and active range of motion.
- Radiographs: true anteroposterior (AP; true = Grashey view), outlet view, axial view.
- AP view in abduction/flexion against resistance, if the stability of the center of rotation is uncertain.
- Computed tomography (CT), if extent of glenoid destruction or erosion is uncertain.
- In instances of relative indications, short duration of history, and in younger patients an arthro-MRI (magnetic resonance imaging) is indicated to assess the chances of successful reconstruction of the cuff.
- Determination of size of components and preoperative planning with the help of templates.

### Surgical Instruments and Implants

- Standard shoulder set.
- Two subscapularis retractors.
- Two pointed and two blunt Hohmann retractors.
- Oscillating saw.
- Special instruments and trial implants for the Delta3<sup>®</sup> prosthesis (DePuy Co., Mellinweg 16, 66280 Sulzbach, Germany; Figure 7).
- Implant-specific instruments and trials of the Delta3<sup>®</sup> (DePuy Co.; Figure 8).



**Figure 7**

Modular humeral and glenoid components of the Delta3<sup>®</sup> prosthesis.

The back of the metaglène coated with hydroxyapatite (1) and glensphere (diameter 36 or 42 mm; 2) with peg and screw for connection with the metaglène.

Modular shaft component with polyethylene inlay (3) as well as metaphyseal part (36/1, 36/2, 42/2; 4) and diaphyseal part (shaft diameter sizes 1–4, lengths 100, 150, and 188 mm; 5). Cementless version coated with hydroxyapatite and module for cementing.

### Abbildungen 8a bis 8i

Spezifische Instrumente der Delta3®-Prothese.

Instrumente zur Glenoidpräparation.

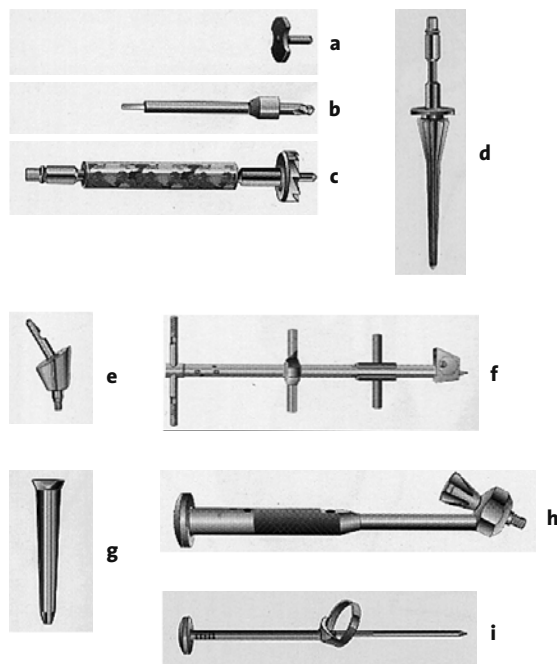
- a) Positionsschablone Metaglene.
- b) Kanülierter Bohrer.
- c) Glenoidflächenfräse/Glenoidrandfräse.
- d) Diaphysenfräse.
- e) Metaphysäre Fräsführung.
- f) Setzinstrument für metaphysäre Fräsführung.
- g) Diaphysäres Probeimplantat.
- h) Setzinstrument für humerale Probeprotthese und definitive Prothese.
- i) Kopfresektionslehre.

### Figures 8a to 8i

Special instruments for Delta3® prosthesis.

Instruments for glenoid preparation.

- a) Template for positioning of metaglene.
- b) Cannulated drill bit.
- c) Glenoid surfacing rasp/glenoid grooving rasp.
- d) Distal humeral reamer.
- e) Proximal humeral reamer.
- f) Seating instrument for proximal reamer guide.
- g) Diaphyseal trial.
- h) Seating instruments for humeral trial and final prosthesis.
- i) Humeral resection guide.



### Anästhesie und Lagerung

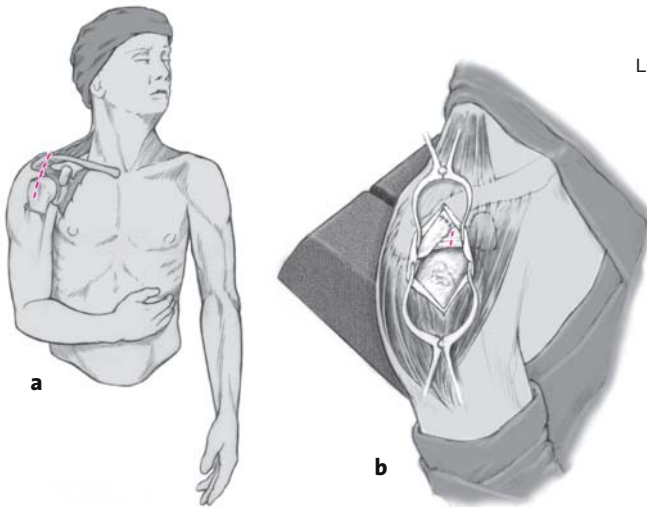
- Vollnarkose oder Kombinationsnarkose aus interskalenärer Plexusblockade und Vollnarkose. Bei anästhesiologischen Hochrisikopatienten auch Regionalanästhesie möglich.
- Lagerung in Beach-Chair-Position mit Oberkörpererhöhung auf ca. 45°. Arm muss durch spezielle Operationstischaussparung oder Lagerung an den Tischrand im Schultergelenk hyperextendierbar und adduzierbar sein.

### Anesthesia and Positioning

- General anesthesia or combination of interscalene block with sedation, in high-risk patients interscalene block alone.
- Beach-chair position, upper body angled by 45°. Position of arm at the edge of the table or using a table with a special gap allowing the shoulder to be hyperextended and adducted.

## Operationstechnik

Abbildungen 9 bis 18



**Abbildungen 9a bis 9c**

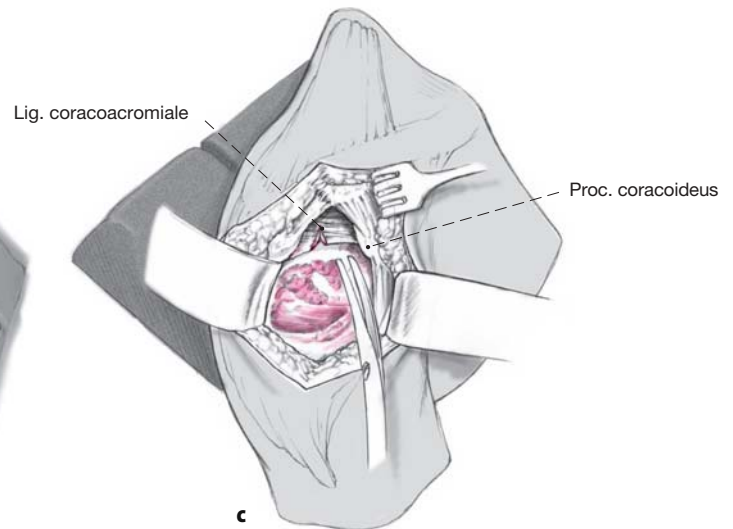
Anterosuperiorer Zugang zum Schultergelenk nach Mackenzie [9].

Hautschnitt über dem anterosuperioren Bereich der Schulter auf ca. 8 cm Länge (a). Längsspaltung des Musculus deltoideus am Übergang der Pars clavicularis zur Pars acromialis vom Akromioklavikulargelenk nach distal zunächst auf ca. 4 cm Länge. Die beiden Muskelanteile sind in der Regel durch eine Fettrappe getrennt. Hierbei werden die ventralen Muskelsehnen- und Faszienstrahlungen subperiostal vom Akromion abgeschoben (b).

Das Ligamentum coracoacromiale wird so akromionnah wie möglich, evtl. mit Knochenschuppe, abgesetzt und *nicht* reseziert (c). Das oberflächliche und tiefe Blatt der Deltafaszie müssen sorgfältigst geschont und unbedingt im Verbund mit den nach ventrokaudal abgeschobenen Deltamuskelanteilen belassen werden; nur so ist später eine sichere, stabile Refixation möglich. Nach Eröffnung der Bursa subdeltoidea Resektion von pathologisch veränderten Bursaanteilen, stumpfe Mobilisation von Verwachsungen in den Bursae subacromialis und subdeltoidea sowie Identifikation der inferioren Umschlagfalte der Bursa subdeltoidea und Palpation des direkt an der Bursaumschlagfalte zirkulär um den Oberarm verlaufenden Nervus axillaris [8]. Störende Traktionsosteophyten an der Akromionspitze werden sparsam, nur so weit wie zur Exposition nötig, abgetragen. Das Akromion darf maximal bis auf das Niveau der Klavikulavorderkante gekürzt werden.

## Surgical Technique

Figures 9 to 18

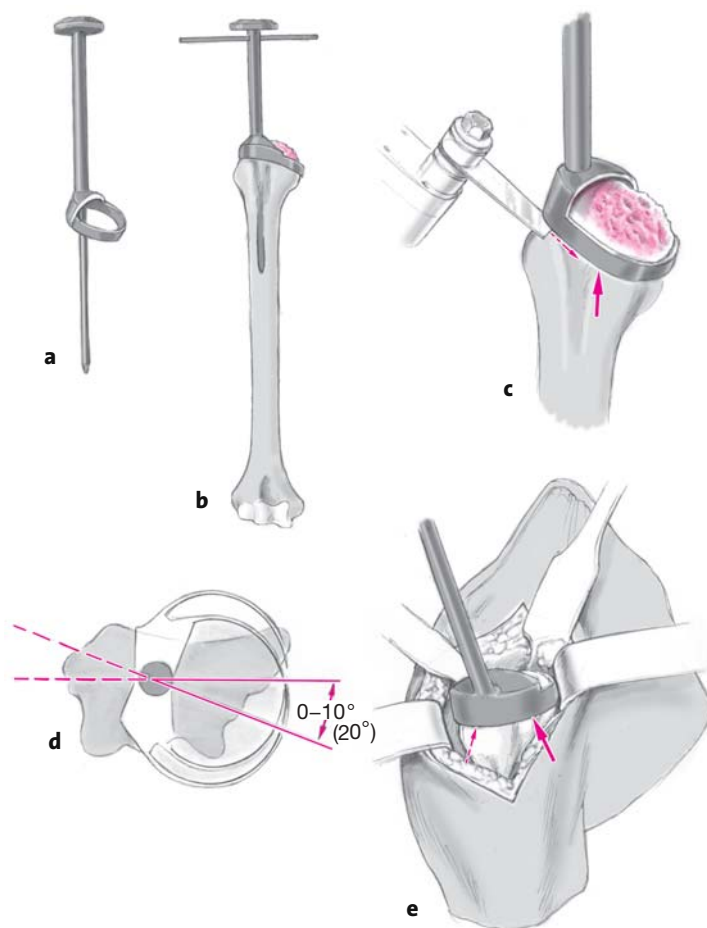


**Figures 9a to 9c**

Anterosuperior approach (Mackenzie approach [9]).

8 cm long skin incision over the anterosuperior aspect of shoulder (a). Longitudinal splitting of deltoid between clavicular and acromial parts (generally recognizable by a fat streak) starting from the acromioclavicular joint in a distal direction initially for 4 cm. The muscle and fascia insertions of the deltoid are detached subperiosteally from the acromion (b).

The coracoacromial ligament is detached as close to the acromion as possible, preferably with a bony chip, but *not* resected (c). The superficial and deep deltoid fasciae must be spared at all costs and not be detached from the reflected parts of the deltoid muscle. Only in doing so is a later safe and stable reattachment possible. Opening of the bursa and resection of pathologically altered bursal tissues as well as a blunt freeing of intrabursal adhesions. Identification of the inferior recess of the subdeltoid bursa and palpation of the axillary nerve lying exactly at this level [8]. Traction spurs at the tip of the acromion are only resected to allow proper exposure. The acromion can be shortened maximally up to the level of the anterior border of the clavicle.

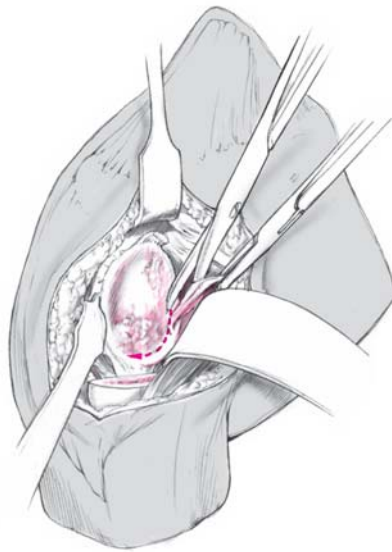


**Abbildungen 10a bis 10e**

Humeruskopfresektion mit der oszillierenden Säge. Der Humerkopf wird mit Hilfe einer intramedullär geführten Resektionslehre reseziert (a, b). Die Resektionsebene wird *nicht* nach der physiologischen Retroversion der Kopfachse ausgerichtet (c). Wir wählen eine nicht anatomische Retroversion zwischen 0° und 10° (20°), um einen möglichst großen Innenrotationsumfang zu erzielen (d). Das Ausmaß der Retroversion sollte so gewählt werden, wie es die knöcherne ventrale Metaphysenbegrenzung (Tuberculum minus) zulässt (e, durchgehender Pfeil). Die Resektionshöhe im Bereich der anterolateralen Kopfkumferenz liegt im Bereich der lateralen Begrenzung der ehemaligen Supraspinatusinsertion (e, gestrichelter Pfeil).

**Figures 10a to 10e**

Resection of humeral head with the oscillating saw. The resection of the humeral head is done with the help of the humeral resection guide (a, b). The plane of resection is *not* based on the physiologic retroversion of the head (c). To obtain a maximal internal rotation, a nonanatomic retroversion between 0° and 10° (20°) is chosen (d). The anterior edge of the lesser tuberosity determines the extent of retroversion (e, solid arrow). The level of resection at the anterolateral head circumference lies just lateral to the border of the former supraspinatus insertion (e, hatched arrow).



**Abbildung 11**

Anterior-inferior-posteriore Kapselmobilisation und -resektion. Subperiostales Einschneiden des Labrums am Glenoidrand und subperiostales Abschieben um ca. 1 cm nach medial zirkumskript um den Glenoidhals, so dass die knöcherne Glenoidgeometrie durch Palpation genau identifiziert werden kann. Inferior wird bis zur Sehneneinstrahlung des Caput longum des Musculus triceps präpariert (→). Palpation der Margo lateralis scapulae. Bei ausgeprägten präoperativen Kontrakturen muss eine selektive oder totale Kapsulektomie durchgeführt werden. Der Verlauf des Nervus axillaris muss vorher genau identifiziert werden; dies geschieht am besten durch Aufsuchen des Nervs an der anteroinferioren Begrenzung des Musculus subscapularis, indem mit dem Finger von lateral vorsichtig nach medial palpierend vorgegangen wird. Ist der Nerv narbig verwachsen, sollte er mit größter Vorsicht vom Abgang aus dem Plexus brachialis so weit als möglich nach posterior im Recessus axillaris unter visueller Kontrolle neurolysiert werden. Im weiteren operativen Verlauf muss er durch Langenbeck-Haken zurückgehalten und geschützt werden.

Um die Kaudalisierung des glenohumeralen Drehzentrums zu ermöglichen, ist das inferiore Weichteilrelease von entscheidender Bedeutung. Für die Langzeitstabilität des Glenoidimplantats ist, zur Vermeidung von postoperativen Scher- und Druckkräften, eine ausgedehnte inferiore Kapselmobilisation unerlässlich. Bei ausgeprägten Kontrakturen sind eine doppelseitige (Collum anatomicum und Glenoidrand) Mobilisation und ggf. auch Kapsulektomie notwendig. Die Kaudalisierung des Humerus muss so weit möglich sein, dass der gedachte Humeruskopffäquator spannungsfrei auf Höhe des Glenoidäquators gebracht werden kann. Die Exposition des Glenoids durch Einsatz eines gabelförmigen Hohmann-Retraktors am Tuberculum infraglenoidale muss ohne großen Kraftaufwand ebenfalls möglich sein.

Die Darstellung der Korakoidbasis und des Tuberculum supraglenoidale sowie der Insertionszone des Musculus triceps (Tuberculum infraglenoidale) zur genauen Identifikation der superioren und inferioren Pole der Glenoidellipse ist ebenfalls wichtig.

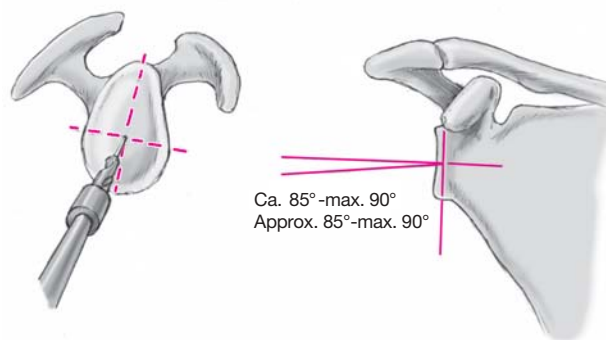
**Figure 11**

Anterior, inferior and posterior detachment and resection of the capsule.

Subperiosteal notching of the labrum at the glenoid edge and its subperiosteal circumferential freeing around the neck of the glenoid in a medial direction over a distance of approximately 1 cm. This allows assessment of the shape of the glenoid through palpation. Inferiorly, the dissection extends to the fibers of the long head of the triceps (→). Palpation of the lateral scapular border. If contractures are extensive preoperatively, a selective partial or complete capsulectomy must be done. First, the course of the axillary nerve has to be identified; this is best done by palpating the nerve at the anteroinferior border of the subscapularis tendon/muscle from lateral to medial. In the presence of adhesions, a neurolysis done with utmost care under visual control is started as posterior as possible in the axillary recess where the nerve branches off the brachial plexus. During the remaining surgical procedure the nerve is retracted and protected with a Langenbeck retractor.

Only through an inferior soft-tissue release can the glenohumeral center of rotation be displaced caudally. In addition, this release will avoid postoperative shear and compression forces thus guaranteeing a long-term stability of the glenoid component. In the presence of contractures, a bilateral (anatomic neck and glenoid border) mobilization and, if needed, resection of the capsule are necessary. To achieve the caudal displacement of the humerus, the maximal circumference of the imagined humeral head must lie without tension at the middle of the glenoid. Insertion of a two-pronged Hohmann retractor at the infraglenoid tubercle helps to expose the glenoid without applying undue force.

For the proper identification of the superior and inferior pole of the glenoid it is important to expose the base of the coracoid and the supraglenoid tubercle as well as the site of insertion of the long head of the triceps (infraglenoid tubercle).



**Abbildung 12**

Festlegung des zentralen Bohrlochs und Einbringen des Führungsdrahts.

Bei normaler Glenoidanatomie wird der Glenoidmittelpunkt durch den Schnittpunkt der beiden Ellipsenachsen festgelegt. Der Eintrittspunkt ist so zu wählen, dass die Fräsung mit der Randfräse, mit einem Durchmesser von 36 oder 42 mm, kaudal mit dem Glenoid in Höhe der Trizepsinsertion abschließt (s. Abbildung 13). Bei veränderter Glenoidanatomie empfiehlt es sich, durch präoperative CT-Schnitte und intraoperative Palpation des Glenoidhalses und -korpus eine Vorstellung über Glenoidausrichtung und -geometrie zu gewinnen.

Der zentrale Führungsdraht sollte in allen Ebenen senkrecht auf der Glenoidfläche stehen. Bei ausreichender Knochensubstanz und normaler Glenoidanatomie sollte der Draht etwa 5° nach anterior und inferior geneigt werden. Eine Neigung des Führungsdrahts nach kranial muss in jedem Fall vermieden werden. Bei pathologischer Glenoidanatomie sollte der Draht exakt im Verlauf der zentralen Glenoidachse zu liegen kommen. Würde dies einseitig zu einer stärkeren Wegnahme von Knochensubstanz führen, kann eine Korrektur des Führungsdrahts um ca. 5–10° in Richtung der Defektzone vorgenommen werden. Dies führt allerdings bei posteriorer Verkipfung zu einem gewissen Verlust des postoperativen Rotationsausmaßes. Bei größeren Defekten muss das Glenoid entweder mit kortikospongiösem Knochen aufgebaut oder von der Implantation einer Deltaprothese abgesehen werden.

**Figure 12**

Determination of the site of the central drill hole and insertion of the guide pin.

Normally, the glenoid midpoint is determined by the intersection of both glenoid elliptic axes. In any event, the point of entry of the glenoid grooving rasp must lie sufficiently caudal so that the reaming (depending on size, 36 or 42 mm) takes place close to the triceps' insertion (see Figure 13). If pathologic changes have altered the glenoid anatomy, we recommend using preoperative CT cuts and intraoperative palpation of the glenoid neck or body to assess orientation and geometry of the glenoid.

The central guide pin is positioned in such a way that it lies perpendicular to the surface of the glenoid in all planes. On the condition that the bone stock is adequate and the glenoid anatomy normal, the pin is angulated by approximately 5° anteriorly and inferiorly. Any cranial angulation must definitively be avoided. In the presence of a pathologically altered glenoid anatomy, the pin should follow exactly the central glenoid axis. If such a procedure risks the removal of too much bone, the direction of the guide pin can be changed by approximately 5–10° in direction of the defect area. Should this entail a posterior tilt, a certain loss of postoperative degree of rotation may result. Major glenoid defects may necessitate the use of a corticocancellous graft or the abandon of the Delta prosthesis' use.

**Abbildung 13**

Fräsung der subchondralen Auflagefläche für die Metaglène (Glenoidbasisplatte). Bohren des zentralen Führungslochs mit einem kanülierten Bohrer über den Positionsdraht und Präparation des Knochenbetts mit der planen Fräse so tief, dass die Metaglène ringförmig mit mindestens 5 mm Breite zirkumskript gut auf kortikospongiossem Knochen aufliegt. Falls es der Durchmesser und die Knochensubstanz des Glenoids zulassen, wählen wir die Komponentengröße 42. Um ein späteres Anstoßen der humeralen Prothesenkomponente mit Knochenerosion am Tuberculum infraglenoidale und an der Margo lateralis scapulae („inferiores Notching“) zu vermeiden, ist auf eine ausreichend kaudale Positionierung und eventuelle Abtragung von Osteophyten am inferioren Glenoidpol zu achten.



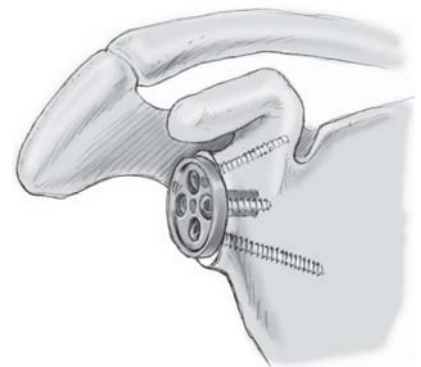
**Figure 13**

Reaming of the subchondral support area for the metaglène (glenoid base plate). The central guide hole is drilled with a cannulated stop drill over the guide pin followed by the glenoid surfacing rasp for the preparation of a smooth subchondral bone surface. The reaming must be done in such a fashion that the ring of the metaglène rests on the corticocancellous bone circumferentially with a width of 5 mm. If the diameter of the glenoid and its bony quality allow, the component size 42 should be selected. To avoid a later impingement between the humeral component on one side and the erosions of the infraglenoid tubercle and the lateral margin of the scapula (inferior notching) on the other side, one should adhere to a sufficiently caudal positioning of the metaglène and the possible removal of osteophytes from the inferior glenoid pole.

**Abbildung 14**

Einbringen der Metaglène.

Die Basisplatte wird immer zementlos fixiert. Der zentrale Führungszapfen, der etwas dicker als das zentrale Bohrloch ist und somit einen Pressfit erzeugt, sowie die Rückseite sind mit Hydroxylapatit beschichtet. Der Zapfen wird exakt achsgerecht aufgesetzt, und die Platte wird in Richtung des Glenoids eingetrieben geklopft. Zur zusätzlichen Befestigung verwendet man vier Spongiosaschrauben; die kraniale und die kaudale Schraube verlaufen divergierend und sind winkelstabil, die anteriore und die posteriore Schraube werden konvergierend eingebracht. Die inferiore Schraube sollte möglichst lange intraossär in der Margo lateralis scapulae verlaufen, und die superiore Schraube sollte den festen Knochen der Korakoidbasis treffen.



**Figure 14**

Insertion of the metaglène.

The metaglène is inserted without cement. The central peg is always bigger than the central drill hole thus allowing a certain press fit. The surface of the metaglène facing the bone and the peg are coated with hydroxyapatite. It is important that the peg is exactly positioned into the hole. The plate is then driven into the glenoid with slight hammer blows. For additional fixation four cancellous bone screws are used. The cranial and caudal screws are inserted divergently, their heads ensuring an angular stability. The anterior and posterior screws converge. The intraosseous course of the inferior screw should be as long as possible along the lateral border of the scapula, and the superior screw should find a stable purchase in the base of the coracoid.



**Abbildung 15**

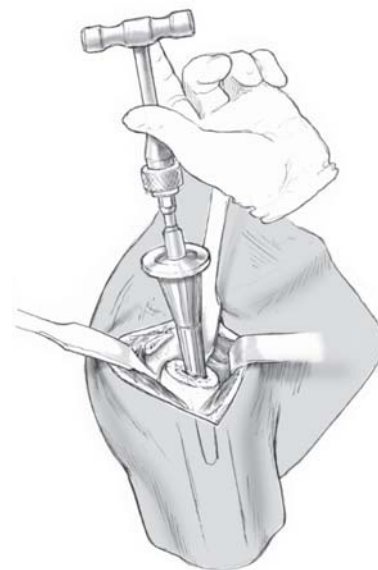
Auffräsen der Humerusdiaphyse.

Mit Diaphysenfräsen aufsteigender Größe wird der Schaft aufgefräst, bis entweder distal Kortikaliskontakt oder proximal der maximale metaphysäre Durchmesser in Höhe der Resektionsebene erreicht ist. Wird ein distaler Kortikaliskontakt selbst mit der größten Fräse (Nr. 4) nicht erreicht, sollte die Implantation *zementiert* vorgenommen werden.

**Figure 15**

Reaming of the humeral medullary canal.

Progressive widening of the canal with humeral reamers either until a cortical contact is achieved distally or until the maximal metaphyseal diameter at the level of the plane of resection has been reached proximally. If a distal cortical contact cannot be achieved with the biggest reamer (#4), the humeral component should be *cemented*.



**Abbildungen 16a und 16b**

Metaphysenpräparation.

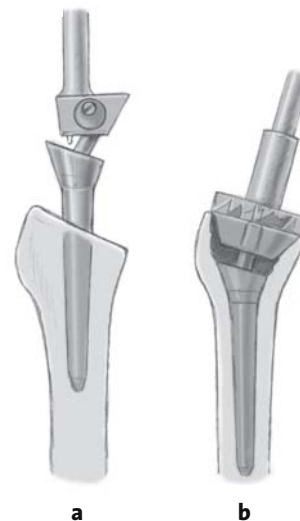
Nach Einbringen der Führungsschablone, die sich aus dem Kopfteil und dem diaphysären Führungsteil (Größe je nach vorheriger Diaphysenfräse) zusammensetzt, wird die Metaphyse mit der passenden Reibahle ausgefräst (a). Ist die Implantation einer 42er Glenosphäre vorgesehen, muss die Metaphyse auch bis zur Größe 42 aufgefräst werden. Die Führungsschablone wird in derselben Retroversionsposition eingebracht, die vorher bei der Resektion der Kopfka-lotte gewählt wurde. Anschließend können die Testkomponenten implantiert werden (b). Nun überprüfen wir Bewegungsumfang, Stabilität und Weichteilspannung. Die Spannung sollte grundsätzlich so gewählt werden, dass bei adduziertem Arm und nicht relaxiertem Patienten eine normale Muskelspannung in den anterioren und mittleren Deltaanteilen sowie am kurzen Bizepskopf feststellbar ist. Falls die Weichteilspannung zu hoch ist, muss evtl. das Weichteilrelease verbessert werden. Sollte sie dann immer noch zu groß sein, kommen die Nachresektion im Metaphysenbereich und die tiefere Implantation der Humeruskomponente in Frage. Ist die Weichteilspannung zu gering und/oder besteht eine anteroposteriore Instabilität in der Adduktionsposition, muss durch einen modularen Zwischenring zur Metaphysenverlängerung oder das kranialere (zementierte) Einsetzen der gesamten Schaftkomponente ausreichend Weichteilspannung erzielt werden.

**Figures 16a and 16b**

Preparation of the metaphysis.

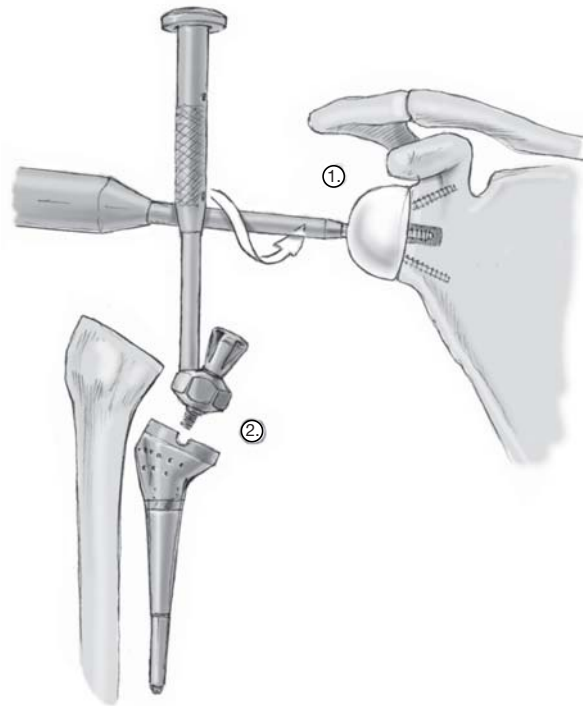
After insertion of the guiding template that consists of a head part and a diaphyseal stem (diameter depending on the diaphyseal reaming), the metaphysis is widened with a corresponding proximal humeral reamer (a). If a 42 glenosphere is chosen, the reaming of the metaphysis has to be done up to size 42. The guiding template is inserted in the same position of retroversion as that chosen during the resection of the humeral head. The trial components of appropriate size can now be implanted (b).

This is followed by testing the range of motion, stability, and soft-tissue tension. The soft-tissue tension must be chosen in such a way that during adduction a normal muscle tension of the nonrelaxed patient in the anterior and middle part of the deltoid as well as in the short head of the biceps is felt. The proper extent of soft-tissue release must be checked. If the soft-tissue tension remains too high, an additional soft-tissue release should be done. If this proves to be insufficient, more resection of the metaphysis and a deeper implantation of the humeral component must be considered. If the soft-tissue tension is too low and/or if an anteroposterior instability in adduction persists, a modular humeral spacer must be inserted to lengthen the metaphyseal component. Another possibility is a less deep cemented insertion of the shaft component to achieve proper tension.



**Abbildung 17**

Einbringen der definitiven Implantate.  
Zuerst wird die Glenosphäre aufgeschraubt. Hierbei ist auf die exakte Führung der zentralen Fixationschraube zu achten (↑). Anschließend implantieren wir die Schaftkomponente, welche modular nach den Größen der entsprechenden Dia- und Metaphysenfräsen zusammengesetzt wird. Es gibt Module für eine zementierte und eine zementlose Implantation. Letztere sollte nur dann gewählt werden, wenn sowohl ausreichender Kortikaliskontakt in der Diaphyse als auch ausreichende Rotationssicherheit durch gute Spongiosasubstanz in der Metaphyse erzielt werden. Bei der Implantation der Schaftkomponente ist nochmals auf die gewählte Retroversionsausrichtung zu achten. Nach der Schaftimplantation wird das PE-Inlay eingebracht. Falls sich beim endgültigen Einsetzen des Schafts andere Höhenverhältnisse als bei der Probeimplantation ergeben, sollte vorher nochmals die Weichteilspannung mit dem Probeinlay überprüft werden.



**Figure 17**

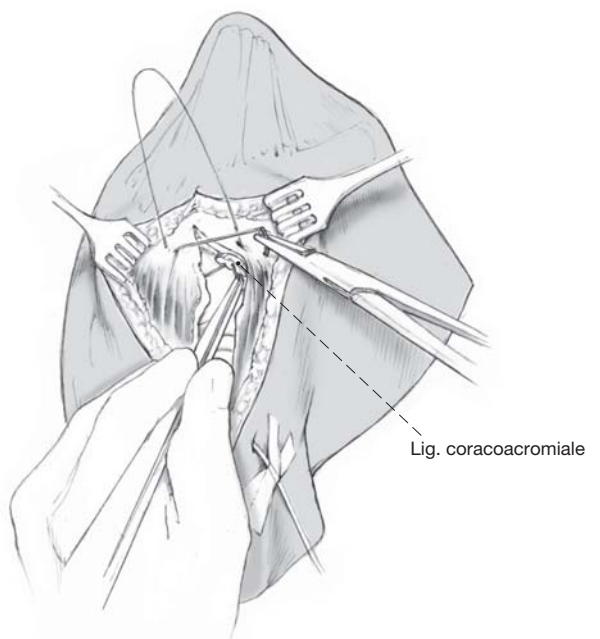
Insertion of the final components.  
The first step consists of screwing the glenosphere into the metaglene. Of importance is the exact positioning of the central fixation bolt (↑). This is followed by the insertion of the humeral component that is assembled in a modular fashion depending on the size of the dia- and metaphyseal humeral reaming. Modular components are available for cemented and cementless implantation. The latter should only be chosen, when a sufficient cortical contact in the diaphysis and an adequate resistance against rotation through strong cancellous metaphyseal bone are present. During the implantation of the humeral component the proper degree of retroversion should be checked again. The PE inlay is now attached to the humeral component. If during final insertion of the humeral component the height relationship is different from the trial implantation, the soft-tissue tension should be checked again with the trial inlay.

**Abbildung 18**

Deltarefixation und Wundverschluss.  
Nach Einlage einer Redon-Drainage in den Recessus axillaris werden die vom anterioren Akromion abgelösten Anteile des Musculus deltoideus durch durchgreifende achtförmige Nähte, die sowohl die oberflächliche als auch die tiefe Deltafaszie mit dem erhaltenen Ligamentum coracoacromiale erfassen, entweder an das kraniale Akromionperiost oder transossär an das Akromion mit nicht resorbierbarem Nahtmaterial fixiert.

**Figure 18**

Reattachment of the deltoid muscle and wound closure.  
Insertion of a suction drain into the axillary recess. Reattachment of the parts of the deltoid detached from the anterior acromion with deep, figure-of-eight sutures. These sutures should grasp the superficial and the deep deltoid fascia as well as the preserved coracoacromial ligament and fix these structures either to the cranial acromial periosteum or to the acromion through transosseous nonresorbable threads.



### Postoperative Behandlung

- Postoperative Analgesie durch kontinuierliche oder intermittierende Applikation von Carbostesin® (INN: Bupivacain) 0,25% über einen interskalenären Plexuskatheter.
- Verbandswechsel und Entfernung der Redon-Drainage am 2. postoperativen Tag.
- Ruhigstellung auf einem Thoraxabduktionskissen für 4–6 Wochen.
- 1.–6. postoperative Woche: Aktiv-assistive Bewegungsübungen:
  - Elevation und Abduktion ohne Begrenzung;
  - Außenrotation adduziert bis 45°, Außenrotation unbeschränkt ab der 5. postoperativen Woche;
  - Innenrotation adduziert bis 60°, kombinierte Innenrotation (Schürzengriff) ab der 5. postoperativen Woche;
  - keine Extension/Retroversion;
  - Skapulamobilisation und -stabilisation ab dem 1. postoperativen Tag.

Die verkürzte paraskapuläre Muskulatur (Musculus serratus anterior, Musculi rhomboidei, Musculus levator scapulae, Pars medialis des Musculus trapezius) wird manuell mobilisiert und gedehnt im Sinne einer postisometrischen Relaxation und durch isometrische und isotonische Widerstandsübungen gekräftigt.
- Alltagsfunktion unter der Horizontalen ab der 3. postoperativen Woche. Keine Widerstandsbeübung vor Ablauf der 6. postoperativen Woche.
- Beginn des Kräftigungsprogramms für die Deltamuskulatur nach 6 Wochen. Vorsichtige Steigerung der Widerstandsbeübung je nach Adaptation und Kompensation durch die Deltamuskulatur. Überlastungssituationen vermeiden. Kontinuierliche Kräftigung der Deltamuskulatur und Skapulastabilisation über 3–6 Monate (Schwimmen, Therabandübungen) unter Beachtung einer ausreichenden Skapulamobilisation.
- Röntgenkontrollen am 1. postoperativen Tag, bei Entlassung, 6 Wochen und 6 Monate postoperativ.

### Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Dissoziation von Metaglène und Glenosphäre: Auf eine korrekte Schraubenfixation der Glenosphäre muss unbedingt geachtet werden. Bei Lockerung sofortige Revision und Einbau einer neuen Glenosphäre.
- Schädigung der anterioren Axillarisäste: Exakte intraoperative Identifizierung und Protektion durch

### Postoperative Management

- Postoperative analgesia by continuous or intermittent application of Carbostesin® (INN: bupivacaine) 0.25% through an interscalene catheter.
- Dressing change and removal of suction drain on day 2.
- Immobilization on abduction pillow for 4–6 weeks.
- 1st–6th week: active-assisted exercises:
  - elevation and abduction as tolerated;
  - external rotation in adduction up to 45°; external rotation unlimited from 5th postoperative week on;
  - internal rotation in adduction up to 60°; internal rotation behind back from 5th week on;
  - no external rotation/retroversion;
  - mobilization and stabilization of scapula starting day 1.

The shortened parascapular muscles (serratus anterior, rhomboids, levator scapulae, medial part of trapezius) are mobilized manually and stretched (postisometric relaxation). They are strengthened by isometric and isotonic exercises against resistance.
- Normal use of the arm below the horizontal plane starting during week 3; no resistance exercises before the end of the 6th week.
- Strengthening exercises of the deltoid are started after 6 weeks.
- Careful increase of resistance exercises depending on the regained strength of the deltoid. Avoid any efforts. Continued strengthening of deltoid and stabilization of scapula for 3–6 months (swimming, Thera-band exercises) while paying attention to proper scapular mobilization.
- Radiographic control on day 1, at the time of discharge, and after 6 weeks and 6 months.

### Errors, Hazards, Complications

- Detachment of the glenosphere from the metaglène: the proper screw fixation of the glenosphere needs careful attention. In case of loosening, immediate revision and exchange of glenosphere.
- Injury to the anterior branches of the axillary nerve: meticulous intraoperative identification and protection with Langenbeck retractors, avoidance of excessive pull and leverage.
- Stretching of the lower parts of the brachial plexus, particularly due to the caudal displacement of the center of rotation: latent nerve compression syndrome such as sulcus ulnaris syndrome may become apparent postoperatively. In one patient this led to

Langenbeck-Haken; exzessiven Haken- und Hebelzug vermeiden.

- Dehnung inferiorer Plexusanteile, speziell durch die prothesenbedingte Kaudalisierung des Drehzentrums: Latente Nervenkompressionssyndrome (z.B. Sulcus-ulnaris-Syndrom) können postoperativ klinisch manifest werden. In einem eigenen Fall entwickelte sich daraus binnen 8 Wochen ein algodystrophes Krankheitsbild. Intraoperativ auf ausreichende Mobilisierung von perineuralen Adhäsionen achten. Bei der Längen- und Höheneinstellung der Prothese Überdehnung des Plexus vermeiden. Postoperative Lagerung in 30° Flexion, Abduktion und Innenrotation zur Entspannung der Nervenstrukturen.
- Inferiore Glenoiderosion (inferiores „Glenoid-notching“): Die Gelenkkapsel sollte immer anterior, inferior und posterior ausgedehnt gelöst und/oder reseziert werden, und die Glenoidkomponente sollte so inferior wie möglich implantiert werden. Dies vermindert den Anpressdruck der Humeruskomponente gegen das Tuberculum infraglenoidale. Bei erneutem Auftreten von Beschwerden im postoperativen Verlauf an eine durch PE-Abrieb induzierte Synovialitis denken. Eventuell Revision mit Neupositionierung der inferioren Schraube und Austausch des PE-Inlays notwendig.
- Lockerung von Prothesenkomponenten: Bei fraglicher Primärstabilität empfiehlt sich die Zementierung der humeralen Komponente.
- Späte tiefe Infektion: Eine Keimbesiedelung durch Voroperationen oder gehäufte Cortisoninjektionen einerseits, ein großer Hohlraum und die fehlende Weichteilmanschette um die proximalen Prothesenanteile andererseits können ursächlich sein. Zur Vermeidung empfehlen wir eine antiseptische Inzisionsfolie, intraoperative Abstriche zur Identifikation einer latenten Keimbesiedelung und konsequente perioperative Antibiotikaprophylaxe (perioperative Einmalgabe; bei positiven intraoperativen Abstrichen testgerechte Antibiose bis zur Normalisierung des C-reaktiven Proteins). Bei frühem postoperativem Auftreten einer tiefen Infektion sofortiges Débridement und Lavage ohne Ausbau der Prothese. Bei Spätinfektionen zweizeitiger Prothesenwechsel.
- Anteroposteriore Instabilität bei adduziertem Arm: Hier besteht aufgrund der Prothesengeometrie eine geringere geometrische Überlappung der Gelenkpartner mit geringerem Flächenkontakt der Gelenkpartner. Bei fraglicher anteroposteriorer Stabi-

a reflex sympathetic dystrophy inside 8 weeks. During surgery care has to be taken to free perineural adhesions sufficiently. Postoperative positioning with the arm in 30° flexion, abduction, and internal rotation to relax the neural structures.

- Inferior glenoid notching: always generous anterior, inferior, posterior detachment/resection of the joint capsule and positioning of the metaglène as low as possible. This decreases the pressure of the humeral component against the infraglenoid tubercle. Repeated and regular follow-up controls. If symptoms appear, consider the possibility of synovitis due to PE wear particles. If needed, revision, repositioning of inferior screw, and exchange of PE inlay.
- Loosening of prosthetic components: if the intraoperative stability is in doubt, use cement fixation.
- Late deep infection: contamination due to previous surgery, or repeated corticosteroid injections, large spaces, and absent soft-tissue coverage around the proximal prosthetic parts may be the cause. To avoid this complication, we recommend the use of antiseptic sticky foils, intraoperative swabs for the identification of dormant germs, and a one-time perioperative antibiotic administration. If the result of culture and sensitivity is positive, specific antibiotic therapy until normalization of C-reactive protein.
- Anteroposterior instability in adduction: due to the geometry of the prosthesis the overlap of the joint surfaces in this position is low and, consequently, also the contact between the opposing surfaces. If the anteroposterior stability is questionable, a retentive PE implant (raised edges) should not be used. The edge thickness of this PE implant is so small that a PE cold flow and wear can rapidly occur at the inferior region. If the stability is in question, use implants with a greater radius (42-mm components) or increase the tension of the deltoid muscle through the use of a higher riding humeral component.
- Dehiscence of the deltoid muscle due to a too early increase of the range of motion (extension and internal rotation behind the frontal plane) as well as too early exercises against resistance: immediate revision and reattachment of muscle.
- Bouts of pain at the insertion of the deltoid muscle secondary to vigorous use of the limb during the first 6 months: temporary suspension of exercises and positioning of the arm on an abduction pillow. Depending on the condition of the deltoid the patient should be weaned off the abduction pillow starting at the 4th–5th week.

lität sollte auf das PE-Inlay mit überhöhtem Rand („retentives Inlay“) verzichtet werden. Die PE-Randdicke ist bei diesem Implantat zu gering, so dass es im inferioren Bereich rasch zum PE-Kaltfluss und -Abrieb kommt. Stabilitätsprobleme sollten durch Verwendung größerer Gelenkflächenradien (42-mm-Systemkomponenten) oder durch größere Vorspannung der Deltamuskulatur (Einbau höherer humeraler Komponenten) gelöst werden.

- Deltadehiszenzen durch zu frühe Steigerung des Bewegungsumfangs (Extension und Innenrotation hinter die Körperebene) sowie zu frühzeitige Widerstandsbeübung: Sofortige Revision und Refixation.
- Schmerzhaftes Episoden im Bereich des Ansatzes des Musculus deltoideus durch zu starke Beanspruchung der Extremität in den ersten 6 Monaten: Temporäre Entlastung, mit Lagerung des Arms auf einem Thoraxabduktionskissen. Das Thoraxabduktionskissen sollte in Abhängigkeit vom Trainingszustand der Deltamuskulatur ab der 5. postoperativen Woche „abtrainiert“ werden.

## Ergebnisse

### Patientenpopulation

Zwischen Oktober 1997 und März 2001 wurden an der Orthopädischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses München-Bogenhausen 57 Patienten (14 Männer, 43 Frauen, mittleres Alter zum Operationszeitpunkt 70,1 Jahre) mit Defekarthropathien und nicht rekonstruierbarer Rotatorenmanschette mit einer inversen Schulterendoprothese Typ Delta3<sup>®</sup> nach Grammont & Baulot [6] versorgt. Die Anzahl der Voroperationen lag im Durchschnitt bei 0,7. 35 Patienten hatten keine, 14 eine und acht mehr als eine Voroperation im Bereich der Rotatorenmanschette.

### Methodik

Bei den Patienten wurde präoperativ und zu den Zeitpunkten 3, 6, 12, 24 und 36 Monate postoperativ die Schulterfunktion anhand der aktiven und passiven Beweglichkeit, des Constant-Scores [1], des Simple-Shoulder-Tests nach Matsen & Smith [10] (Tabelle 1) sowie der subjektiven Selbsteinschätzung (Noten 1–6) im Rahmen der Gesamtzufriedenheit, des Schmerzes, der Funktion und der Kraft untersucht.

Präoperativ untersuchten wir die betroffene Schulter röntgenologisch, arthrographisch und/oder kernspintomographisch. Bei fraglich veränderter Glenoidmorphologie wurden zusätzlich CT-Schnitte angefertigt.

## Results

### Patient Population

Between October 1997 and March 2001, we implanted a reverse shoulder prosthesis Delta3<sup>®</sup> according to Grammont & Baulot [6] in 57 patients (14 men, 43 women, average age 70.1 years) with a defect arthropathy and an irreparable rotator cuff tear. The number of previous surgical intervention was 0.7/patient; 35 patients had no previous surgery, 14 one, and eight more than one procedure for rotator cuff affections.

### Setup of Prospective Study

All patients underwent the following examinations preoperatively and at 3, 6, 12, 24, and 36 months postoperatively: active and passive range of motion, Constant Score [1], and Simple Shoulder Test according to Matsen & Smith [10] (Table 1). Postoperative subjective self-assessment (1–6 points) taking the overall satisfaction, pain, function, and power into consideration.

The preoperative radiologic examination included AP, outlet and axial views, and, if indicated, an arthrography and/or MRI. If the glenoid morphology could not be assessed adequately, a CT was done.

At the various intervals of follow-up AP, axial and outlet views were done. In addition, the dynamics of active abduction in the scapular plane was observed under image intensification. The position of the arm at the beginning and the end of abduction was documented and the maximal range of glenohumeral abduction was calculated (= radiologic glenohumeral range of motion; Table 2).

The file and radiographs of at least one follow-up examination were available for all patients. Moreover, most patients underwent a complete clinical and radiologic examination in the second half of 2001. 46 patients (80.7%) were examined. Six others (10.6%) were interviewed by telephone and asked whether their clinical condition had deteriorated since the last examination. If the answer was negative, the objective data of the previous clinical and radiologic examination were used. Five patients could not participate in the last follow-up examination (two had moved to unknown addresses, two had died, and one could not respond due to a recent stroke). The average interval between surgery and last follow-up examination was 18.2 months (3–43.5 months).

### Outcome

Irrespective of the cause of the defect arthropathy the postoperative shoulder function was good in all types when using our classification. Surgery resulted in a

**Tabelle 1**

Prozentuale Häufigkeit der Ja-Antworten im Simple-Shoulder-Test nach Matsen & Smith [10].

Funktionen	Patienten mit Ja-Antwort (%)
1. Sind Sie beschwerdefrei, wenn der Arm in Ruhe herunterhängt?	92
2. Können Sie aufgrund der Schulter nachts ungestört schlafen?	64
3. Können Sie mit dem betroffenen Arm ein/e Hemd/Bluse hinter dem Körper in den Hosen-/Rockbund stecken?	94
4. Können Sie mit der Hand hinter den Kopf greifen, wobei der Ellenbogen zur Seite weg zeigt (nicht vor den Körper)?	85
5. Können Sie eine Münze auf Höhe der Schulter in einen Schlitz stecken, ohne den Ellenbogen zu beugen (gestreckter Arm)?	87
6. Können Sie ein ½ kg (½ l Getränk) mit gestrecktem Arm bis zur Höhe der Schulter heben?	81
7. Können Sie 4 kg Gewicht mit gestrecktem Arm bis auf Augenhöhe heben?	53
8. Können Sie 10 kg (schwere Einkaufstasche) mit hängendem Arm tragen?	49
9. Können Sie sich vorstellen, einen Tennisball von unten heraus 10 m weit zu werfen?	66
10. Können Sie sich vorstellen, einen Tennisball überkopf 20 m weit zu werfen?	21
11. Können Sie mit dem betroffenen Arm die gegenseitige Schulter in der Achsel hinten waschen?	92
12. Könnten Sie sich vorstellen, mit der Schulter Ihre frühere Tätigkeit wieder ganztäglich durchzuführen?	55

Zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt wurden eine a.p., eine axiale und eine Outlet-Röntgenaufnahme angefertigt. Ferner wurde das aktive Abduktionsmaß in der Skapulaebene dynamisch unter Bildwandlerdurchleuchtung verfolgt. Der Start und die Endposition wurden dokumentiert, und hieraus wurde die maximale glenohumerale Abduktionsbeweglichkeit gemessen (= glenohumeraler Bewegungsumfang, radiologisch; Tabelle 2).

Von allen Patienten lagen uns Krankenblattunterlagen und Röntgenbilder von mindestens einer Routine-nachuntersuchung vor. Sämtliche Patienten wurden

**Tabelle 2**

Ergebnis im Constant-Score [1] in Abhängigkeit von der Anzahl der Voroperationen.

CS: Constant-Score; CS%: alters- und geschlechtskorrelierter Constant-Score (Punktwerte Kraftentwicklung in Vergleich zur Gegenseite 100% = 25 Punkte); NU: Nachuntersuchung; ROM: Bewegungsumfang; SST: Simple-Shoulder-Test.

Anzahl der Voroperationen	Patienten (n)	Prä-operativer CS%	NU – CS%	SST Ø Ja-Antwort	Glenohumeraler ROM, radiologisch
0	35	38	97	9	53,0
1	14	43	92	8	41,9
≥ 2	8	26	85	7	20,0

**Table 1**

Frequency in percentage of yes answers in the Simple Shoulder Test according to Matsen & Smith [10].

Functions	Patients with yes answers (%)
1. Is your shoulder comfortable with your arm at rest by your side?	92
2. Does your shoulder allow you to sleep comfortably?	64
3. Can you reach the small of your back to tuck in your shirt with your hand?	94
4. Can you place your hand behind your head with the elbow straight out to the side?	85
5. Can you place a coin in a shelf at the level of your shoulder without bending your elbow?	87
6. Can you lift 1 lb to the level of your shoulder without bending your elbow?	81
7. Can you lift 8 lb to the level of the top of your head without bending your elbow?	53
8. Can you carry 20 lb at your side with the affected extremity?	49
9. Do you think you can toss a softball underhand 10 yards with the affected extremity?	66
10. Do you think you can throw a softball overhand 20 yards with the affected extremity?	21
11. Can you wash the back of your opposite shoulder with your affected extremity?	92
12. Would your shoulder allow you to work full time at your regular job?	55

nearly complete disappearance of pain and an almost normal active range of motion. Only occasionally was the internal rotation with the hand behind the back limited (average level reached L5).

The absolute Constant Score amounted to 67 ± 13, the age- and gender-adjusted Constant Score to 94% ± 19%. Active elevation was 145° ± 24°, abduction 140° ± 29° (Table 3).

70.4% of the functions listed in Table 1 [8] were answered by “is possible”. A breakdown can be found in Table 1.

The complications are listed in Table 4.

**Table 2**

Results of the Constant Score [1] analyzed in light of the number of previous surgeries.

CS: Constant Score; CS%: age- and gender-correlated Constant Score (number of points given for power in comparison with the opposite side 100% = 25 points); NU: follow-up; ROM: range of motion; SST: Simple Shoulder Test.

Number of previous surgeries	Patients (n)	Pre-operative CS%	NU – CS%	SST Ø yes answer	Glenohumer-al ROM, radiologic
0	35	38	97	9	53.0
1	14	43	92	8	41.9
≥ 2	8	26	85	7	20.0

**Tabelle 3**

Constant-Score-Einzelparameter zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung. ROM: Bewegungsumfang; SD: Standardabweichung.

	Schmerz (0–15)	Alltagsfunktion (0–20)	ROM (0–40)	Kraft (0–25)
Mittelwert	12,8	14,8	28,1	10,6
SD	2,8	3,8	1,4	5,2
Median	14,0	15,0	29,0	10,0
Minimum	4,0	6,0	8,0	2,0
Maximum	15,0	20	40,0	18,0

**Tabelle 4**

Komplikationen. PE: Polyethylen.

Komplikationen	Defektarthropathien (n = 49)
Lockerung der Glenosphäre 4	1
Frühzeitiger PE-Verschleiß	1
Tiefer Infekt	2
Algodystrophie	1
Axillarisläsion	0
Luxation	0

zusätzlich im 2. Halbjahr 2001 vollständig klinisch und radiologisch nachuntersucht. Hieran nahmen 46 Patienten (80,7%) direkt teil. Sechs Patienten (10,6%) wurden telefonisch befragt, wobei sie angaben, ihr Zustand habe sich seit der letzten Untersuchung nicht verschlechtert, so dass die Krankenblattaufzeichnungen der letzten klinischen und radiologischen Untersuchung benutzt wurden. Fünf Patienten konnten an der Nachuntersuchung nicht teilnehmen: Zwei waren unbekannt verzogen, zwei verstorben, und eine Person war wegen einer schulterunabhängigen Allgemeinerkrankung (apoplektischer Insult) nicht in der Lage, an einer telefonischen Befragung oder Nachuntersuchung teilzunehmen. Die mittlere Dauer zwischen Operation und letzter Nachuntersuchung lag bei 18,2 Monaten (3–43,5 Monate).

### Resultate

Die postoperative Schulterfunktion kann unabhängig von der zugrundeliegenden Defektarthropathie in allen Subtypen gemäß unserer Klassifikation als gut bezeichnet werden. Es kam zu einer nahezu vollständigen Schmerzabnahme und Wiederherstellung eines annähernd physiologischen aktiven Bewegungsumfangs, nur gelegentlich beeinträchtigt durch eine gewisse Innenrotationseinschränkung (Schürzengriff im Mittel bis L5 möglich).

**Table 3**

Individual parameters of the Constant Score at the time of the last examination. ROM: range of motion; SD: standard deviation.

	Pain (0–15)	Function during activities of daily living (0–20)	ROM (0–40)	Power (0–25)
Average	12.8	14.8	28.1	10.6
SD	2.8	3.8	1.4	5.2
Median	14.0	15.0	29.0	10.0
Minimum	4.0	6.0	8.0	2.0
Maximum	15.0	20	40.0	18.0

**Table 4**

Complications. PE: polyethylene.

Complications	Defect arthropathies (n = 49)
Loosening of glenosphere 4	1
Early PE wear	1
Deep infection	2
Reflex sympathetic dystrophy	1
Axillary nerve lesion	0
Dislocation	0

An inferior glenoid notching was noted radiologically in 24.5%. In general, it became apparent after 6–12 months but did not progress thereafter. Marked progressive radiolucent seams or glenoid loosening were not observed. In no instance were radiolucent seams present around the anchorage screws being a sign of incipient loosening or micromotion.

Der absolute Constant-Score betrug  $67 \pm 13$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung), der alters- und geschlechtskorrelierte Constant-Score  $94\% \pm 19\%$ . Die aktive Elevation lag bei  $145^\circ \pm 24^\circ$ , die Abduktion bei  $140^\circ \pm 29^\circ$  (Tabelle 3).

Im Simple-Shoulder-Test wurden im Mittel 8,45 (70,4%) der Funktionen mit „ist möglich“ beantwortet. Für die einzelnen Funktionen zeigten sich die in Tabelle 1 aufgeführten Ergebnisse.

In Abhängigkeit von der Anzahl der Voroperationen ist ein gewisser Unterschied im funktionellen Endergebnis erkennbar. Dies ist zum einen auf eine Vorschädigung der Deltamuskulatur, zum anderen auf partielle Einsteifungen zurückzuführen (Tabelle 2).

Die Komplikationen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

In der radiologischen Analyse konnte bei 24,5% ein sog. inferiores Glenoidnotching beobachtet werden. Dieser Befund trat in der Regel nach 6–12 Monaten auf und war im weiteren Verlauf des Nachuntersuchungszeitraums nicht progredient. Höhergradige progrediente Lysesäume oder Glenoidlockerungen waren nicht zu beobachten. In keinem Fall konnten Lysesäume um die Verankerungsschrauben als Hinweis für beginnende Lockerungen oder Mikrobewegungen gefunden werden.

## Literatur – References

- Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop* 1987;214:160–4.
- De Buttet M, Bouchon Y, et al. Grammont shoulder arthroplasty for osteoarthritis with massive rotator cuff tears – report of 71 cases. *J Shoulder Elbow Surg* 1997;6:197.
- Farvard L, Lautmann S, Clement P. Osteoarthritis with massive rotator cuff-tear. In: Walch G, Boileau P, eds. *Shoulder arthroplasty*. Berlin–Heidelberg: Springer, 1999:261–6.
- Fuchs B, Weishaupt D, et al. Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computer tomography versus magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 1999;8:599–605.
- Goutallier D, Postel JM, Lavau L, et al. Impact of fatty degeneration of the supraspinatus and infraspinatus muscles on the prognosis of surgical repair of the rotator cuff. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1999;85:668–76.
- Grammont PM, Baulot E. Delta shoulder prosthesis for rotator cuff rupture. *Orthopedics* 1993;16:65–8.
- Jensen KL, Williams GR Jr, Russel JJ, et al. Rotator cuff tear arthropathy [Current Concepts Review]. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:1312–24.
- Koch S, Tillmann B. Der ventrokraniale Zugang zum Schultergelenk – Gefahren für den Nervus axillaris [Anatomischer Kommentar]. *Operat Orthop Traumatol* 1993;5:229–34.
- Mackenzie DB. Der ventrokraniale Zugang zur Implantation von Schulterendoprothesen. *Operat Orthop Traumatol* 1993;5:221–8.
- Matsen FA, Smith KL. Effectiveness evaluation and the shoulder. In: Rockwood CA Jr, Matsen FA, eds. *The shoulder*, 2nd edn. Philadelphia: Saunders, 1998:1313–39.
- McCarty DJ, Halverson PB, Carrera GF, et al. “Milwaukee shoulder” – association of microspheroids containing hydroxyapatite crystals, ac-

- collagenase, and neutral protease with rotator cuff defects. I. Clinical aspects. *Arthritis Rheum* 1981;24:464–73.
- Meier W. Schulterendoprothese bei traumatischen und nicht traumatischen Indikationen. Vergleich kurz- und mittelfristiger Ergebnisse von Monoblockprothesen (NeerII®) und modularen Schulterprothesen (Global®). Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2001.
- Neer CS. *Shoulder reconstruction*. Philadelphia: Saunders, 1990:143–272, 405–6.
- Neer CS, Craig EV, Fukuda H. Cuff-tear arthropathy. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:1232–44.
- Neer CS, Watson KC, Stanton FJ. Recent experience in total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:319–37.
- Nwakama AC, Cofield RH, et al. Semiconstrained total shoulder arthroplasty for glenohumeral arthritis and massive rotator cuff tearing. *J Shoulder Elbow Surg* 2000;9:302–7.
- Otis JC, Jiang CC, et al. Changes in the moment arms of the rotator cuff and deltoid muscles with abduction and rotation. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76:667–76.
- Post M, Jablon M. Constrained total shoulder arthroplasty. Long term follow-up observations. *Clin Orthop* 1983;173:109–16.
- Rittmeister M, Kerschbaumer F. Grammont reverse total shoulder arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis and nonreconstructible rotator cuff lesions. *J Shoulder Elbow Surg* 2001;10:17–22.
- Seebauer L, Keyl W. Treatment of cuff tear arthropathy with an inverted shoulder prosthesis (Delta3®). 8th International Congress on Surgery of the Shoulder, Cape Town, South Africa, April 23–26, 2001.
- Seebauer L, Keyl W. Einflußparameter auf die Position des glenohumeralen Drehzentrums bei der Rotatorenmanschettenmassenruptur. 7. Jahrestagung der Deutschen Vereinigung für Schulter- und Ellbogenchirurgie, München, 15.–16.06.2001.
- Seebauer L, Keyl W. Inverse Schulterprothese Delta III® n. Grammont – Indikation und Technik. 7. Jahrestagung der Deutschen Vereinigung für Schulter- und Ellbogenchirurgie, München, 15.–16.06.2001.
- Seebauer L, Keyl W. Inverse Schulterprothese Delta III® n. Grammont – Differentialindikation und Frühergebnisse. *Z Orthop* 2001;139:Suppl 1:85.
- Thomazeau H, et al. Prediction of rotator cuff repair results by magnetic resonance imaging. *Clin Orthop* 1997;344:275–88.
- Valenti P, Boutens D, et al. Delta 3 reversed prosthesis for osteoarthritis with massive rotator cuff tear: long term results (> 5 years). 2nd International Global-User Meeting, Big Sky, Montana, USA, June 28–30, 2001.
- Vrettos BC, Wallace WA, Neumann L. Bipolar hemiarthroplasty of the shoulder for the elderly patient with rotator cuff arthropathy. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:Suppl 1:106.
- Williams GR Jr, Rockwood CA Jr. Hemiarthroplasty in rotator cuff deficient shoulders. *J Shoulder Elbow Surg* 1996;5:362–7.
- Wirth MA, Jensen KL, et al. The effect of previous coraco-acromial arch surgery on the outcome of shoulder arthroplasty. 8th International Congress on Surgery of the Shoulder, Cape Town, South Africa, April 23–26, 2001.
- Worland RL, Jessup DE, et al. Bipolar shoulder arthroplasty for rotator cuff arthropathy. *J Shoulder Elbow Surg* 1997;6:512–5.

## Korrespondenzanschrift – Address for Correspondence

Dr. Ludwig Seebauer  
Abteilung für Orthopädie und Sportorthopädie  
Städtisches Krankenhaus Bogenhausen  
Englschalkinger Straße 77  
D-81925 München  
Telefon (+49/89) 9270-2040, Fax -2046  
E-Mail: ludwig.seebauer@extern.lrz-muenchen.de