

# Muskuloskelettale Rekonstruktion bei bilateraler Unterarmtransplantation

## Musculoskeletal Reconstruction in Bilateral Forearm Transplantation

### Autoren

M. Gabl<sup>1</sup>, M. Blauth<sup>1</sup>, M. Lutz<sup>1</sup>, R. Zimmermann<sup>1</sup>, P. Angermann<sup>1</sup>, R. Arora<sup>1</sup>, H. Piza-Katzer<sup>2</sup>, H. Hussl<sup>2</sup>, M. Ninkovic<sup>3</sup>, M. Ninkovic<sup>4</sup>, S. Schneeberger<sup>4</sup>, R. Margreiter<sup>4</sup>

### Institute

Die Institutsangaben sind am Ende des Beitrags gelistet

### Schlüsselwörter

- Handchirurgie
- Muskeltransposition
- Transplantationschirurgie
- interdisziplinäre plastische Chirurgie
- Replantation
- Mikrochirurgie
- obere Extremität

### Key words

- hand surgery
- muscle transposition
- transplantation surgery
- upper limb

eingereicht 5.4.2009  
akzeptiert 1.7.2009

### Bibliografie

DOI 10.1055/s-0029-1234049  
Handchir Mikrochir Plast Chir  
2009; 41: 224–229  
© Georg Thieme Verlag KG  
Stuttgart · New York  
ISSN 0722-1819

### Korrespondenzadresse

**Prof. Markus Gabl**  
Universitätsklinik für Unfallchirurgie und Sporttraumatologie  
Medizinische Universität  
Innsbruck  
Unfallchirurgie und  
Sporttraumatologie  
Anichstraße 35  
6020 Innsbruck  
Österreich  
markus.gabl@uki.at

### Zusammenfassung

**Fragestellung:** Im Rahmen einer bilateralen Unterarmtransplantation interessierte uns das motorische Ergebnis der oberen Extremität nach einer Beobachtungszeit von über 6 Jahren.

**Patienten und Methode:** Nach einer Starkstromverletzung mit proximaler Unterarmamputation beidseits wurde 2003 bei einem 41 Jahre alten Patienten eine beidseitige Unterarmtransplantation durchgeführt. Für den Fall eines Transplantatversagens wurden die Muskelreste des BR, ECRL, ECRB und ECU des Empfängers für eine myoprothetische Versorgung belassen. Radius und Elle wurden mit Kleinfragmentplatten ohne zusätzliche Spongiosaplastik stabilisiert. PT, FCR, FDS, PL des Spenders wurde am Epicondylus ulnaris, ECU und EDC am Periost der Elle fixiert. FCU, BR, ECRL und ECRB des Spenders wurden mit den Faszien der Empfänger Muskeln adaptiert. Der Ursprung der weiteren Muskulatur am Spenderunterarm blieb unverändert. Zur Neurotisation der Muskulatur wurden der Ramus profundus des Nervus radialis, die Rami musculares des Nervus medianus für PT, FCR, FDS, PL, der Nervus interosseus anterior sowie der Nervus ulnaris distal des Ramus muscularis des FCU koaptiert. Nach einer Induktionstherapie besteht die Immunsuppression (IS) heute aus Tacrolimus (Serum Talspiegel 8 ng/ml), Everolimus (Serum Talspiegel 6 ng/ml) und Prednisolon (5 mg/Tag).  
**Ergebnisse:** Nach 6 Jahren und 1 Monat sind beide Transplantate erhalten. In den ersten 3 Jahren traten mehrere Abstoßungsreaktionen, opportunistische Infektionen und metabolische Störungen auf, die systemisch und lokal und durch Änderung der IS erfolgreich behandelt wurden. Die Knochenheilung verlief komplikationslos. Die Summe der Bewegungsumfänge der gesamten oberen Extremität hat sich von präoperativ 32,7% auf 74,6% des Normwertes verbessert. Dabei betrug die Handgelenkbeweglich-

### Abstract

**Background:** Improvement of motor function of the upper extremity was investigated in a patient following bilateral forearm transplantation.

**Patients and Methods:** Following an electric shock injury with amputation of both forearms at the proximal level a bilateral allotransplantation was performed 2003 in a 41-year-old male patient. Missing and insufficient muscles were replaced by donor units. For use of myoprothesis in case of transplant failure remnants of BR, ECRL, ECRB and ECU remained at the recipient. 3.5 mm DCP plating was used without bone grafting to stabilize the forearm bones. PT, FCR, FDS, PL of the donor was fixed to the medial epicondyle of the humerus, ECU and EDC to the periosteum of the ulna. FCU, BR, ECRL; ECRB of the donor were sutured to the corresponding fascia of the recipient muscles. For motor function NIA; NIP and the motor branches of the median nerve for PT, FCR, FDS, PL were coapted. The ulnar nerve was coapted distally to the motor branch for the FCU. Following induction therapy today IS consist of tacrolimus (trough level 8 ng/ml), everolimus (trough level 6 ng/ml) und Prednisone (5 mg/day).

**Results:** Both grafts are vital at FU of 6 years and 1 month. During the first 3 years episodes of graft rejection, opportunistic infection and transient metabolic disorder occurred which could be treated successfully by systemic, topical agents and change of IS. Bone healing appeared normal. TRM of the upper extremity improved from 32.7% before surgery to 74.6% of normal, with gain of wrist motion/forearm rotation of 8.7% and finger motion of 33, and 2%. The moderate muscle power (M4/5) of the deep flexors, the extensors and the intrinsic muscles is considered to be due to the long distance of reinner-

keit und Rotation 8,7% und das Bewegungsausmaß der Finger 33,2%. Die mäßige Kraftentwicklung der tiefen Fingerbeuger-, Fingerstrecker- und intrinsischen Muskulatur führen wir auf die lange Reinnervationsstrecke, den vorbestehenden Stromschaden und den komplexen immunologischen Verlauf zurück.

**Schlussfolgerung:** Insgesamt konnte der Bewegungsumfang der oberen Extremität durch den Funktionsgewinn der extrinsischen Muskeleinheiten deutlich verbessert werden. Kraftgewinn und Greiffunktion blieben eingeschränkt. Subjektiv werden als wesentlicher Gewinn das Wiedererlangen unbewusster Bewegungsabläufe, die Verfügbarkeit des erweiterten Bewegungsumfanges über 24 Stunden und ein neu gewonnenes Körperintegritätsgefühl beschrieben.

## Einleitung

Nach einer Publikation der International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation im Jahre 2008 wurden mittlerweile 38 Hände, 18 unilateral und 10 bilateral sowie 2 Finger an insgesamt 30 Patienten transplantiert. 50% der Handtransplantationen erfolgten nach einer Amputation in Höhe des Handgelenkes, 26,7% in Höhe des distalen Unterarmes und 20% im mittleren Drittel des Unterarmes [7].

Die Einführung moderner immunsuppressiver Regime (IS) ermöglicht heute die Transplantation mehrerer in ihrer Antigenität unterschiedlicher Gewebsstrukturen und eröffnet damit neue Möglichkeiten in der rekonstruktiven Handchirurgie.

Da es scheint, dass eine lebenslange IS auch in nächster Zukunft unumgänglich sein wird, eröffnet sich zwangsweise ein Spannungsfeld zwischen Lebensqualität und Behandlungsrisiko.

Die WHO hat 2001 ihr Gesundheitsbild in der International Classification of Function, Health and Disease (ICF) in drei Teilbereiche neu zusammengefasst: Körperstruktur/-funktion, Aktivität und Partizipation ([www3.who.int/icf](http://www3.who.int/icf)).

Nachfolgend soll die wiedererlangte motorische Körperfunktion eines Patienten nach beidseitiger Unterarmamputation im proximalen Drittel vorgestellt werden. Um das motorisch funktionelle Defizit der oberen Extremität zu verbessern, wurden die Hände zusammen mit den muskulotendinösen Unterarmteilen eines Spenders transplantiert.

## Patient und Methode

Im März 2000 mussten bei einem 38-jährigen Mann nach einer Starkstromverletzung beide Unterarme im proximalen Drittel amputiert, die Weichteildefekte mit Vollhauttransplantaten gedeckt und die Faszienloggen am Oberarm gespalten werden.

Während der Nachbehandlung erhielt der Patient myoelektrische Prothesen mit Positionierung der Elektroden an den Unterarmstümpfen, die bis zum Zeitpunkt der Transplantation im Februar 2003 fast täglich verwendet wurden.

Der Patient wurde über operative Risiken, die immunsuppressive Therapie, lebensbedrohliche Situationen, medikamentöse Nebeneffekte und die Möglichkeit einer Reamputation aufgeklärt, bevor er in das Transplantationsprogramm aus freiem Willen und auf eindringlichen Wunsch aufgenommen wurde.

Beide Unterarme wurden von je einem Team der Univ.-Kliniken für Unfallchirurgie, Plastische und Rekonstruktive Chirurgie, Transplantationschirurgie und Anästhesie und Intensivmedizin

transplantiert. Spender- und Empfängerpatienten befanden sich in angrenzenden Operationssälen [8,9]. Die Ischämiezeit betrug jeweils 2 Stunden, die gesamte Operationsdauer ca. 10 Stunden.

**Conclusion:** Range of motion of the upper extremity improved primarily by extrinsic muscle function. Muscle strength and grip are moderate. The patient described the following to be most beneficial: the better range of motion, the possibility to perform tasks without visual control, the availability of his range of motion 24 h a day and a new sense of body integrity.

Die Induktionstherapie umfasste die Gabe von Antithymozythen-Globulin für 3 Tage und Methylprednisolon. Als Dauertherapie wurde Tacrolimus, Prednisolone und MMF eingesetzt. Die Steroiddosis wurde schrittweise auf 10 mg nach einem Jahr reduziert.

Die Rehabilitation bestand aus einem EPM (early protective joint motion) Programm kombiniert mit kognitiven therapeutischen Übungen nach Perfetti, Elektrotherapie und Physiotherapie angepasst an den Fortschritt der Funktion, funktionelle Schienenverbände sowie ergotherapeutisches Training.

## Präoperativer Ausgangsbefund

Vor der Transplantation war der inzwischen pensionierte 41-jährige Patient, sozial integriert und sportlich aktiv. Die laborchemischen Befunde entsprachen der Norm. Mit dem Spender bestand ein Mismatch für vier von sechs HLA-Antigenen. Der lymphotoxische Crossmatch war negativ. Die serologische Untersuchung des Spenders war negativ für Hepatitis B+C, HIV, EBV, Lues und Toxoplasmose, aber positiv für CMV.

## Muskuloskeletale Ausgangssituation beider oberen Extremitäten

Die Knochen- und Gelenkstrukturen waren beidseits altersgemäß und unauffällig.

Das Schultergelenk war beidseits uneingeschränkt beweglich: Bewegungsausmaß in der sagittalen Ebene betrug: 30/0/170, in der Frontalebene: 30/0/180. Die Rotation betrug: 90/0/90.

Beide Ellbogengelenke waren bandstabil, die Beuge- und Streckmuskulatur unauffällig. Das proximale Radioulnargelenk zeigte sich im Röntgen beidseits normal konfiguriert. Das aktive Bewegungsausmaß im rechten Ellbogengelenk betrug S: 0/0/140, links 0/0/100 (● Abb. 1). Die Unterarmamputationsstümpfe waren beidseits in neutraler Rotationsstellung fixiert. Eine passive Rotationsbewegung war nicht möglich. Beide Unterarmstümpfe waren konisch zugespitzt. Die Länge des rechten Radius betrug 10,3 cm, jene der Elle 12,5 cm. Der Stumpf des linken Radius war 8,4 cm, der linken Elle 12 cm lang. Der interossäre Raum zeigte sich verschmälert und ohne Brückenkallus.

Die Länge der Streckermuskelgruppe wurde im CT gemessen und betrug rechts 4 cm, jene der Beugermuskelgruppe 5 cm und jene der radialen Streckergruppe 8 cm (● Abb. 2).

Als Muskelresiduen verblieben somit beidseits Musculus extensor digitorum communis (EDC), Musculus extensor carpi ulnaris (ECU), Musculus pronator teres (PT), Musculus flexor carpi radi-



**Abb. 1** Präoperativer Ausgangsbefund: Beidseitige Amputation im proximalen Drittel des Unterarms. Gute Beugung und Streckung bei fixierter Rotation in Neutralstellung.



**Abb. 2** 3D-CT: Knöcherner Stumpflänge der Speiche unter 10 cm, Länge der verbliebenen Muskelgruppen zwischen 4 cm und 8 cm.

alis (FCR), Musculus palmaris longus (PL), Musculus flexor digitorum superficialis (FDS), Musculus Flexor carpi ulnaris (FCU) und Musculus supinator (SM). Die willkürliche Anspannung einzelner Muskelgruppen war tastbar, im Ultraschall zeigten sich Kontraktionen, die den einzelnen Muskeln meist nicht eindeutig zuzuordnen waren. Unklar verblieb die Funktion des EDC, PT, ECU und Musculus supinator. Aufgrund der Amputationshöhe bestand beidseits ein kompletter Verlust der Streckermuskel Musculus extensor pollicis longus (EPL), Musculus extensor pollicis brevis (EPB), Musculus extensor indicis (EI), Musculus abductor pollicis longus (APL), sowie der Beugermuskel Musculus pronator quadratus (PQ), Musculus flexor pollicis longus (FPL), Musculus flexor digitorum profundus (FDP) und der intrinsischen Handmuskulatur. Das Neurom des Mittelnerv lag jeweils distal des Abganges des Nervus interosseus anterior (NIA), des Nervus ulnaris distal des Muskelastes für den FCU und jenes des Nervus radialis in Höhe des Supinatormuskels distal der Aufzweigung.

Zur postoperativen Ruhigstellung wurden beide Extremitäten in gut gepolsterten Verbänden in Neutralstellung der Gelenke gelagert. Nach Abklingen der beträchtlichen Weichteilschwellung wurden palmare Oberarmschienen mit Ellbogen und Handge-

lenk in Neutralstellung und intrinsic plus Stellung der Hand verwendet.

## Methode



Das rekonstruktive Konzept beruhte darauf, die fehlenden und insuffizienten muskulotendinösen Strukturen mit allogenen motorischer Einheiten zu ersetzen und im Falle eines Transplantatversagens den Erhalt der funktionierenden ulnaren und radialen Muskelgruppe für eine myoprothetische Versorgung weitestgehend zu erhalten.

Die Rekonstruktion des Stützapparates erforderte die Lösung der Unterarmstümpfe durch Resektion von Narbenplatten, auch im Bereich der Membrana interossea und des Supinatormuskels. Die Osteotomiehöhe richtete sich nach der erforderlichen Längenkorrektur, die in diesem Fall durch die Länge der medialen Muskelgruppe des Spenders definiert war, sowie nach den anatomischen Erfordernissen der Knochengeometrie des proximalen Unterarmes zur Wiederherstellung einer Unterarmdrehschse.

Zur Rekonstruktion der Muskeleinheiten wurden der FCU, ECRL, ECRB und Musculus brachioradialis (BR) des Empfängers unverändert belassen. Die laterale Streckerguppe (BR; ECRL; ECRB) wurde am Spender mit ausstrahlenden Sehnen- und Faszienspiegel entnommen und direkt an die korrespondierenden Faszien und Narbenplatten des Empfängers fixiert. Zur Rekonstruktion der Beugfunktion und Pronation wurde die oberflächliche Beugemuskelgruppe des Spenders (PT, FCR, FDS, PL) am Ursprung gehoben und am medialen Epicondylus des Empfängers fixiert. Die tiefe Beugemuskelgruppe (FDP, FPL) verblieb mit ihrer ursprünglichen Insertion am Unterarm des Spenders. Die Neurotisation erfolgte durch epineurale Koaptation des NIA, der Rami musculares des Nervus medianus für die oberflächliche Beugerguppe, sowie des ulnaren Stammnerv distal des Ramus muscularis für den FCU, des medianen Stammnerven distal des NIA und der Ramus superficialis Nervus radialis. Die Streckermuskelgruppe (EDC, ECU) wurde gemeinsam mit dem Periost des Spenders entnommen und transsösär an die Elle des Empfängers fixiert. Die distalen Streckereinheiten (EPL, APL) verblieben am Ursprung des Spenderunterarmes. Der Ramus profundus des Nervus radialis (NIP) wurde in Höhe des Supinatormuskels direkt koaptiert. Der gespaltene, dystrophe Supinatormuskel wurde zur Bedeckung des Plattenlagers verwendet.

Zur Nachuntersuchung wurde das Bewegungsausmaß der gesamten oberen Extremität nach der Neutral-Null-Methode erfasst. Grob-, Spitz- und Schlüsselgriff wurden mit dem Pinch Gauge und Jamar Dynamometer (Biometrics Ltd. E-Link) gemessen. Die differenzierte Aktivität der einzelnen Muskelgruppen und Muskel wurden klinisch erfasst und abhängig von ihrer Muskelkraft nach Candall Muscle Power Grading eingestuft. Der knöcherner Durchbau der Osteotomie wurde radiologisch im posteroanterioren und seitlichen Strahlengang, sowie auf Schrägaufnahmen beurteilt.

## Ergebnis



Der Nachuntersuchungszeitraum umfasste 6 Jahre und 1 Monat. Die Wundheilung verlief infektfrei mit anfänglich starker Schwellung. Oberflächliche Hautnekrosen am proximalen Transplantabschnitt wurden sekundär mit Spalthaut gedeckt. Narben

Tab. 1 Gesamtbewegungsausmaß der oberen Extremitäten nach 6 Jahren.

	rechts	links	AROM rechts Postop.	AROM links Postop.	AROM präop.
Schulter – SFR			635	635	635
Ellbogen – S	1°-0°-136°	2°-0°-129°	137°	131°	120
Unterarm – R	55°-0°-3°	73°-0°-15°	58°	88°	
Handgelenk – S	62°-0°-43°	62°-0°-27°	105°	89°	
Handgelenk – F	14°-0°-10°	20°-0°-2°	24°	22°	

wurden 2004 korrigiert. In gleicher Sitzung wurde am rechten Unterarm ein Narbenzügel entfernt, der sich zwischen Musculus biceps brachii (BB) und BR erstreckte und zu einer ungewollten Pronation bei Streckung des Ellbogengelenkes führte. Außer diesem Narbenband zeigte sich in Höhe des Musculus supinator (SM) eine heterotope Ossifikation, die partiell entfernt wurde. Im Verlauf der ersten 3 Jahre traten mehrere Abstoßungsreaktionen auf, die mit systemischer und lokaler Gabe von Immunsuppressiva behandelt wurden [11]. Eine CMV Infektion, HPV bedingte Warzen sowie eine Hautinfektion durch *Alternaria alternata* wurden ebenso erfolgreich behandelt [1], wie eine in den ersten 20 Monaten wahrscheinlich durch die IS verursachte, Glucosestoffwechselstörung und Hypertension. Derzeit setzt sich die IS aus Tacrolimus (Serum Talspiegel 8 ng/ml), Everolimus (Serum Talspiegel 6 ng/ml) und Prednisolon (5 mg/Tag) zusammen.

### Muskuloskeletale Situation zum Nachuntersuchungszeitpunkt (○ Tab. 1)

Der durchschnittliche Bewegungsumfang beider Schultergelenke verblieb uneingeschränkt. Beide Ellbogengelenke waren unverändert bandstabil. Das proximale Radioulnargelenk zeigte sich im Röntgen beidseits normal konfiguriert. Das durchschnittliche Bewegungsausmaß der Ellbogengelenke betrug sagittale 134° (89%), jenes der Unterarmdrehung 73° (43%), sowie jenes der Handgelenkbewegung sagittal 97° (88%), frontal 23° (46%). Der prozentualen Einschätzung des Bewegungsumfanges wurden die Werte der Neutral- Null-Methode nach Russe zugrunde gelegt [10] (○ Abb. 3).

Der Bewegungsumfang aller Langfinger maß durchschnittlich 171° (63%), jener von Grund- und Endgelenk der Daumen durchschnittlich 95° (68%). Die aktive Opposition des linken Daumens war bis zum Endglied des Zeigefingers möglich (Kapandji 3), rechts bis zur Fingerkuppe des Mittelfingers (Kapandji 4). Die Summe des Bewegungsumfanges der oberen Extremität betrug 74,6% des Normwertes, wovon 41,9% neu erworben waren. Von diesen wiederum betrug die Fingerbeweglichkeit 33,2%, und die Handgelenkbeweglichkeit mit Unterarmrotation 8,7%.

### Kraft

Beugung und Streckung des Handgelenkes waren beidseits kraftvoll mit M 5.

Die Kraft der Fingerbeuger wurde mit dem Dynamometer-Biometrics Ltd. E-Link in Position 2 gemessen und betrug rechts durchschnittlich 6,9 kg und links 7,1 kg. Der Spitzgriff gemessen mit pinch gauge betrug rechts durchschnittlich 0,5 kg, links war er nicht messbar.

Die Kraft der langen Fingerstrecker betrug M3 links und M4 rechts. Die Kraft bei isolierter Streckung des Daumen maß M3, die Abduktion der Daumen war nur schwach möglich, mit M3 für den APL und APB rechts, sowie M1 für den APB links.

Der Daumenballen zeigte sich im EMG aktiv innerviert. (11).

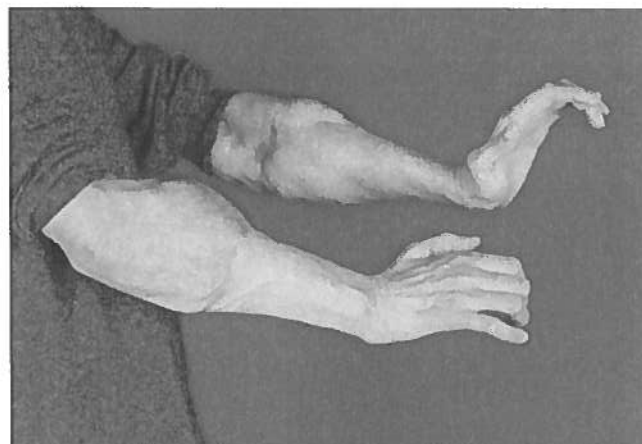


Abb. 3 Handgelenksbewegung nach 6 Jahren und 1 Monat mit sagittal 93° und frontal 23°.

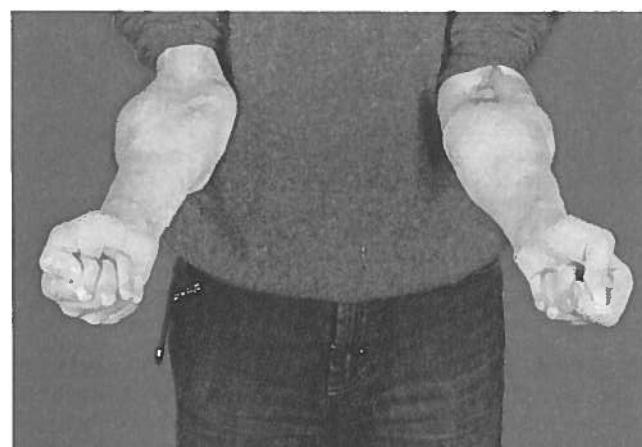


Abb. 4 Kompletter Faustschluss, Kraft durchschnittlich 7 kg; gute Supination.

### Greifmuster

Das Griffmuster war eingeschränkt. Der komplette Faustschluss war möglich (○ Abb. 4) und beidseits konnte der Schlüsselgriff ausgeführt werden. (○ Abb. 5a + 5b).

Die Sensibilität betrug mit einer statischen Zweipunkt Diskrimination im Durchschnitt aller Finger 14 mm.

Als subjektiven Gewinn betrachtet der Patient derzeit den erweiterten Bewegungsumfang, eine deutliche Verbesserung der Feinmotorik, eine jederzeit verfügbare Greiffunktion, die Möglichkeit manche Aktivitäten ohne direkte visuelle Kontrolle, unbewusst durchführen zu können, sowie eine Verbesserung der Körperintegrität.

Der Patient ist seit November 2002 also bereits vor der Transplantation, pensioniert, sozial integriert und sportlich aktiv.

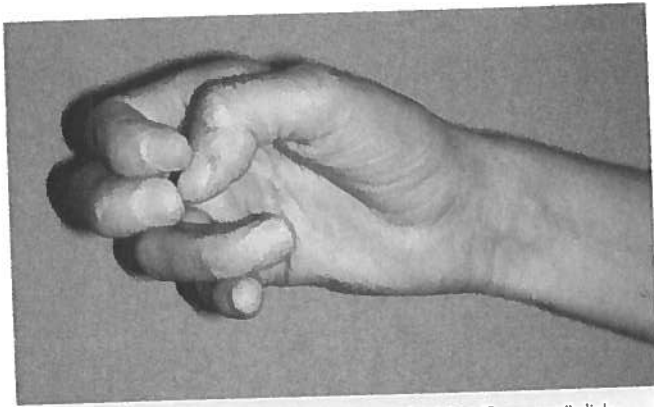


Abb. 5 a: Opposition rechts bis zur Kuppe des Mittelfingers möglich.

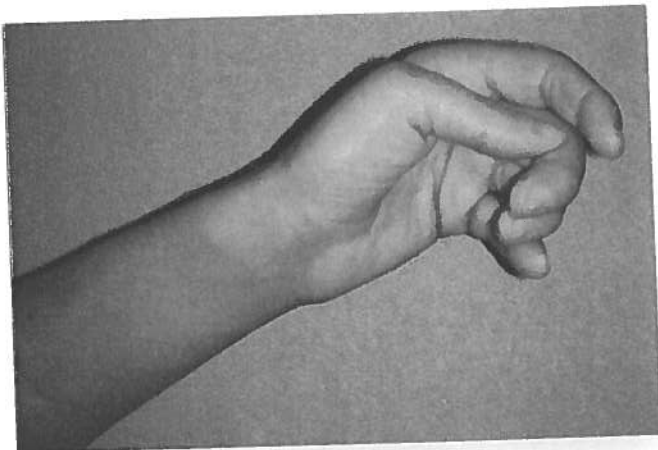


Abb. 5 b: Opposition links bis zur Kuppe des Zeigefingers möglich.

## Diskussion

▼ Entsprechend der International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation 2008 erfolgten nahezu alle Handtransplantation im oder distal des mittleren Drittel des Unterarmes [7].

Die Problematik der zunehmenden Funktionseinbuße bei einer Amputation in Höhe des proximalen Unterarms ist, wie auch nach Makroreplantationen beschrieben, weit reichend bekannt [13]. Die obere Extremität erfährt mit Einbuße der Unterarmrotation und dem zusätzlichen Verlust der extrinsischen Handmuskulatur eine bedeutsame Leistungsminderung [12]. Das Gesundheitsbild ist bei bilateraler Amputation stärker geschädigt, als bei einem unilateralen Defekt. Dabei dominiert das motorische Defizit den Invaliditätszustand mehr als bei unilateraler Amputation [4].

Der operative Ablauf einer Transplantation gleicht im Wesentlichen jener der Replantation. Die Bedeutung der Transplantation ist in der Erweiterung des Therapiespektrums zu sehen. Sie eröffnet die Perspektive, Folgezustände nach Amputationen mit identen Strukturen eines Spenders zu rekonstruieren. Unser Ziel war es, eine möglichst große Beugung im Ellbogengelenk zu erlangen. Damit kann die Hand zum Gesicht geführt und die selbstständige Nahrungsaufnahme ermöglicht werden. Die Höhe der Osteotomie wurde so gewählt, dass der Ansatz der Bizepssehne an der Tuberositas radii unberührt blieb und das Implantat mit dem Sehnenverlauf möglichst wenig interferierte. Die Länge der Unterarmtransplantate war durch die Länge der Unterarmmuskulatur des Spenders definiert und entsprach der

Länge des Fußes des Spenders. Zur Stabilisierung der Unterarmknochen verwendeten wir ein 3,5 mm Kleinfragment DCP Implantat mit dem wir bei einer vorangegangenen beidseitigen Transplantation bereits eine ungestörte direkte Knochenheilung erzielen konnten [5]. Die stabile Plattenosteosynthese ermöglichte die frühfunktionelle Nachbehandlung, ohne Risiko eines Rotationsverlustes, wie er bei nicht verriegelbaren intramedullären Implantaten bestehen kann. Eine primäre Spongiosaplastik war bei planem Kontakt der Osteotomieflächen und rigider Stabilisierung nicht erforderlich. Ein geformter Periostlappen wurde zur Deckung der Osteotomie verwendet [8,9]. Unter der angewendeten IS zeigte sich auch bei diesem Patienten keine Störung der Knochenheilung.

Um Pro- und Supination wiederherzustellen, mussten die in ihrer Dimension und Form unterschiedlichen Unterarmknochen des Empfängers und Spenders an eine neue Drehachse angeglichen werden. Von Bedeutung waren die Einstellung der Supinations- und Pronationskurvature der proximalen Speiche und der Erhalt eines ausreichend weiten interossären Raumes. Intraoperativ orientierte sich die Reposition am Margo interosseus, wobei wegen der unterschiedlichen Knochendiameter ein Überlappen der lateralen Kortikales verbleiben musste. Vergleichend zur Fraktursituation blieb auch zu bedenken, dass sich bei Spender und Empfänger, Verlauf und Ausprägung des Margo interosseus unterscheiden können. Ebenso können die Gelenkkörper von Speiche und Elle unterschiedlich geformt sein. Eine für den Empfänger anatomische Rekonstruktion des zwangsweise kombinierten Unterarmdrehgelenkes erschien bei einer Allotransplantation kaum möglich zu sein. Osteotomie, Reposition und Osteosynthese der Speiche führten wir nach Stabilisierung der Elle durch.

Bei einer Amputationshöhe im distalen Unterarmdrittel kann bei günstiger Ausgangslage die Muskelmasse und Faserlänge der extrinsischen Muskeln ausreichen, um einen kraftvollen Bewegungsumfang zu ermöglichen. Die verbliebene Unterarmmuskulatur des vorgestellten Patienten mit proximaler Unterarmamputation war nur mehr rudimentär vorhanden, weshalb mit dem dargestellten Konzept versucht wurde, ausreichend Muskelmasse zu transplantieren. Da im Falle einer Reamputation die Ausgangssituation einer myoprothetischen Versorgung mit Ansteuerung über die Stumpfmuskulatur erhalten bleiben sollte, war eine Transplantation im distalen Oberarmbereich nicht möglich. Somit wurde die Osteosynthese im Unterarmbereich durchgeführt, und die extrinsische Beuge- und Streckmuskulatur am distalen Humerus und nahe dem Olekranon fixiert. Insgesamt konnte die Summe der aktiven Bewegungsumfänge der oberen Extremität nach Transplantation auf 74,6% des Normalwertes erweitert werden. Der neu erworbene Bewegungsumfang der oberen Extremität betrug somit 41,9%. Der Zuwachs am Bewegungsausmaß der Finger war eingeschränkt, während die Handgelenkbeweglichkeit als gut bezeichnet werden konnte. Das gewonnene Rotationsausmaß wurde vom Patienten als wesentlicher Gewinn beschrieben, obwohl die Pronation beidseits stark eingeschränkt war, jedoch mit Innenrotation der Schulter gut kompensiert wurde. Die Pro- und Supination erlaubte die adäquate Einstellung der Hand in einem innerhalb des Schultersektors sphärischen Raum. Sie ermöglichte selbstständige Nahrungsaufnahme und Hygienemaßnahmen und war von zentraler Bedeutung für die arbeitende Hand. Gemeinsam mit der erhaltenen Schulterbeweglichkeit konnte bei gestrecktem Ellbogen und 90° abduziertem Oberarm eine Rotation über 270° erzielt werden. Die verbliebene Einschränkung der Rotationsbewegung

Tab. 2 Gesamtbewegungsausmaß der Finger nach 6 Jahren.

	rechts	links
Daumen	119°	71°
Zeigefinger	142°	198°
Mittelfinger	173°	172°
Ringfinger	164°	169°
Kleinfinger	166°	188°

war auf Vernarbungen in Höhe der Supinator-muskels an der Transplantatgrenze zurückzuführen. Ob die Ursache der heterotopen Ossifikation und Narbenbildung rein muskulär oder Folge der mehrmaligen Abstoßungsreaktionen war, blieb ungeklärt. Die gute Beweglichkeit des Handgelenkes erlaubte dem ausführenden Organ Hand die optimale Griffstellung einzunehmen, was bei dem nur eingeschränkt wiedergeerlangten Greifmuster eine Anpassung an die Alltagserfordernisse begünstigte.

Die Hand als Erfolgsorgan der Funktionskette ist in der Ausführung der Vielfalt ihrer Greifmuster eingeschränkt geblieben. Die erlangte Beugung der Finger war vornehmlich auf die Funktion der extrinsischen Muskulatur zurückzuführen. Die Funktion des rechten Daumens war relativ gut, jene des linken Daumens und der Handmuskeln eher mäßig. Weitere operative Eingriffe zur Verbesserung der Daumenfunktion wurden vom Patienten bislang als nicht erforderlich erachtet.

Ursächlich dafür dürfte die erwartungsgemäß ungünstige, lange Reinnervationstrecke des ulnaren Stammnerves und des motorischen Radialisstes sein. Aber auch der vorbestehende neurogene Schaden nach Starkstromverletzung könnte sich negativ ausgewirkt haben [3,6]. Dafür würde auch die, im Vergleich zu zwei weiteren Patienten nach Handtransplantation, wiedererlangte geringere Sensibilität sprechen [8].

Unklar verblieben auch die Auswirkungen nach dem komplexen immunologischen Verlauf, mit möglichem Einfluss auf die Kontraktibilität des transplantierten Muskelgewebes. Von Nachteil war auch die eingeschränkte Toleranz von Tacrolimus, dem in der Neuroregeneration positive Wirkung zugesprochen wird [2].

Insgesamt konnte ein Ausheilungsergebnis erzielt werden, das die Körperfunktion des Patienten verbesserte und einen deutlichen funktionellen Gewinn für den Patienten brachte. Dabei wurde auch eine Funktionsbesserung im Gegensatz zu den zuvor benutzten Myoprothesen beschrieben, die sich bei kurzer Stumpflänge ab zunehmender Beugung im Ellbogengelenk von ihren Kontaktpunkten lösten, vom Gewicht her als zu schwer empfunden wurden, keine Rotation ermöglichten, und deren Einsatz nur unter Augenkontrolle möglich war.

Das Ergebnis (● Tab. 2) wurde vom Patienten als Gewinn bezeichnet, da es ihm nicht nur eine deutliche Erweiterung des Bewegungsausmaßes und ein neu gewonnenes Körpergefühl brachte, sondern auch weitestgehende Unabhängigkeit bei den üblichen Alltagstätigkeiten vor allem aber auch im intimhygienischen Bereich. Damit scheint das von uns gesteckte Ziel erreicht und der nicht geringe Aufwand einer beidseitigen Unterarmtransplantation gerechtfertigt.

## Markus Gabl

Lebenslauf siehe Handchir Mikrochir Plast Chir 2007; 39: 72

**Interessenkonflikt:** Nein

### Institute

<sup>1</sup> Universitätsklinik für Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Medizinische Universität Innsbruck, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Innsbruck, Austria

<sup>2</sup> Medizinische Universität Innsbruck, Universitätsklinik für Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Innsbruck

<sup>3</sup> Städt. Krankenhaus München-Bogenhausen, Klinik für Plastische, Rekonstruktive, Hand- und Verbrennungschirurgie, München

<sup>4</sup> Medizinische Universität Innsbruck, Universitätsklinik für Allgemeine- und Transplantationschirurgie, Innsbruck

### Literatur

- 1 Bonatti H, Lass-Flörl C, Zelger B et al. Alternaria alternata soft tissue infection in a forearm transplant recipient. *Surg Infect (Larchmt)* 2007; 8: 539–544
- 2 Chen B, Song Y, Liu Z. Promotion of nerve regeneration in peripheral nerve by short-course FK506 after end-to-side neuroorrhaphy. *J Surg Res* 2009; 152: 303–310
- 3 Eickhorn R, Kopf M, Stadler R et al. Electrophysiological and ultrastructural studies on reversible neural conduction disturbance after high voltage discharge. *Muscle Nerve* 1988; 11: 945–952
- 4 Gabl M, Kröpfl A. Subjective impairment after macroamputation of the upper extremity. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2008; 40: 31–34
- 5 Gabl M, Pechlaner S, Lutz M et al. Bilateral hand transplantation: bone healing under immunosuppression with tacrolimus, mycophenolate mofetil, and prednisolone. *J Hand Surg [Am]* 2004; 29: 1020–1027
- 6 Koshima I, Moriguchi T, Soeda S et al. High-voltage electrical injury: electron microscopic findings of injured vessel, nerve, and muscle. *Ann Plast Surg* 1991; 26: 587–591
- 7 Petruzzo P, Lanzetta M, Dubernard JM et al. The international registry on hand and composite tissue transplantation. *Transplantation* 2008; 86: 487–492
- 8 Piza-Katzer H, Ninkovic M, Pechlaner S et al. Double hand transplantation: functional outcome after 18 months. *J Hand Surg [Br]* 2002; 27: 385–390
- 9 Piza-Katzer H, Hussl H, Ninkovic M et al. Bilateral hand transplantation. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2002; 34: 75–83
- 10 Russe O. Zusammenhänge der normalen Bewegungsbefunde. In: Krösl W, Zrubbecky G. Die Unfallrente. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart; 1992
- 11 Schneeberger S, Ninkovic M, Gabl M et al. First forearm transplantation: outcome at 3 years. *Am J Transplant* 2007; 7: 1753–1762
- 12 Schönberger A, Mehrtens G, Valentin H. Arbeitsunfall und Berufskrankheit. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin; 2003
- 13 Zhong-Wei C, Meyer VE, Kleinert HE et al. Present indications and contraindications for replantation as reflected by long-term functional results. *Orthop Clin North Am* 1981; 12: 849–870