

Obere Extremität 2011 · 6:189–198
 DOI 10.1007/s11678-011-0130-4
 Eingegangen: 30. April 2011
 Angenommen: 2. Juni 2011
 Online publiziert: 21. August 2011
 © Springer-Verlag 2011

L. Just-Kovač¹ · M. Innocenti² · M. Sauerbier¹

¹ Klinik für Plastische-, Hand- und Rekonstruktive Chirurgie; Kliniken des Main-Taunus-Kreises GmbH - Kooperationsklinik für Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Frankfurt, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Bad Soden am Taunus

² Division of Hand Surgery and Reconstructive Microsurgery, Azienda Ospedaliera Careggi, C.T.O., Florence

Möglichkeiten und Ergebnisse der (freien) vaskularisierten Knochentransplantation im Handbereich

Knöcherne Destruktionen im Handbereich entstehen vorwiegend nach Infektionen mit nachfolgender Osteitis sowie nach radikaler Tumorresektion [66] oder Trauma. Auch Skaphoidpseudarthrosen und die Lunatumnekrose können mit knöchernem Substanzverlust einhergehen. Zusätzlich zum knöchernen Skelett kann auch der Weichteilmantel betroffen sein. Dies erfordert besonders im Handbereich aufwändige rekonstruktive Verfahren, sofern eine adäquate Funktionswiederherstellung notwendig ist [25, 60]. Meist ist nicht die Größe des bestehenden Knochendefektes, sondern dessen kritische Lokalisation über Gelenken, Sehnen oder an der Daumenspitze ausschlaggebend [58].

Bei komplexen multistrukturellen Defekten besteht die Möglichkeit der Rekonstruktion durch freie oder vaskulär gestielte Knochentransplantationen unter Mitnahme von Muskel, Faszie oder Haut. Die am häufigsten beschriebenen Knochentransplantate im Handbereich [13, 52] sind:

- freies osteokutanes Fibulatransplantat,
- osteokutaner Radialislappen,
- osteokutaner Leistenlappen sowie
- osteokutaner Skapula-/Paraskapularlappen.

Durch die Transplantation von gestielten oder freien vaskularisierten Knochen-

transplantaten können auch ausgedehnte bzw. größere Knochendefekte problemlos rekonstruiert werden. Das vaskularisierte Knochentransplantat bietet die Möglichkeit einer Revaskularisation bereits minderperfundierter Knochenanteile. Es kann hypertrophieren, eine normale Frakturheilung unterstützen [15] und sich somit Belastungen physiologisch besser anpassen. Dadurch werden ein höheres

Heilungspotenzial und eine frühere knöcherne Silität erzielt [31].

Die Rekonstruktion ausgeprägter Knochendefekte im Handbereich durch vaskularisierte Knochentransplantate erfordert fast immer eine osteosynthetische Fixierung, um den frühen Beginn physiotherapeutischer Behandlung gewährleisten und somit eine optimale Funktion erlangen zu können.

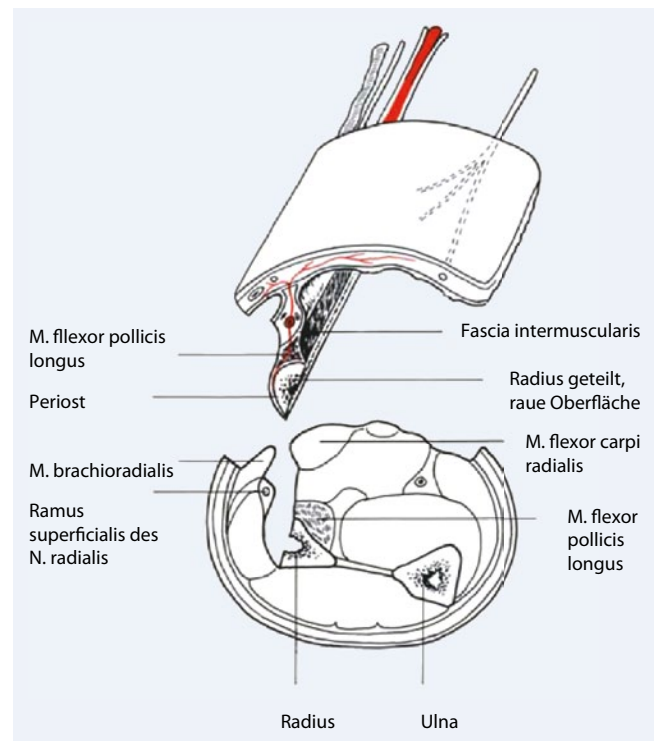


Abb. 1 ▶ Distal gestieltes A.-radialis-Knochentransponat nach Stock und Biemer. (Aus [33])

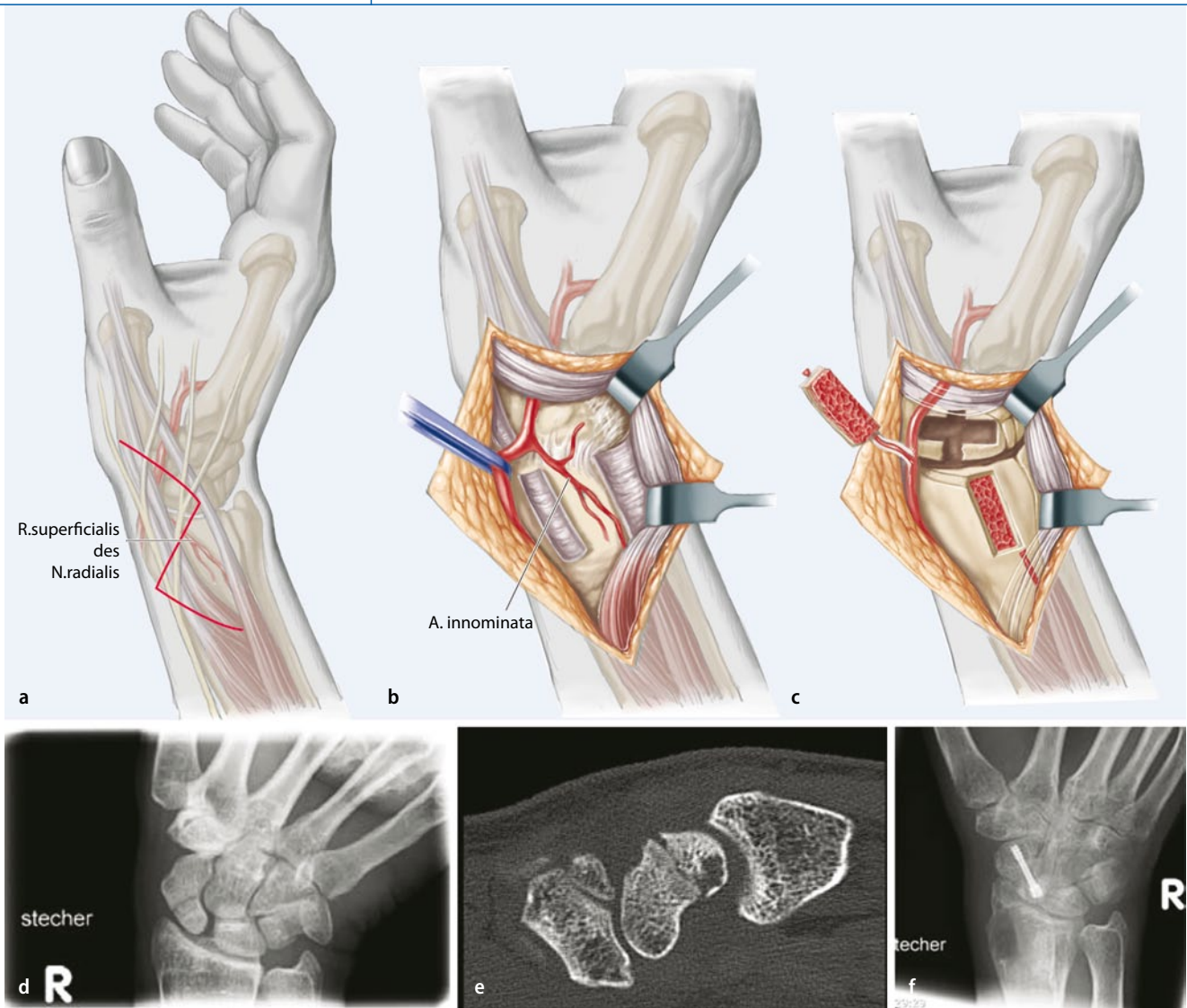


Abb. 2 ▲ Gestieltes Knochentransponat vom dorsalen distalen Radius nach Zaidenberg (1./2. interkompartimentelle supra-retinakuläre Arterie, IKSRA). **a** Schema: Spanplanung. **b** Schema: Spanhebung. **c** Schema: Knochenspantransposition. **d** Stecher-Aufnahme einer Skaphoidpseudarthrose proximales Drittel rechts. **e** Computertomogramm einer Pseudarthrose Typ D2 nach Herbert proximales Drittel. **f** Zustand nach Skaphoidrekonstruktion mit vaskularisiertem Radiusspan und knöchernem Durchbau 6 Monate postoperativ. (Aus [64], S. 192)

Prinzipien

Bei den vaskularisierten Knochentransplantaten unterscheidet man zwischen gestielten und freien mikrovaskulären Knochentransplantaten.

Gestielte Knochentransponate

Die Aa. radialis et ulnaris dienen einer Reihe von osteokutanen oder -muskulären Lappenplastiken als ernährnde Gefäße für die gestielte oder freie Transplantation [55]. Häufig werden diese für die Knochenrekonstruktion bei Skaphoid-

pseudarthrosen oder Lunatumnekrosen erfolgreich eingesetzt [17, 57].

Distal gestielte A.-radialis-Knochentransponate

Der Radialislappen wurde erstmalig 1978 in China von Song et al. [59] beschrieben. Zunächst wurde er aufgrund seines schlanken Designs und seiner Haarlosigkeit zur oralen Rekonstruktion verwendet. Biemer und Stock [2] erkannten 1983 die Möglichkeit des distal gestielten osteokutanen Radialislappen unter Mitnahme eines Radiusknochenstücks zur Handrekonstruktion.

Die A. radialis ist das ernährnde Gefäß. Besonders hervorzuheben sind der lange Gefäßstiel und der hohe Gefäßdurchmesser von 2–3,5 mm (■ Abb. 1). Ein sensibler Anschluss ist durch Mitnahme des N. cutaneus antebrachii lateralis möglich.

Indikationen sind:

- Kombinierte Knochen-Weichteil-Defekte des Metakarpus oder der Phalangen und
- Daumenamputationen [4, 35].

Kontraindikationen sind:

- Verletzungen des Hohlhandbogens sowie

- angeborene Unterbrechung des Hohlhandbogens.

Der Allen-Test sollte vor der Operation routinemäßig durchgeführt werden. Eine präoperative Angiographie ist selten notwendig.

Der Radialislappen besticht durch seine einfache Hebetchnik und durch die Möglichkeit, kutane, knöcherne, tendinöse [46] und nervale Defekte rekonstruieren zu können.

Häufigste Komplikation ist die Knochensinsilität, welche zur Radiusfraktur führen kann. Um dieser entgegenzuwirken, kann der knöcherne Hebedefekt ggf. durch einen Beckenkammspan ausgepoltet werden [68]. Die kutane Lappenentnahmestelle wird bei entsprechend großem Defekt in der Regel mit einem Spalt- oder Vollhauttransplantat gedeckt. Nur bei Lappenbreiten unter 5 cm kann der Hebedefekt ggf. primär verschlossen werden.

Gestielte Knochentransplantate vom Radius

Hierbei handelt es sich um Knochentransplantate aus dem distalen Radius. Die Durchblutung erfolgt retrograd über Äste der A. radialis.

Dorsale Knochentransposition: Dorsalseitig verlaufen die Äste zwischen (interkompartimentelle supraretinakuläre Arterie, IKSRA) oder in den Streckerfächern (Extensorkompartimentarterie, EKA; [52, 55]; **Abb. 2a–c**).

Indikationen [50] sind:

- Skaphoidpseudarthrosen, v. a. proximale Pseudarthrosen mit kleinem sklerosierten, avaskulären Fragment;
- bereits fehlgeschlagene konventionelle Spongiosaplastiken am Skaphoid;
- M. Preiser und
- Osteonekrosen anderer Handwurzelknochen, z. B. Lunatumnekrosen.

Kontraindikationen [50] sind:

- „Scaphoid Nonunion Advanced Collapse (SNAC) wrist“ Stadium 2 und 3;
- avaskuläre Nekrosen mit zerfallenem proximalem Fragment und
- relativ skapholunäre Dissoziation.

Zur Rekonstruktion der Skaphoidpseudarthrose werden v. a. die sehr oberfläch-

Zusammenfassung · Abstract

Obere Extremität 2011 · 6:189–198 DOI 10.1007/s11678-011-0130-4
© Springer-Verlag 2011

L. Just-Kovač · M. Innocenti · M. Sauerbier

Möglichkeiten und Ergebnisse der (freien) vaskularisierten Knochentransplantation im Handbereich

Zusammenfassung

Die vaskularisierten Knochentransplantate stellen bei Knochendefekten im Handbereich ein modernes, erfolgreiches Behandlungskonzept dar. Sie zeigen eine schnellere Einheilung und höhere Einheilungsrate, eine frühere und höhere mechanische Belastbarkeit sowie eine verbesserte Anpassung an neue mechanische Gegebenheiten. Die Indikation ist jedoch für ein optimales Ergebnis kritisch zu stellen.

Die Rekonstruktion der Knochendefekte sollte so früh wie möglich nach Trauma, Infektion oder Tumorresektion erfolgen. Amputationen sollten stets als Mittel der letzten Wahl eingesetzt werden.

Das vaskularisierte Knochentransplantat wird je nach Knochendefekt ausgewählt. Es stehen zahlreiche verschiedene Spenderre-

gionen, wie Fibula, Skapula, Radius, Ulna, Femur und Beckenkamm zur Verfügung. Jede Entnahmeregion hat verschiedene Vor- und Nachteile für die Patienten, die sorgfältig diskutiert werden müssen. Um optimale postoperative Ergebnisse erzielen zu können, ist die umfassende Kenntnis dieser Spenderregionen Voraussetzung. Daher sollten diese Operationen in mikrovaskulär ausgerichteten plastisch-chirurgischen oder handchirurgischen Schwerpunktzentren durchgeführt werden.

Schlüsselwörter

Knochen · Transplantation · Hand · Knochentransplantation · Hand · Behandlungsergebnis

Possibilities and results of (free) vascularized bone graft of the hand and wrist

Abstract

The vascularized bone transplantation or graft is a modern and successful treatment concept in segmental bone loss. Faster healing and higher union rates were shown in several studies. Using vascularized bone grafts, the adaption in mechanical conditions as well as sility are improved. The indications, however, must be critically considered in order to obtain an optimal result. Reconstruction of the bone defect should be performed as quickly as possible after the trauma, infection, or tumor resection. Amputation should always remain the method of last choice. Depending on the existing bone defect, there

are various possible donor sites, e.g., fibula, scapula, ulna, femur, and hip bone. The advantages and disadvantages of each donor site has to be thoroughly discussed prior to the operation to assure an optimal postoperative result. In view of these issues, vascularized bone grafts should be performed in microvascular specialized plastic or hand surgery centers.

Keywords

Bone · Transplantation · Grafting, bone · Hand · Treatment outcome

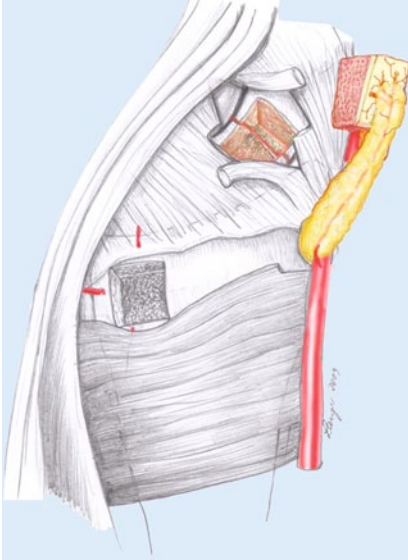


Abb. 3 ▲ Gestieltes Knochentransponat vom palmaren distalen Radius nach Kuhlmann/Matoulin. (Aus [64], S. 193)

lich auf dem Retinaculum extensorum verlaufenden 1./2. und 2./3. IKSRA verwendet. Zur Revaskularisation bei Lunatumnekrose eignet sich besonders die 4./5. IKSRA, die dem dorsalen Abgang der A. interossea anterior entspringt [52]. Die 5. EKA ist das größte aller dorsalen Gefäße mit einem Gefäßdurchmesser von durchschnittlich 0,49 mm [55].

Vorteile der gestielten Radiustransplantation bestehen in der konstanten und gut erforschten Gefäßarchitektur. Nachteile sind gleich dem osteokutanen Radialislappen die Gefahr der Radiusfraktur sowie die Verletzung des Ramus superficialis nervi radialis.

Palmare Knochentransposition: Das palmare Gefäßnetzwerk des distalen Unterarms wird gespeist durch die Aa. ulnaris, radialis et interossea anterior, welche zahlreiche Gefäßstiele zur Verfügung stellen [27]. Der palmare, distal gestielte Radiusspan kann an einem dieser zahlreichen langen Gefäßstiele gehoben werden ([8, 36], **Abb. 3**).

Indikationen sind:

- Skaphoidpseudarthrosen, v. a. mit Humpback-Deformität [9, 27, 32, 36];
- Lunatumnekrosen und
- Knochendefekte des Karpus.

Kontraindikationen sind:

- Zustand nach distaler Radiusfraktur [9] und
- mittlere bis große Knochendefekte.

Vorteile sind die moderate Hebedefekt-morbidität [9] sowie der lange Gefäßstiel. Der palmar gestielte Radiusspan kann aufgrund seiner Größe nur für die Rekonstruktion kleiner Defekte verwendet werden. Die Präparation des Knochentransplantates ist anspruchsvoll. Entsprechende Vorkenntnisse sind Voraussetzung [36].

Distal gestielte

A.-ulnaris-Knochentransponate

Sollte bei größeren Defekten eine freie vaskularisierte Knochentransplantation zur Knochenrekonstruktion im Hand- und Unterarmbereich nicht möglich sein, kann in seltenen Fällen ein distal gestieltes Ulnatransplantat verwendet werden. Versorgendes Gefäß ist die A. ulnaris. Eine signifikante Beeinträchtigung der Perfusion der Hand durch das Verwenden der A. ulnaris konnte ausgeschlossen werden [29]. Als Alternative kann auch die A. interossea anterior verwendet werden ([55],

Abb. 4a, b, c, d, e).

Indikationen sind:

- Knochendefekte des Metakarpus,
- Skaphoidpseudarthrosen [17],
- Tumorresektion des Radius [6, 21] und
- Infekte mit Knochenverlust des Handgelenkes [14].

Kontraindikationen sind:

- Verletzung des oberflächlichen Hohlhandbogens – deshalb ist präoperativ immer der Allen-Test durchzuführen [14] – und
- Verletzung oder Insilität der Membrana interossea – hieraus kann bei zusätzlicher Ulnatransplantation eine radioulnare Insilität resultieren [6, 67].

Distal gestielte A.-interossea-posterior-Knochentransponate

Entlang der Anheftung des Septum intermusculare kann aus dem M. extensor pollicis longus (EPL) eine Muskelschlette, die die muskuloperiostalen Äste der A. interossea posterior enthält, zusammen mit einem etwa 8×0,5 cm großen vaskularisierten Knochentransponat von der mediodorsalen Ulna gehoben werden. Der EPL wird medial von der radialen Ulnakante mit der Membrana interos-

sea abgetrennt. Das weitere operative Vorgehen entspricht dem der fasziokutanen Lappenplastik.

Aufgrund der schlechten Knochenqualität (hauptsächlich kortikaler Knochen), dem Hebedefekt (Frakturgefahr) und der möglichen Beeinträchtigung der Funktion des EPL wird dieses Knochentransponat nur in Ausnahmesituationen eingesetzt.

Gestielte karpale Knochentransponate

Die gestielte Transposition des Os pisiforme nach Beck stellt die häufigste vaskularisierte Knochentransposition aus dem Karpalbereich dar. Aufgrund des Gefäßradius können nur rekonstruktive Eingriffe im Bereich von Os lunatum und Os triquetrum durchgeführt werden. Bei der Präparation ist auf den N. ulnaris zu achten (**Abb. 5 a, b, c, d**).

Gestielte metakarpale Knochentransponate

Eine weitere wichtige Rolle in der rekonstruktiven Handchirurgie spielen die an den dorsalen Metakarpalarterien gestielten lokalen Lappenplastiken. Zunächst wurden hier v. a. die neurovaskulären Insellappen unter Mitnahme des Hautnervens des N. radialis beschrieben [58].

Versorgende Gefäße sind die dorsalen Metakarpalarterien. Die 1. dorsale Metakarpalarterie entspringt direkt der A. radialis (**Abb. 6**), während die 2.–5. dorsalen Metakarpalarterien dem dorsalen Hohlhandbogen entspringen [44]. Ihre Gefäßdurchmesser betragen 1–1,5 mm, wobei die 2. Metakarpalarterie deutlich größer und konstanter ist. Ihre Gefäßstiele sind 5–7 cm lang.

Indikationen sind:

- Skaphoidpseudarthrosen,
- Knochendefekte des Karpus und des distalen Radius [7] sowie
- Daumenkuppdefekte [58].

Kontraindikationen sind:

- mittlere bis große Knochen-Weichteil-Defekte.

Vorteilhaft ist sein langer Gefäßstiel und ein nur kleiner Hebedefekt sowie die relative einfache Hebetchnik [24]. Nachteile sind die begrenzte Knochengröße und mögli-

che Irritationen des N. superficialis nervi radialis [37].

Freie mikrovaskuläre Knochentransplantation

Freie vaskularisierte Fibulatransplantation nach Ueba bzw. Taylor

Die vaskularisierte freie Fibulatransplantation, eingeführt durch Taylor 1974 [62] und Ueba und Fujikawa 1973 [65], ist die bekannteste und am häufigsten angewendete Methode zur anatomischen Rekonstruktion im Handbereich. Vor allem für große, über eine Defektlänge von 6 cm messende Knochendefekte der Extremitäten ist sie Therapie der Wahl. Sie kann als reine Knochentransplantation oder auch als Transplantation eines osteokutanen Lappens erfolgen. Das versorgende Lappengefäß, die A. peronea, ermöglicht durch ihren langen Gefäßstiel mit suffizientem Durchmesser von 1,5–3 mm eine sichere mikrovaskuläre Anastomose [16, 23]. Der diaphysäre Fibulaknochen kann in einer Länge von 20–25 cm entnommen werden.

Indikationen sind:

- Knochendefekte des distalen Radius, der Ulna und des proximalen Humerus, meist nach ausgedehnter Tumorresektion [30] und
- Knochendefekte des Handgelenkes nach Infektion.

Kontraindikationen sind:

- Nichtanlage der A. tibialis anterior oder posterior und
- Zustand nach Fibulafaktur.

Zur Rekonstruktion des Handgelenkes, insbesondere des distalen Radius, im Kindesalter ist die Verwendung des proximalen Fibulaköpfchens (■ **Abb. 7**) Therapie der Wahl, da zusätzlich zur optimalen Gelenkfunktion ein Längenwachstum erzielt werden kann [19]. Die Epiphyse des Fibulaköpfchens versorgenden Gefäße sind die A. genicularis inferior, ein Ast der A. tibialis anterior sowie ein Ast der A. poplitea. Innocenti et al. [20] beschreiben den Ast der A. tibialis anterior als beste und einfachste Wahl, sowohl Epiphyse als auch Diaphyse mit nur einem Gefäßstiel einfach und suffizient zu versorgen. Um einer Knieinsinilität vorzubeugen, soll-



Abb. 4 ▲ Distal gestieltes A.-ulnaris-Knochentransponat. **a** Zustand nach massivem Handgelenkinfekt links infolge intraartikulärer Injektion alio loco. Nach Débridement erfolgte bei der 65-jährigen Patientin die Einlage einer Septopalkette. **b** Komplettre Resektion des Karpus sowie des Gelenkanteils von Radius und distalem Radioulnargelenk (DRUG). **c** Interposition eines an der A. ulnaris gestielten Knochentransplantates. **d** Kompletter knöcherner Einbau des vaskularisierten Ulnaspanes. **e** Radiologisch zeigt sich eine sog. „wide ulnar resection“. **f** Kompletter Faustschluss im Alltag

te das laterale Kollateralband des Femurs und die Sehne des M. biceps femoris auf der lateralen proximalen Tibia reinseriert werden. Die Fibulatransplantation erlaubt eine adäquate Rekonstruktion auch bei ausgedehnten knöchernen Defekten, z. B. nach Tumorresektion (■ **Abb. 8**), und zeigt eine relativ schnelle Knochenheilung. Daher ist die Transplantation der vaskularisierten Fibula ein Standardverfahren für durch Trauma, Infektion oder Tumorresektion verursachte lange Knochendefekte der Extremitäten [26]. Auch

besteht mit der freien Fibulatransplantation bei größeren knöchernen Defekten am Handgelenk die Möglichkeit, eine Handgelenkarthrodese oder eine Teilversteifung (RSL-Fusion) durchzuführen [1]. Die Hebestelle kann bei einfacher ossärer freier Fibulatransplantation problemlos primär verschlossen werden. Im Falle eines osteokutanen Fibulatransplantates wird die Hebestelle bei einer Hautinsel breiter 6–8 cm durch eine Hauttransplantation verschlossen. Um die Hebedefekt-morbidität zu vermindern, sollte das Fi-

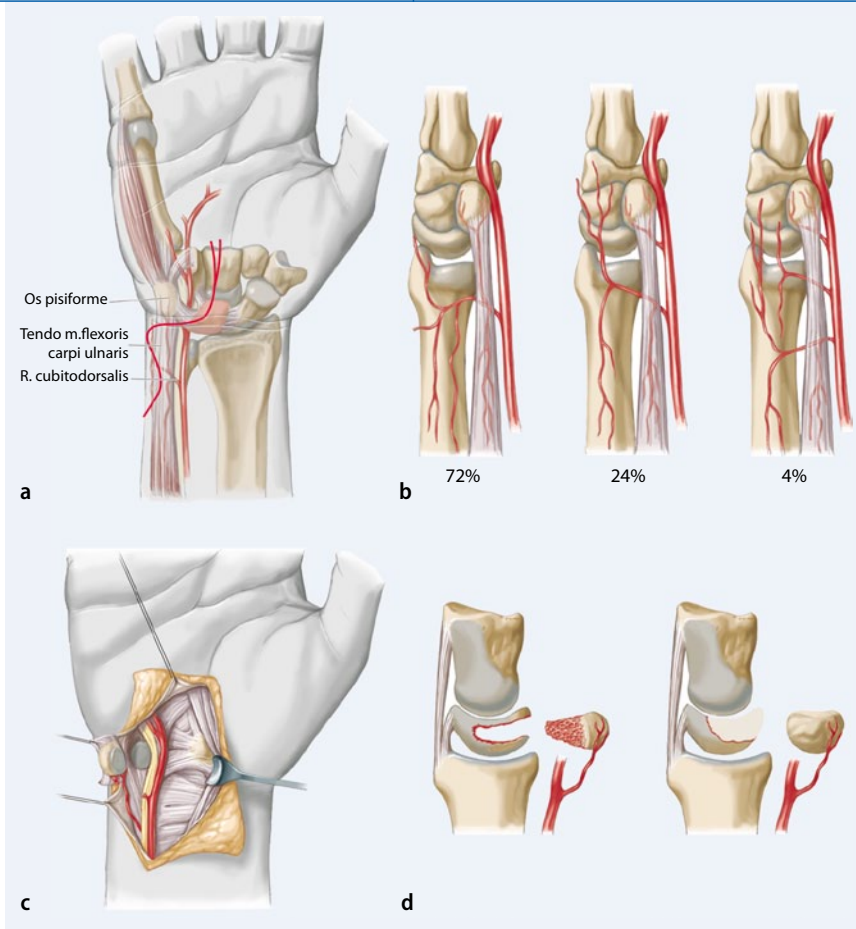


Abb. 5 ▲ Os-pisiforme-Transposition nach Beck zur Neovaskularisierung des Os lunatum bei Lunatummalazie im Stadium II. **a** Anatomie und Lappenplanung, **b** Variationen des R. carpalis dorsalis (sog. R. ulnodorsalis) der A. ulnaris und seiner Äste. **c** Zustand nach Lappenplanung. **d** Intraossäre Transposition nach Beck. (Aus [64])

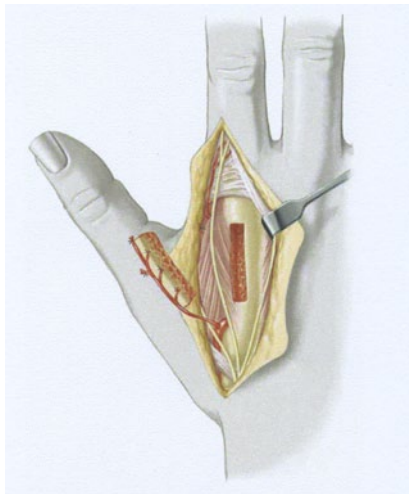


Abb. 6 ▲ Proximal gestieltes A.-metacarpalis-dorsalis-I-Knochentransponat nach Brunelli. (Aus [64], S. 193)

bulaköpfchen in Kniehöhe und das distale Fibulaende im Knöchelbereich belassen werden. Dies verhindert Knie- und Sprunggelenkinsinilitäten.

Freier Skapula- und Paraskapularlappen nach Teot bzw. Nassif

Beide Lappen können als rein kutane, fasciokutane oder unter Mitnahme des lateralen oder medialen Skapularandes als osteokutane [40] Lappen Verwendung finden [13]. Sowohl Skapula- als auch Paraskapularlappen werden von der A. circumflexa scapulae versorgt. Der Gefäßdurchmesser beträgt durchschnittlich 2–3,5 mm. Skapula- und Paraskapularlappen können jeweils einzeln oder gemeinsam an einem Gefäßstiel transplantiert werden. Zusätzlich ist die Transplantation sog. Chimärlappen durch Kombinationen mit anderen Lappenplastiken aus dem Versorgungsgebiet der A. subscapu-

laris möglich [13]. Bei exponierten Sehnen kann durch den vaskularisierten Faszienteil Gleitgewebe rekonstruiert werden.

Indikationen sind:

- ausgedehnte kombinierte Knochen-Weichteil-Defekte nach Trauma, Tumorsektion oder Infekten [51].

Vorteil ist die Möglichkeit der Mitnahme einer ausreichenden Knochenlänge, in der Literatur bis 16 cm beschrieben [56]. Im Vergleich zu Fibula- und Beckenkamm-lappen kann beim kombinierten Skapula- und Paraskapularlappen eine fast doppelt so große Hautinsel transplantiert werden, weshalb dieser Lappen v. a. bei mittleren und größeren Haut-/Weichteildefekten eingesetzt wird [51].

Die Hebemorbidität ist bis auf eine hypertrophe unschöne Narbenbildung, welche besonders junge Patientinnen stört, gering. Der Entnahmebereich neigt zur Serombildung, weshalb Drainagen an der Hebestelle lange belassen werden sollten. Einschränkungen bezüglich der Schulterfunktion sind minimal [54].

Freier osteokutaner vorderer Beckenkammspan nach Taylor

Die an der A. circumflexa ilium profunda gestielte Lappenplastik wurde erstmalig erfolgreich durch Taylor et al. [63] und Sanders et al. [48] 1979 durchgeführt. Der Gefäßdurchmesser beträgt im Schnitt 2–3 mm. Der Leistenlappen kann als alleiniger Knochen oder unter Mitnahme des M. obliquus internus auch als osteomuskulärer oder als osteokutaner Lappen fungieren.

Indikationen sind:

- Skaphoidpseudarthrose und Lunatumnekrose [12, 18] sowie
- Handgelenkdestruktion nach Infekten oder Tumorsektion.

Kontraindikationen sind:

- SNAC-Wrist Stadien 2 und 3 [12].

Meist wird der in seiner Form geschwungene Leistenlappen zur Mandibularekonstruktion verwendet und ist bei der Rekonstruktion von diaphysalem Knochen eher minderwertig, da hier multiple Osteotomien erforderlich sind [53].

Zu nennende Vorteile sind die konstante Anatomie der A. circumflexa ilium

profunda, der 5–7 cm lange, im Durchmesser starke Gefäßstiel sowie die optimale Knochenqualität des Beckenknochens. Durch den gut präparierbaren, jedoch aber auch sehr kurzen Gefäßstiel kann ein sehr kleiner Knochenblock, der auch die präzise Lunatum- und Skaphoidrekonstruktion ermöglicht [18], auch ohne Hautanteil präpariert werden.

Freies vaskularisiertes Knochentransplantat von der medialen Femurkondyle nach Masquelet

Im Falle kleiner knöcherner Defekte, in denen ein großes vaskularisiertes Knochentransplantat wie die freie Fibula nicht benötigt wird, wurden Defekte lange Zeit z. B. durch einen vaskularisierten Beckenkamm rekonstruiert. Eine weitere Alternative bietet die freie mediale Femurkondylentransplantation, die besonders bei nur kleinen Knochendefekten verwendet wird [69]. Primär wurde die vaskularisierte mediale Femurkondyle zur Rekonstruktion bei Pseudarthrosen des Humerus, der Ulna oder im Metakarpalbereich verwendet [47]. Aber auch zur Rekonstruktion knöcherner Defekte von Tibia und Kalkaneus wurde die freie Femurkondyle bisher erfolgreich verwandt [43]. Versorgendes Gefäß ist die A. genicularis descendens (■ **Abb. 9**).

Indikationen sind:

- Skaphoidpseudarthrosen [10, 22], v. a. mindervaskularisierte Pseudarthrosen mit Humpback-Deformität [3, 28];
- avaskuläre Nekrosen des proximalen Skaphoidpols sowie
- Pseudarthrosen des Humerus [39], der Klavikula [11], der Ulna und des Metakarpus.

Kontraindikationen sind:

- fortgeschrittene Radiokarpalarthrose (SNAC-Stadien 2 und 3, [3]).

Der Femur ist in seiner Knochendichte gleich bzw. sogar höherwertig gegenüber dem Skaphoid und um einiges robuster als der Radius. Das Knochentransplantat kann problemlos geformt und optimal in v. a. irreguläre Defekte eingepasst werden [5].

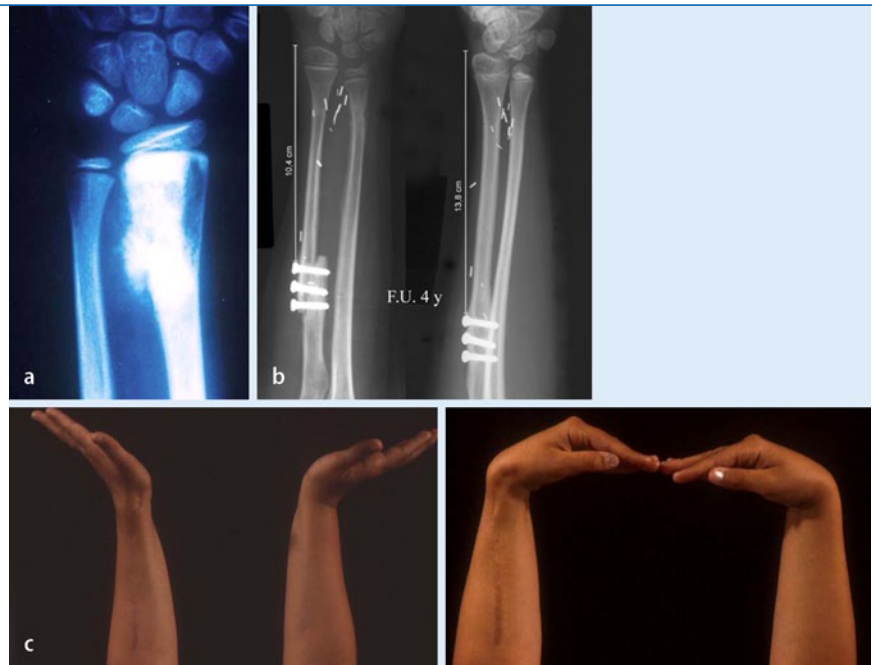


Abb. 7 ▲ Freie Fibulalappenplastik mit Epiphysentransplantation zur Radiusrekonstruktion. **a** Röntgenaufnahme eines jungen Patienten mit Osteosarkom des rechten Radius. **b** Röntgenaufnahme nach neoadjuvanter Chemotherapie und onkologischer Resektion des Tumors sowie Rekonstruktion mit 10,4 cm langer freier Fibula einschließlich Epiphyse (links). Röntgenaufnahme 4 Jahre postoperativ. Der Patient ist weiter tumorfrei bei perfektem Längenwachstum (13,8 cm) und hypertroph eingeheltem Knochen (rechts). **c** Klinischer Aspekt 4 Jahre postoperativ. Handgelenkstreckung (links), Handgelenkbeugung (rechts)

Vaskuläre individuelle Normvarianten erschweren das Heben des Lappens. Mikrochirurgische Erfahrungen daher zwingend notwendig. Die Hebemorbidity ist im Gegensatz zur freien Fibula gering [3, 5]. Vereinzelt wird postoperativ eine Dysästhesie im Versorgungsgebiet des N. saphenus beschrieben.

Diskussion

Die vaskularisierten Knochentransplantate haben den großen Vorteil, Knochendefekte rekonstruieren und gleichzeitig die Knocheneinheilung unterstützen zu können. Im Vergleich zu konventionellen nichtvaskularisierten Knochentransplantaten können die vaskularisierten Knochentransplantate avaskuläre Knochennekrosen revaskularisieren [61].

In einer Metaanalyse wurden avaskuläre Knochennekrosen des Skaphoids hinsichtlich ihrer Rekonstruktionsmethode verglichen. Es zeigten sich Heilungsraten von 47% bei konventionellen nichtvaskularisierten Knochentransplantaten im Vergleich zu 88% bei vaskularisierten Knochentransplantaten. Am häufigsten

erfolgreich zur Rekonstruktion eingesetzt wurde der distal dorsal gestielte Radiusspan [38].

Vergleicht man jedoch Ergebnisse anderer Studien, findet man beim Einsatz des distal gestielten Radiusspans Heilungsraten zwischen 27 und 60% [32, 60].

Jones et al. [22] erzielten beim Einsatz des distal gestielten dorsalen Radiusspans eine Heilungsrate von 71%. Fraglich ist jedoch, wie es zu diesen bedeutenden Unterschieden gekommen ist. Vorrangig genannt wurden Gründe, wie der Nikotinabusus des Patienten, die ausgedehnte avaskuläre Knochennekrose und v. a. erschwerte präoperative Ausgangsbedingungen, wie der bereits eingetretene karpale Kollaps. Fast 100%ige Heilungsraten beschrieben Jones et al. [22], die beim Vorliegen eines karpalen Kollaps nun stets direkt auf ein größeres Knochentransplantat, wie den freien vaskularisierten Femurspan, zurückgriffen. Sie beziehen den erzielten operativen Erfolg auf die nun optimale Rekonstruktion der Architektur des Skaphoids, um einen physiologischen skapholunären Winkel wiederherstellen zu können.

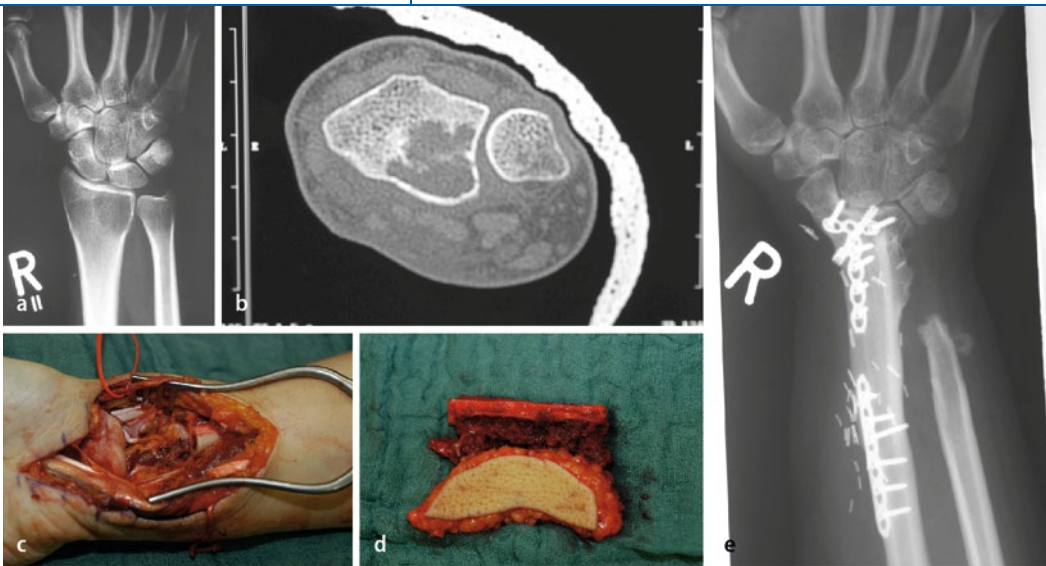


Abb. 8 ◀ Freies Fibula-Diaphysen-Transplantat. **a** Röntgenaufnahme einer 22-jährigen Patientin mit Riesenzelltumor des distalen Radius und Einbruch in das distale Radioulnargelenk (DRUG). **b** Computertomogramm des DRUG. **c** Intraoperativer Situs nach onkologischer Tumorresektion des Radius einschließlich DRUG. **d** Gehobene osteokutane freie Fibula für eine radioscapholunäre Arthrodesese. **e** Röntgenaufnahme 5 Jahre postoperativ mit knöchernem Durchbau

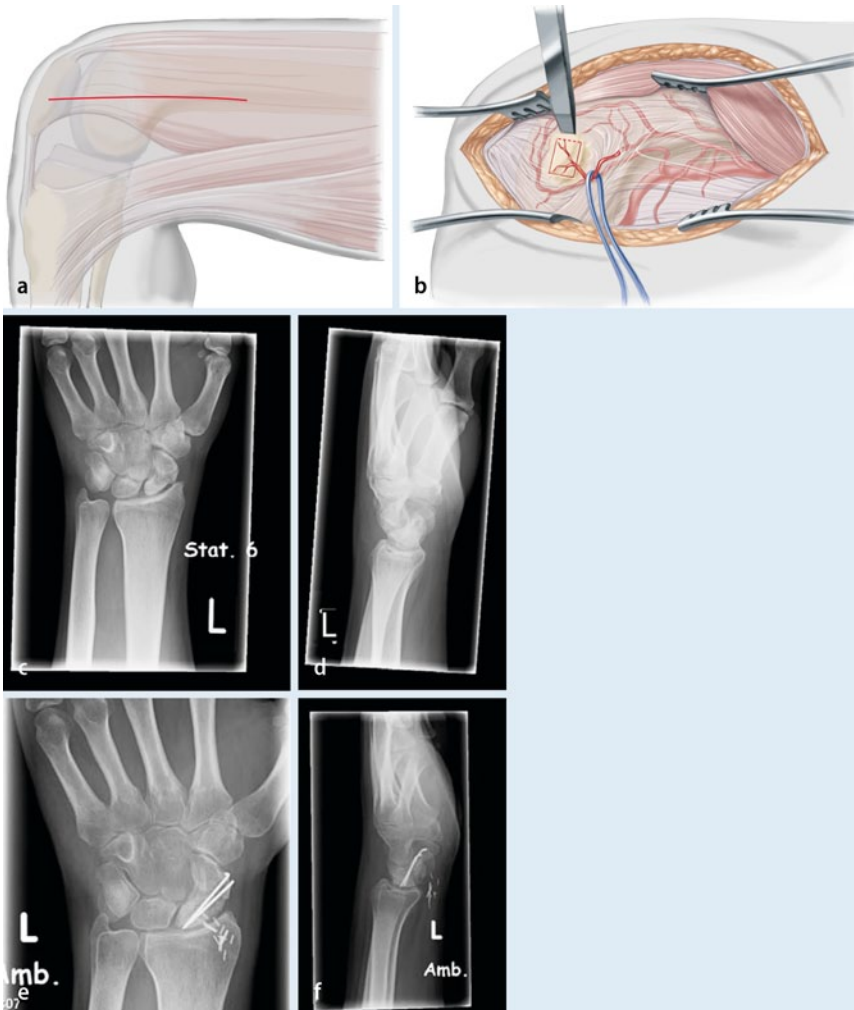


Abb. 9 ▲ Freies vaskularisiertes Knochentransponat von der medialen Femurkondyle nach Masquelet. **a** Schema: Planung der Hautinzision. **b** Schema: Lappenhebung. **c** Röntgenaufnahme im posterior-anterioren Strahlengang eines 20-jährigen Patienten mit Skaphoidpseudarthrose und großem Substanzdefekt. **d** Seitliche Röntgenaufnahme bei „Dorsal-intercalated-segmental-insility“ (DISI)-Position des Os lunatum. **e** Nativröntgenaufnahme 1,5 Jahre postoperativ nach Implantation eines freien vaskularisierten Femurspanes und Kirschner(K)-Draht-Osteoarthrodesese. Der Knochenspan ist sehr gut eingeeilt. **f** Im seitlichen Strahlengang achsengerechte Stellung des Karpus. (Aus [64], S. 198)

Die vaskularisierte Fibulatransplantation ist die bekannteste und am häufigsten angewandte Methode zur Rekonstruktion im Handbereich [15]. Speziell bei ausgeprägten Knochendefekten ist er wegen seiner zahlreichen Vorteile, wie Länge, Silität, dem sicheren Gefäßstiel und der vorteilhaften Stiellanatomie sowie einer geringen Hebermorbidität Lappen der Wahl [16, 23, 26]. Vor allem die „folded fibula“, die geteilte Fibula, ermöglicht bei großen kombinierten Knochen-Weichteil-Defekten eine optimale einzeitige Rekonstruktionsmöglichkeit. Hierbei wird die Fibula knöchern in zwei Hälften zerteilt. Über das Periost wird die Perfusion beider Fragmente über die A. peronea sichergestellt [41].

Ping et al. [45] beschrieben den Fall eines 24-jährigen Mannes, der sich im Rahmen eines Autounfalles eine komplizierte Unterarmfraktur zuzog, welche durch Plattenosteosynthese versorgt wurde. Postoperativ kam es zur Pseudarthrose von Ulna und Radius mit eingeschränkten Umwendebewegungen im distalen Handgelenk. Radius und Ulna wurden durch eine sog. „folded fibula“ im Rahmen eines einzeitigen knöchernen Eingriffes rekonstruiert. In den postoperativen Verlaufsuntersuchungen wurden sensationelle Ergebnisse beschrieben.

Die proximale freie Fibula zeigte auch in der Rekonstruktion des distalen Radius nach Tumorresektion bei Kindern sehr gute Ergebnisse. Bei Kindern muss nicht nur der jeweilige Knochen rekonstruiert, sondern ein Mitwachsen der Ex-

tremität ermöglicht werden, um späteren Behinderungen vorzubeugen. Unter Mitnahme der Epiphysenfuge konnten Innocenti et al. [20] ein paralleles Wachstum von Ulna und Radius herstellen und bisherige Komplikationen, wie ein Ulna-Impingement oder die radiale Klumphand verhindern. Die Autoren beschrieben nach einem Follow-up von 3 Jahren sehr gute Ergebnisse in der gemessenen Handgelenkbeweglichkeit.

Die vaskularisierten Knochentransplantate sind heutzutage aus der Handrekonstruktion nicht mehr wegzudenken. Im Falle von Therapieversagern durch vorangegangene nichtvaskularisierte Knochentransplantate sowie bei ausgedehnten knöchernen Defekten können bei streng gestellter Indikation mit vaskularisierten Knochentransplantaten sehr gute Resultate erzielt werden. Es muss jedoch stets auf ein ausreichendes Débridement, eine perfekte Einpassung des Transplantates und auf eine sile, achsengerechte Osteosynthese geachtet werden. Um den Patienten bestmöglich versorgen zu können, sollte stets eine gute präoperative Planung erfolgen. Die Durchführung der Operation sollte einer mikrochirurgisch spezialisierten Klinik vorbehalten bleiben.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Dr. med. habil. M. Sauerbier
Klinik für Plastische-, Hand- und Rekonstruktive Chirurgie; Kliniken des Main-Taunus-Kreises GmbH - Kooperationsklinik für Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Frankfurt, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Kronbergerstr. 36, 65812 Bad Soden am Taunus
msauerbier@kliniken-mtk.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Bickert B, Heitmann C, Germann G (2002) Fibuloscapho-lunate arthrodesis as a motion-preserving procedure after tumour resection of the distal radius. *J Hand Surg Br* 27:573–576
2. Biemer E, Stock W (1983) Total thumb reconstruction: a one-stage reconstruction using an osteocutaneous forearm flap. *Br J Plast Surg* 36:52–55
3. Bürger H, Gaggl A, Kukutschki W, Müller E (2009) Das freie mikrovaskuläre Knochentransplantat vom medialen Femurkondylus zur Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose. *Oper Orthop Traumatol* 21:396–404

4. Chacha B, Soin K, Tan KC (1987) One stage reconstruction of intercalated defect of the thumb using the osteocutaneous radial forearm flap. *J Hand Surg Br* 12-B:86–92
5. Choudry U, Bakri K, Moran S, Karacor Z, Shin A (2008) The vascularized medial femoral condyle periosteal bone flap for the treatment of recalcitrant bony nonunions. *Ann Plast Surg* 60:174–180
6. Cooney WP, Damron TA, Sim FA, Linscheid RL (1997) En bloc resection of tumors of the distal end of the ulna. *J Bone Joint Surg Am* 79-A:406–412
7. Crow SA, Chen L, Lee JH, Rosenwasser MP (2005) Vascularized bone grafting from the base of the second metacarpal for persistent distal radius nonunion: a case report. *J Orthop Trauma* 19:483–486
8. Dailliana Z, Malizos KN, Urbaniak JR (2005) Vascularized periosteal flaps of distal forearm and hand. *J Trauma* 58:76–82
9. Dailliana Z, Malizos KN, Zachos V et al (2006) Vascularized bone grafts from the palmar radius for the treatment of waist nonunions of scaphoid. *J Hand Surg Br* 31-A:397–404
10. Doi K, Oda T, Soo-Heong T, Nanda V (2000) Free vascularized bone graft for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Am* 25:507–519
11. Fuchs B, Steinmann P, Bishop AT (2005) Free vascularized corticoperiosteal bone graft for the treatment of persistent nonunion of the clavicle. *J Shoulder Elbow Surg* 14:264–268
12. Gabl M, Pechlaner S, Zimmermann R (2009) Free vascularized iliac bone graft for the treatment of scaphoid nonunion with avascular proximal fragment. *Oper Orthop Traumatol* 21:386–395
13. Germann G, Bickert B, Steinau HU et al (1999) Versatility and reliability of combined flaps of the subscapular system. *Plast Reconstr Surg* 103:1386–1399
14. Germann G, Sauerbier M, Steinau HU, Wood MB (2001) Reverse segmental pedicled ulna transfer as a salvage procedure in wrist fusion. *J Hand Surg Br* 26-B:589–592
15. Gerwin M, Weiland AJ (1992) Vascularized bone grafts to the upper extremity. *Microsurgery* 8:509–523
16. Giessler GA, Bickert B, Sauerbier M, Germann G (2004) Das freie mikrovaskuläre Fibulatransplantat zur Skelettrekonstruktion nach Tumorsektionen am Unterarm – Erfahrungen aus fünf Fällen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 36:301–307
17. Guimberteau JC, Panconi B (1990) Recalcitrant non-union of the scaphoid treated with a vascularized bone graft on the ulnar artery. *J Bone Joint Surg Am* 72-A:88–97
18. Harpf C, Gabl M, Reinhart C et al (2001) Small free vascularized iliac crest bone grafts in reconstruction of the scaphoid bone: A retrospective study in 60 cases. *Plast Reconstr Surg* 108:664–674
19. Innocenti M, Ceruso M, Manfrini M et al (1998) Free vascularized growth-plate transfer after bone tumor resection in children. *J Reconstr Microsurg* 14:137–143
20. Innocenti M, Delcroix L, Balatri A (2008) Vascularized growth plate transfer for distal radius reconstruction. *Semin Plast Surg* 22:186–194
21. Intuwongse CS (1998) Reconstruction following en bloc resection of a giant cell tumor of the distal radius using a vascularized pedicle graft of the ulna. *J Hand Surg* 23-A:742–747
22. Jones DB Jr, Moran SL, Bishop AT, Shin AY (2010) Free-vascularized medial femoral condyle bone transfer in the treatment of scaphoid nonunions. *Plast Reconstr Surg* 125:1176–1184
23. Jupiter JB, Gerhard HJ, Guerrero J et al (1997) Treatment of segmental defects of the radius with use of the vascularized osteoseptocutaneous fibular autogenous graft. *J Bone Joint Surg Am* 79:542–550
24. Khan K, Riaz M, Small JO (1998) The use of the second dorsal metacarpal artery for vascularized bone graft. An anatomical study. *J Hand Surg Br* 23(3):308–310.
25. Kim JY, Youssef A, Subramanian V, Rogers BA et al (2004) Upper extremity reconstruction following resection of soft tissue sarcomas: A functional outcomes analysis. *Ann Surg Oncol* 11:921–927
26. Kremer T, Bickert B, Germann G et al (2006) Outcome assessment after reconstruction of complex defects of the forearm and hand with osteocutaneous free flaps. *Plast Reconstr Surg* 118:443–454
27. Kuhlmann JN, Mimoun M, Boabighi A, Baux S (1987) Vascularized bone graft pedicled on the volar carpal artery for non-union of the scaphoid. *J Hand Surg* 12:203–210
28. Larson AN, Bishop AT, Shin AY (2007) Free medial femoral condyle bone grafting for scaphoid nonunions with humpback deformity and proximal pole avascular necrosis. *Tech Hand Up Extrem Surg* 11:246–258
29. Lin SD, Lai CS, Chiu CC (1984) Venous drainage in the reverse forearm flap. *Plast Reconstr Surg* 74:508–512
30. Malizos KN, Dailliana ZH, Innocenti M et al (2010) Vascularized bone grafts for upper limb reconstruction: defects at the distal radius, wrist, and hand. *J Hand Surg Am* 35:1710–1718
31. Malizos KN, Dailliana ZH, Kirou M et al (2001) Longstanding nonunions of scaphoid fractures with bone loss: successful reconstruction with vascularized bone grafts. *J Hand Surg Br* 26:330–334
32. Malizos K, Zachos V, Dailliana Z et al (2007) Scaphoid nonunions: Management with vascularized bone grafts from the distal radius: A clinical and functional outcome study. *Plast Reconstr Surg* 119:1513–1525
33. Mantelkow R.T. (Hrsg) *Microvascular Reconstruction*, Springer Berlin 1986, S. 29
34. Mastorakos DP, Disa JJ, Athanasian E et al (2002) Soft-tissue flap coverage maximizes limb salvage after allograft bone extremity reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 109:1567–1573
35. Matev I (1985) The osteocutaneous pedicle forearm flap. *J Hand Surg* 10-B:179
36. Mathoulin C, Haerle M (1998) Vascularized bone graft from the palmar carpal artery for treatment scaphoid nonunion. *J Hand Surg* 23-B:318–323
37. Mathoulin C, Brunelli F (1998) Further experience with the index metacarpal vascularized bone graft. *J Hand Surg* 23-B:311–317
38. Merrell GA, Wolfe SW, Slade JG III (2000) Treatment of scaphoid nonunions: Quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am* 27:685–691
39. Muramatsu K, Doi K, Ihara K et al (2003) Recalcitrant posttraumatic nonunion of the humerus: 23 patients reconstructed with vascularized bone grafts. *Acta Orthop Scand* 74:95–97
40. Neumeister M, Hegge T, Amalfi A, Sauerbier M (2010) The reconstruction of the mutilated hand. *Semin Plast Surg* 24:77–102
41. O'Brien BM, Gumley GJ, Dooley BJ, Pribaz JJ (1988) Folded free vascularized fibula transfer. *Plast Reconstr Surg* 82:311–318
42. Payatakes A, Sotereanos DG (2009) Pedicled vascularized bone grafts for scaphoid and lunate reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg* 17:744–755

AE-Reisestipendien 2011

Die Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik e.V. schreibt zwei AE-Reisestipendien zur Teilnahme am Kongress „Current Concepts in Joint Replacement“ in Orlando/Florida vom 07.-10.12.2011 aus.

Teilnahmeberechtigt sind Orthopäden und Unfallchirurgen und alle Mitglieder der AE und AE-ComGen. Erwartet wird ein umfassender Kongressbericht in deutscher und englischer Sprache, in dem klar und deutlich herausgearbeitet ist, was im Moment „State of the art“ in USA ist und welche Trends in den kommenden Jahren zu erwarten sind. Der Report soll auf der Website der AE allen Interessierten zugänglich gemacht werden.

Übernommen werden: Flugticket economy class, Kongressteilnahmegebühr, Übernachtung in Orlando (Kongresshotel) während des Kongresses, 75,00 € Spesen pro Tag.

Bewerbungen inkl. Curriculum Vitae und Schriftenverzeichnis müssen in 6-facher Ausfertigung bis zum 30.09.2011 bei der Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik e.V., Oltmannsstraße 5, 79100 Freiburg eingegangen sein.

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Weitere Informationen unter:
Tel. 0761/4564 – 7666,
www.ae-germany.com

43. Pelzer M, Reichenberger M, Germann G (2010) Osteo-periosteal-cutaneous flaps of the medial femoral condyle: a valuable modification for selected clinical situations. *J Reconstr Microsurg* 26:291–294
44. Pierer G, Steffen J, Hoflehner H (1992) The vascular blood supply of the second metacarpal bone: anatomic basis for a vascularised bone graft in hand surgery. *Surg Radiol Anat* 14:103–112
45. Ping Z, Xing-Yan L, Xu-Sheng L (2010) Simultaneous radius and ulna reconstruction with folded free vascularized fibula transfer: case report. *J Hand Surg* 35:72–76
46. Reid CD, Moss ALH (1983) One-stage flap repair with vascularised tendon grafts in a dorsal hand injury using the „Chinese“ forearm flap. *Br J Plast* 36:473–479
47. Sakai K, Doi K, Kawai S (1991) Free vascularized thin corticoperiosteal graft. *Plast Reconstr Surg* 87:290–298
48. Sanders R, Mayou BJ (1979) A new vascularized bone graft transferred by microvascular anastomosis as a free flap. *Br J Surg* 66:787
49. Sauerbier M, Bishop AT (2001) Anwendungsmöglichkeiten gestielter vaskularisierter Knochentransplantate vom distalen Radius. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 33:387–400
50. Sauerbier M, Bishop A, Ofer N (2009) Gestielte vaskularisierte Knochentransplantate von der Streckseite des peripheren Speichenendes zur Skaphoidekonstruktion. *Oper Orthop Traumatol* 21:373–385
51. Sauerbier M, Erdmann D, Pelzer M, Germann G (2000) Microsurgical reconstruction of defects of the forearm and hand using the combined scapular/parascapular free flap. In: Schuind F, Fontaine S de, Van Geertruyden J, Soucacos PN (Hrsg) Recent advances in upper and lower extremity microvascular reconstructions. World Scientific Co
52. Sauerbier M, Erdmann D, Bickert B et al (2001) Die Defektdeckung an Hand und Unterarm mit dem freien Skapula-Parascapularlappen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 33:20–25
53. Serafin D (1996) The groin – iliac crest – deep circumflex iliac artery flap. In: Serafin D (Hrsg) Atlas of microsurgical composite tissue transplantation, WB Saunders, Philadelphia, S 525–535
54. Serafin D (1996) The scapular osteocutaneous flaps. In: Serafin D (Hrsg) Atlas of microsurgical composite tissue transplantation, WB Saunders, Philadelphia, S 347–358
55. Sheetz KK, Bishop AT, Berger RA (1995) The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularised pedicle bone grafts. *J Hand Surg* 20-A:902–914
56. Shimizu T, Ohno K, Michi K et al (1997) Morphometric examination of the free scapula flap. *Plast Reconstr Surg* 99:1947–1953
57. Shin AY, Bishop AT (1999) Treatment of Kienböck's disease with dorsal distal radius pedicled vascularized bone grafts. *Atlas of the hand clinics* 4:91–118
58. Small JO, Brennen MD (1990) The second dorsal metacarpal artery neurovascular island flap. *Br J Plast Surg* 43:17–23
59. Song R, Gao Y, Yu Y, Song Y (1982) The forearm flap. *Clin Plast Surg* 9:21–267
60. Straw RG, Davis TR, Dias JJ (2002) Scaphoid nonunion: Treatment with a pedicled vascularized bone graft based on the 1, 2 intercompartmental suprapretinacular branch of the radial artery. *J Hand Surg Br* 27:413
61. Sunagawa T, Bishop AT, Muramatsu K (2000) Role of conventional and vascularized bone grafts in scaphoid nonunion with avascular necrosis: A canine experimental study. *J Hand Surg Am* 25:849–859
62. Taylor GI, Miller GBH, Ham FJ (1975) The free vascularized bone graft: a clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr Surg* 55:533–544
63. Taylor GI, Townsend P, Corlett R (1979) Superiority of the deep circumflex iliac vessels as the supply for free groin flaps: Experimental work. *Plast Reconstr Surg* 64:595
64. Towfigh H, Hierner R, Langer M, Friedel R (2011) (Hrsg) Handchirurgie, Band I, Springer, Berlin
65. Ueba Y, Fujikawa S (1983) Nine years follow up of a vascularized fibular graft in neurofibromatosis: A case report and literature review. *Jpn J Orthop Trauma Surg* 26:595
66. Vetter M, Germann G, Bickert B, Sauerbier M (2010) Current strategies for sarcoma reconstruction at the forearm and hand. *J Reconstr Microsurg* 26:455–460
67. Wolfe SW, Mih AD, Hotchkiss RN et al (1998) Wide excision of the ulna: a multicenter case study. *J Hand Surg* 23-A:222–228
68. Yajima H, Tamai S, Yamauchi T, Mizumoto S (1999) Osteocutaneous radial forearm flap for hand reconstruction. *J Hand Surg* 24-A:594–603
69. Yamamoto H, Jones DB Jr, Moran SL et al (2010) The arterial anatomy of the medial femoral condyle and its clinical implications. *J Hand Surg Eur* 35:569–574