

Makroamputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität

Milomir Ninkovic, Frank Herter, Tristan I. Gerstung, Robert Hierner

41.1 Allgemeines – 1136

- 41.1.1 Chirurgisch relevante Anatomie und Physiologie – 1136
- 41.1.2 Epidemiologie – 1136
- 41.1.3 Ätiologie – 1136
- 41.1.4 Diagnostik – 1136
- 41.1.5 Klassifikation – 1138
- 41.1.6 Indikationen und Differenzialtherapie – 1139
- 41.1.7 Therapie – 1144
- 41.1.8 Besonderheiten im Wachstumsalter – 1156
- 41.1.9 Ergebnisse – 1158
- 41.1.10 Sozioökonomische Gesichtspunkte – 1163

41.2 Spezielle Techniken – 1164

- 41.2.1 Technik der Replantation im distalen Unterarmbereich – 1164
- 41.2.2 Technik der Replantation im proximalen Unterarmbereich – 1165
- 41.2.3 Technik der Replantation im Ellenbogenbereich – 1166
- 41.2.4 Technik der Replantation im Schulter- und Oberarmbereich – 1166
- 41.2.5 Technik der Versorgung der Mehretagenamputationsverletzung – 1166
- 41.2.6 Technik der Versorgung der bilateralen Amputationsverletzung – 1167
- 41.2.7 Technik der Exartikulation im Handgelenkbereich – 1167
- 41.2.8 Technik der primären Stumpfbildung im Unterarmbereich – 1167
- 41.2.9 Technik der primären Stumpfbildung im Ellenbogenbereich – 1171
- 41.2.10 Technik der primären Stumpfbildung im Oberarmbereich – 1172
- 41.2.11 Technik der primären Stumpfbildung durch Exartikulation im Glenohumeralbereich – 1176
- 41.2.12 Technik der interskapulothorakalen Amputation (»forequater amputation«) – 1177
- 41.2.13 Technik der allogenen Extremitätentransplantation im Unterarmbereich – 1177
- 41.2.14 Technik der allogenen Extremitätentransplantation im Oberarmbereich – 1181

41.3 Fehler Gefahren und Komplikationen – 1181

- 41.3.1 Replantation – 1182
- 41.3.2 Primäre Stumpfversorgung mit frühzeitiger prothetischer Versorgung – 1183
- 41.3.3 Sekundäre prothetische Versorgung – 1183
- 41.3.4 Allogene Extremitätentransplantation – 1183

Weiterführende Literatur – 1184

41.1 Allgemeines

Alle Amputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität distal des Radiokarpalgelenks werden als Mikroamputationsverletzungen bezeichnet.

Als Makroamputationen im Bereich der oberen Extremität bezeichnet man Amputationsverletzungen proximal des Radiokarpalgelenks.

41.1.1 Chirurgisch relevante Anatomie und Physiologie

Konzept der »Funktionskette obere Extremität«

Die obere Extremität kann als eine Funktionskette angesehen werden, deren Glieder jeweils einen spezifischen Beitrag für ihre Hauptfunktionen, Erhaltung des Körpergleichgewicht, Stütz-, Halte- und Greiffunktion, nonverbale Kommunikation und taktile Gnosis, beisteuern. Allgemein nimmt die Gesamtfunktion von proximal nach distal zu (■ Tab.41.1). Ein Verlust der gesamten oberen Extremität proximal des Glenohumeralgelenks oder mit nur sehr kurzem Oberarmstumpf führt zu einer Minderung der Erwerbsfähigkeit von 80%. Die einfachste Greif- und Haltefunktion stellt die thorakohumerale Zange zwischen der lateralen Thoraxwand und der medialen Oberarmfläche dar. Die Zangenfunktion kann passiv oder aktiv sein. Bei der passiven Zangenfunktion erfolgt unter Ausnutzung der Schwerkraft die Öffnung durch ipsilaterale, der Zangenschluss durch kontralaterale Inklination. Für eine aktive Zangenöffnung ist eine freie Bewegung im skapulothorakalen Gleitspalt und eine Kontraktion der Mm. levator scapulae, rhomboidei, serratus anterior und trapezius (pars cranialis) notwendig, um ein aktiv (Kontraktion der Mm. teres major et subscapularis) oder passiv (Kapsulodese, Arthrodese) stabilisiertes Glenohumeralgelenk zu bewegen. Die aktive Abduktion im Glenohumeralgelenk wird primär durch den M. suprascapularis ausgeführt. Für eine aktive Adduktion im Schulterbereich benötigt man den M. pectoralis major (pars sternalis) und/oder den M. latissimus dorsi, wobei der lange Bizepskopf und der M. coracobrachialis als Hilfsmuskel fungieren. Die Amputation im Oberarm oder im Ellenbogengelenk führt zu einer Minderung der Erwerbsfähigkeit von 70%. Die isolierte Ellenbogenbeugung bei komplett gelähmter Unterarm- und Handmuskulatur führt zu einer signifikanten Funktionsverbesserung der gesamten Extremität, da es dem Patienten möglich wird, bimanuelle Tätigkeiten auszuführen. Durch Ablegen der gelähmten Hand auf einen Gegenstand im Sinne eines Pressmechanismus kann ein Objekt fixiert werden. Ist eine aktive Ellenbogenbeugung auf 90° möglich kann eine Tablettfunktion ausgeführt werden. Bei einer aktiven Ellenbogenflexion von mehr als 90° ist eine Hakenfunktion möglich. Eine aktive Ellenbogenstreckung führt zu einer signifikanten Verbesserung der Globalfunktion der Extremität, wenn eine aktive Schulterabduktion/-flexion von mehr als 90° möglich ist. Eine Amputation im Unterarmbereich mit einer Stumpflänge von bis zu 7 cm führt zu einer MdE von 60%. Bei einer Unterarmstumpflänge über 7 cm beträgt die MdE 50%.

Bei der Nutzung der Hand als mechanisches Werkzeug können »nichtgreifende Aktionen« und »greifende Aktionen« unterschieden werden (► Übersicht). Zu den »nichtgreifenden Aktionen« zählen beispielsweise das Schieben oder Heben von Gegenständen. »Greifende Aktionen« können unterteilt werden in elementare, transiente und Präzisionsgreifformen. Die ein-

fachste Ausprägung der »elementaren Greifformen« stellt der Hakengriff dar, der schon mit einem einzigen gebeugten Finger ausführbar ist. Der Daumen ist für diese Funktion nicht notwendig. Da ein Greifpartner fehlt, können Gegenstände weder in der Hand gehalten noch bewegt werden. Obwohl Sensibilität für die Greiffunktion eine wesentliche Verbesserung darstellt, ist sie keine zwingende Voraussetzung dafür. Neben der Handgelenk- und Fingerbeugung ist für jede höhere Greifform die passive (Tenodese) der aktive Handgelenk- und Fingeröffnung notwendig. Je besser die Oppositionsfähigkeit des Daumens, desto präzisere Greifformen können durchgeführt werden. Um schließlich die Funktion der taktilen Gnosis zu erfüllen, ist eine möglichst normale Sensibilität im palmaren Fingerbereich notwendig (■ Tab.41.1 und ► Übersicht). Eine Amputation der Hand führt zu einer MdE von 50%. Durch die erfolgreiche Replantation bzw. Revaskularisation kommt es zu einer Verminderung der MdE, wobei auch bei einem optimalen Ergebnis aufgrund der Einschränkung der Präzisionsgreifformen und der Sensibilität eine Mindest-MdE von 30% bestehen bleibt.

► **Der einseitig amputierte Patient ist in der Lage etwa 90% aller Tätigkeiten des täglichen Lebens zu verrichten. Im Gegensatz dazu ist der bilateral amputierte Patient völlig auf die Hilfe der Umwelt angewiesen.**

41.1.2 Epidemiologie

Amputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität zeigen einen Altersgipfel zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr. Mikroamputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität sind die häufigsten Amputationsverletzungen.

Im Vergleich zu Mikroamputationen treten Makroamputationen an der oberen Extremität im Verhältnis von 1:14 auf. Makroamputationsverletzungen sind etwa 4-mal häufiger bei Männern als bei Frauen. Eine Seitenpräferenz besteht nicht. Bilaterale Makroamputationen kommen etwa in 10% der Fälle vor.

41.1.3 Ätiologie

Mehr als 90% aller Amputationen im Bereich der oberen Extremität sind traumatisch bedingt (Arbeitsunfälle 53%, Verkehrsunfälle 18%, landwirtschaftliche Unfälle 15%, Unfälle mit Kettensägen 10%). Eine seltenere Ursache für eine geplante segmentale Resektion mit anschließender Replantation stellen Tumoren oder zirkuläre Verbrennungen dar.

41.1.4 Diagnostik

Bei der Untersuchung von Patienten mit Amputationsverletzungen im Handbereich müssen zwei Situationen unterschieden werden:

1. die isolierte Handverletzung und
2. die Handverletzung im Rahmen eines Polytraumas.

Für eine möglichst exakte Schadenserfassung dient uns ein »standardisiertes diagnostisches Vorgehen«.

Tab. 41.1 Darstellung der möglichen Einzelfunktionen der oberen Extremität nach Amputation, Amputation und frühzeitiger prothetischer Versorgung und Replantation in Abhängigkeit von der Amputationshöhe. (Aus Schmidt-Neuerburg et al. 2001)

Amputationshöhe (Einzelfunktion MdE)	Wahrscheinliche Funktion			
	Stumpfversorgung	Prothetische Versorgung		Replantation
		Aktiv	Passiv	
Schulter				
Thorakohumerale Zange	–	–	–	+
Abduktion/Adduktion	–	–	–	(+)
Außenrotation/Innenrotation	–	–	+	(+)
Ellenbogenbeugung	–	–	–	+
Handgelenk-/Fingerbeugung	–	–	–	(+)
Protektive Sensibilität in Teilen der Hand	–	–	–	(+)
MdE ^a	80%	80%	80%	60%
Oberarm/Ellenbogen				
Ellenbogenbeugung (bimanuelle Handfunktionen)	–	–	+	+
– »Pressefunktion«	–	+	+	+
– Flexion =90°, »Tablettfunktion«	–	+	+	+
– Flexion >90°, »Hakenfunktion«	–+	+	+	+
Handgelenk-/Fingerbeugung	–	–	(+)	(+)
Protektive Sensibilität in Teilen der Hand	–	–	–	(+)
MdE ^a	70%	70%	70%	60–70%
Proximales und mittleres Unterarmdrittel				
Handgelenk-/Fingerbeugung	–	–	–	(+)
– Hakengriff	–	–	(+)	+
– Schlüsselgriff	–	–	(+)	+
Handgelenk-/Fingerstreckung	–	–	–	(+)
Dynamische Zweipunktiskrimination in Teilen der Hand	–	–	–	+
MdE ^a	60%	60%	60%	50–60%
Distales Unterarmdrittel				
Aktive Daumenopposition (Präzisionsgreifformen)	–	–	–	(+)
– Grobgriff	–	–	(+)	(+)
– Sphärischer Griff	–	–	–	(+)
Aktive Ulnaris-innervierte intrinsische Handmuskelfunktion	–	–	–	(+)
– Spitzgriff Zweifinger- (»chuck grip«) Dreifinger-	–	–	–	(+)
Statische 2PD in Teilen der Hand	–	–	–	+
MdE ^a	50%	50%	50%	30–50%

^a Abhängig von der bestehenden Sensibilität

Standardisiertes diagnostisches Vorgehen bei subtotalen oder totalen Amputationsverletzungen

- Blutbild, Elektrolyt- und Gerinnungsstatus
- Blutgruppe und Kreuzblut für Erythrozytenkonzentrate
- EKG
- Röntgenaufnahme in 2 Ebenen von Amputat und Amputastumpf
- Orientierende körperliche Untersuchung
- Fremd- und Eigenanamnese sowie Sozialanamnese

Bestehen keine akut lebensbedrohlichen Begleitverletzungen und besteht allgemeine Operabilität, sollte – angesichts des geringen Zeitfensters bei Makroamputationsverletzungen bedingt durch die ischämische Muskelnekrose – die weitere präoperative Routinediagnostik zügig durchgeführt werden. Standardmäßig werden Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen vom Stumpf als auch vom Amputat angefertigt, ein Aufnahmelabor abgenommen und Eigenblutkonserven gekreuzt. Entscheidend für das weitere therapeutische Vorgehen ist die Erhebung der Fremd-, Eigen- und Sozialanamnese. Diese gibt Aufschluss über den Verletzungsmechanismus, den Zeitpunkt der Amputation und die Erstmaßnahmen vor Ort. Es sollten folgende zwei Fragen explizit gestellt werden:

1. Wurde ein Tourniquet angelegt?
2. Wurde das Amputat adäquat gekühlt?

Bei Anlage eines Tourniquets ist dieses umgehend zu entfernen, um eine ischämische Schädigung des Stumpfgewebes zu vermeiden. Weiterhin muss eruiert werden, ob und wie das Amputat gekühlt wurde. Bei einer unsachgemäßen Kühlung durch Lagerung im Eisschrank, zwischen Kühlaggregaten oder direkt auf Eis entsteht ein irreversibler Schaden des Amputatgewebes.

Neben einer orientierenden klinischen Untersuchung sollte der Operateur sich kurz Zeit nehmen, mit dem Patienten über die Replantation und die lange Rehabilitationsphase zu sprechen. Weiterhin sollte geprüft werden, ob der Patient an einer schweren psychischen Grunderkrankung leidet und ob die Verletzung möglicherweise in suizidaler Absicht selbst zugefügt worden ist.

Im Rahmen eines Polytraumas muss dieses »standardisierte disagnostische Vorgehen« in ein umfassendes »Diagnostik- und Therapieschema bei Polytrauma« integriert werden. Im Vordergrund stehen zuerst die Sicherung der Atemwege und die Aufrechterhaltung des Kreislaufes. Mittels CT-Traumaspirale und Ganzkörperuntersuchung werden bei jeglichem anamnestischen oder klinischen Hinweis lebensbedrohliche Verletzungen ausgeschlossen. Es gilt der Ausspruch »life before limb«.

- **Der Patient mit einer Makroamputationsverletzung ist prinzipiell wie ein polytraumatisierter Patient zu behandeln. Die präklinische Versorgung, alle diagnostischen Maßnahmen und der Transport in den Operationssaal müssen so schnell wie möglich erfolgen, um die kalte Ischämiedauer des Amputats so gering wie möglich zu halten.**

Begleitverletzungen

Makroamputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität treten in etwa 60% isoliert auf.

Psychiatrische Begleiterkrankungen

Amputationsverletzungen können auch eine psychiatrische Ursache haben. Bei allen Amputationsverletzungen im Rahmen eines

Suizidversuchs ist postoperativ unbedingt ein psychiatrisches Konsil zu veranlassen und eventuell eine psychiatrische Mitbehandlung notwendig. Patienten müssen immer unter Aufsicht sein, weshalb postoperativ eine Verlegung entweder auf die psychiatrische Station, die Intensivstation oder auf Normalstation mit geschulter Sitzwache erfolgt.

- **Der Patient nach Suizid ist so lange als suizidal und somit als höchst gefährdet anzusehen, bis das psychiatrische Konsil dies definitiv verneint.**

41.1.5 Klassifikation

Makroamputationsverletzungen im Bereich der oberen Extremität werden eingeteilt nach Ausmaß, Lokalisation und Ursache (■ Tab. 41.2, ■ Abb. 41.1).

Nach Ausmaß der Gewebeschädigung unterscheidet man totale oder komplette Amputationen, subtotale Amputationen und komplexe Knochen-Weichteil-Schädigungen. Die Rekonstruktion von totalen Amputationsverletzungen wird als Replantation bezeichnet. Unter einer subtotalen Amputation ist nach der Definition die Durchtrennung der wichtigsten anatomischen Strukturen, besonders der Hauptgefäßverbindungen zu verstehen. Eine Durchblutung darf nicht mehr nachweisbar sein. Vom Weichteilmantel darf nicht mehr als maximal ein Viertel der Zirkumferenz erhalten sein. Entscheidendes Kriterium ist, dass ohne Anastomosierung eine Nekrose des distalen Abschnittes (Amputat) eintreten würde. Im angloamerikanischen Sprachgebrauch werden diese Verletzungen als »incomplete severance« bezeichnet. Bestehen noch Zeichen einer (ausreichenden) Restdurchblutung und wesentliche anatomische Verbindungen (>25% der Zirkumferenz), so spricht man von einer (schweren) kombinierten Knochen-Weichteil-Verletzung. Kombinierte Knochen-Weichteil-Verletzungen können nach verschiedenen Klassifikationen (z. B. AO-Klassifikation) eingeteilt werden. Aufgrund der Schwierigkeit der Einschätzung der Restdurchblutung, werden subtotale Amputationsverletzungen und komplexe Knochen-Weichteil-Verletzungen im angloamerikanischen und französischen Sprachgebrauch unter den Begriffen »mangled extremity« bzw. »l'urgence V.O.P. (vaissau-os-peau)« zusammengefasst. Werden bei der Rekonstruktion dieser Verletzungen auch Hauptgefäßverbindungen mit dem Ziel der Verbesserung der peripheren Extremitätenabschnitte wiederhergestellt, spricht man von einer Revaskularisation.

Nach der Höhe der Läsion unterscheidet man Amputationsverletzungen im Bereich der Schulter, des Oberarms einschließlich des Ellenbogengelenks, des proximalen und mittleren Unterarmdrittels und des distalen Unterarmdrittels einschließlich des radiokarpalen Handgelenksanteils. Schließlich können noch Mischformen (»Zweietagenverletzung«) unterschieden werden (■ Abb. 41.1).

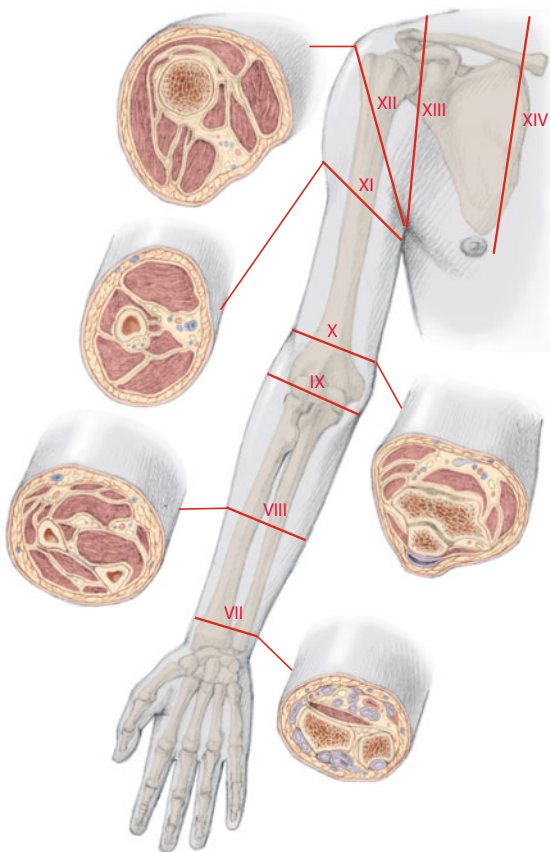
Für die Beschreibung des Amputationsmechanismus hat sich die Unterscheidung in folgende Kategorien bewährt:

1. glattrandige Schnittverletzungen,
2. Amputationsverletzungen mit lokalisierter Quetschung,
3. Amputationsverletzungen mit diffuser Quetschung,
4. Zwei- oder Mehretagenverletzungen und
5. Ausrissverletzungen.

Für jede dieser Kategorien sind Besonderheiten beim chirurgischen Vorgehen zu beachten. Glattrandige Schnittverletzungen erlauben ein schnelles Auffinden und eine meist einfache Wiederherstellung der korrespondierenden Strukturen. Bei Amputationen mit Quetschung ist ein ausgeprägtes Débridement mit zusätzlicher

■ **Tab. 41.2** Klassifikation der Makroamputationen im Bereich der oberen Extremität

Verletzungsausmaß			
	Verbindung	Durchblutung	Therapie
Totale (komplette) Amputation	–	–	Replantation
Subtotale Amputation Typ I: Knochen Typ II: Strecksehne Typ III: Beugesehne Typ IV: Hauptnervenstamm Typ V: Hautbrücke	<25% der Zirkumferenz	–	Replantation
Komplexer Knochen-Weichteil-Schaden (»mangled extremity«, »urgence V.O.P. [vaissaux-os-peau]«)	>25% der Zirkumferenz	–	Revaskularisation
		+	Rekonstruktion
Lokalisation – Schulter – Oberarm – Ellenbogengelenk – Proximales und mittleres Unterarmdrittel – Distales Unterarmdrittel einschließlich Radiokarpalgelenk – Mischformen (»Zweietagenverletzung«)			
Amputationsmechanismus – Glattrandige Schnittverletzung – Amputationsverletzung mit lokalisierter Quetschung – Amputationsverletzung mit diffuser Quetschung – Mehretagenverletzung – Ausrissverletzung – Skeletierungs- oder Degloving-Amputationen – Sonstiges			



■ **Abb. 41.1** Klassifikation der Makroamputationen nach der Amputationshöhe. (Aus Berger u. Hierner 2009)

Knochenkürzung im Amputationsbereich notwendig. Darüber hinaus sollten routinemäßig alle Kompartimente gespalten werden. Avulsionsverletzungen benötigen oft lange Gefäß- und/oder Nerven-Transplantate. Die Zweietagenamputation ist sehr zeitaufwendig und operationstechnisch anspruchsvoll bei oft nicht vorhersehbaren Ergebnissen.

Die subtotalen Amputationsverletzungen, sowie die kombinierten Knochen-Weichteil-Schädigungen werden ebenfalls mit den genannten Kriterien beschrieben. Zusätzlich müssen jedoch noch Art und Zustand derjenigen Strukturen beschrieben werden, welche noch in Kontinuität sind.

41.1.6 Indikationen und Differenzialtherapie

Replantation

Von einer erfolgreichen Replantation bzw. Revaskularisation kann heute nur dann gesprochen werden, wenn neben der Vitalität des Replantats gleichzeitig noch mehrere Kriterien wie geringes Replantationsrisiko, gutes funktionelles Ergebnis (globale Extremitätenfunktion), keine oder nur geringe Schmerzen im Replantationsbereich, befriedigendes ästhetisches Ergebnis und eine akzeptable Dauer der sozialen und beruflichen Wiedereingliederung erfüllt sind.

Um die genannten Therapieziele zu erreichen hat es sich bewährt ein standardisiertes Vorgehen, welches sich an möglichst objektiven Kriterien orientiert, zu benutzen (■ Abb. 41.2). Folgende Fragen müssen systematisch evaluiert werden:

1. Besteht primär Rekonstruktionsfähigkeit?
2. Ist der Patient für eine Replantation geeignet?
3. Erlaubt das Rekonstruktionsrisiko (Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Mono-, Oligo- oder Multiorganversagen und Exitus nach Rekonstruktion) eine Replantation?

4. Besteht Rekonstruktionswürdigkeit von Amputatstumpf und Amputat?
5. Besteht Rekonstruktionswilligkeit?
6. Welches Operationskonzept empfiehlt sich für die Operation?
7. Lässt sich eine Ergebnisverbesserung durch Sekundäreingriffe erzielen?

➤ **Bei einer Makroreplantation im Bereich der oberen Extremität muss der erfahrenste Replanteur bereits bei Klinikaufnahme am Entscheidungsprozess teilnehmen.**

Kriterien der Replantationsfähigkeit

Die Replantationsfähigkeit bewertet den Allgemeinzustand des Patienten zum Zeitpunkt der Primärdiagnostik und während der Operation. Objektive Parameter für die Bewertung der aktuellen Operationsfähigkeit sind unter anderem Blutdruck, Respiration und Ausscheidung.

Bei **fehlender Operationsfähigkeit** wird die Stumpfversorgung als Maßnahme zur Blutstillung und damit zur chirurgischen Schocktherapie als einfachster und am wenigsten invasiver Eingriff durchgeführt. Ziel ist die »optimale Stumpfversorgung« (Abb. 41.3). Eine adäquate Knochenlänge und Weichteildeckung sowie eine gute Sensibilität sind Voraussetzungen für eine möglichst komplikationslose Prothesenversorgung. Neben der konventionellen Stumpfversorgung sollte bereits bei der Erstoperation an die Möglichkeit einer einzeitigen oder zweizeitigen (»flap banking«) Stumpfverbesserung mit Amputateilen gedacht werden (Abb. 41.3). Können keine Amputateile zur Stumpfverbesserung verwendet werden, kann der Amputationstumpf auch sekundär durch freie (mikrovaskuläre) Transplantate oder mithilfe der progressiven Extremitäten- bzw. Stumpfverlängerung verbessert werden (Abschn. 37.1.7).

Bei primär **bestehender Operationsfähigkeit** muss als nächstes die Replantationseignung überprüft werden.

Kriterien der Replantationseignung

Eigen- oder (meist) Fremdanamnese sind extrem wichtige Informationsquellen für die Festsetzung des therapeutischen Vorgehens. Für eine Replantation nicht geeignet sind Patienten mit systemischen chronischen Erkrankungen (Diabetes mellitus, Tumoren etc.), allgemeinen Gesundheitsproblemen (Herzinsuffizienz, AVK etc.) und stark eingeschränkter Intelligenz (Patient muss mental in der Lage sein, die langwierige Nachbehandlung zu verstehen und aktiv mitzuarbeiten). Makroreplantationen im Schulter- und Oberarmbereich bei Patienten über 50 Jahre sollten nur bei optimalen Voraussetzungen (biologisch jünger, keine Zusatzverletzungen, guter allgemeiner Gesundheitszustand, glattrandige Amputationsverletzungen, kalte Ischämiezeit <2 Stunden, intelligenter Patient) durchgeführt werden, da mit zunehmendem Alter das Replantationsrisiko steigt und die Wahrscheinlichkeit, ein gutes funktionelles Ergebnis zu erzielen, sinkt. Schlechtere funktionelle Ergebnisse sind zurückzuführen auf eine höhere Inzidenz von Gelenksteifen, Sehnenadhäsionen, eine schlechtere Nervenregeneration, geringere kortikale Plastizität und eine höhere Rate an starker Kälteintoleranz.

Bei **fehlender Rekonstruktionseignung** wird die primäre »optimale Stumpfversorgung« (Abb. 41.3) durchgeführt.

Bei **bestehender Rekonstruktionseignung** muss als nächstes das Replantationsrisiko evaluiert werden.

Kriterien für die Abschätzung des Replantationsrisiko

Der Allgemeinzustand des Patienten muss nicht nur eine längere Operationsdauer tolerieren, sondern auch noch eine mögliche systemische Beeinflussung des Organismus postoperativ durch das

Replantat. Ausgedehnte Knochen-Weichteil-Schädigungen führen neben lokalen auch zu systemischen Auswirkungen, welche man auch als »Traumakrankheit« bezeichnen kann.

Ein **nicht zu rechtfertigendes Replantationsrisiko** besteht bei einem monotraumatisierten Patienten bei einer warmen Ischämiezeit über 6 Stunden, einer ausgedehnten Quetschverletzung ohne Möglichkeit der Verringerung der potenziell toxischen Muskelmasse durch »Elementarisation« (s. unten) oder segmentaler Resektion, einer ausgedehnten stammnahen Quetsch- und Avulsionsverletzung und einer ausgedehnten Kontamination des Amputats. Neben den genannten Kriterien schränkt beim polytraumatisierten Patienten der Schweregrad des Gesamtverletzungsbildes (»Hannover Polytrauma Score« PTS >2) die Replantationsindikation weiter ein. In diesen Fällen stellt wiederum die »optimale Stumpfversorgung«, eventuell gefolgt von stumpfverbessernden Maßnahmen, die Therapie der Wahl dar (Abb. 41.3).

Bei bestehender Operabilität und **akzeptablem Replantationsrisiko** entscheidet oft der intraoperative Verlauf über das Ausmaß und die Länge des rekonstruktiven Eingriffes. Alle nur möglichen Methoden müssen angewendet werden, zumindest Teile der verletzten Extremität zu erhalten. Der Zustand des Amputats sowie des Amputatstumpfes entscheiden über das weitere Vorgehen.

Kriterien für die Replantationswürdigkeit

Die Rekonstruktionswürdigkeit evaluiert die Wahrscheinlichkeit der Rekonstruktion einer »funktionellen Extremität«. Es müssen dabei die Replantationswürdigkeit von Amputat und Amputatstumpf nacheinander bewertet werden.

➤ **Bei der bilateralen Amputationsverletzung müssen vier Regionen bewertet werden.**

Amputat

Kriterien für die Replantationswürdigkeit des Amputats sind gegeben, wenn

1. die warme Ischämiezeit nicht mehr als 4–6 Stunden beträgt,
2. keine diffuse Quetschverletzung oder kombinierte ausgedehnte Quetsch- und Avulsionsverletzung die Ursache ist,
3. keine ausgedehnte Kontamination (z. B. toxische Verunreinigung) oder zusätzliche Verbrennung (z. B. Bügelpressenverletzung) bestehen. Zusätzlich sollte
4. die Möglichkeit der primären oder sekundären Rekonstruktion zumindest der sensiblen Funktion des N. medianus bestehen.

Bei **fehlender Rekonstruktionswürdigkeit** des Amputats ist das therapeutische Ziel die »optimale Stumpfversorgung« (Abb. 41.3).

Bei **bestehender Replantationswürdigkeit** des Amputats entscheidet nun der Zustand des Amputatstumpfes über das weitere Vorgehen (Abb. 41.4).

Amputatstumpf

Unsere Kriterien für die »Rekonstruktionswürdigkeit« des Amputatstumpfes sind

1. Amputationen distal des Glenohumeralgelenks,
2. keine diffuse Quetschverletzung oder kombinierte ausgedehnte Quetsch- und Avulsionsverletzung,
3. biologisches Patientenalter unter 50 Jahre.

Bei ausgedehnter Kontamination (z. B. toxische Verunreinigung) muss überprüft werden, ob diese durch ein radikales Débridement beseitigt werden kann, ohne die Funktionalität der Extremität zu beeinträchtigen.

Entscheidungsbaum subtotale und totale Unterarmamputation

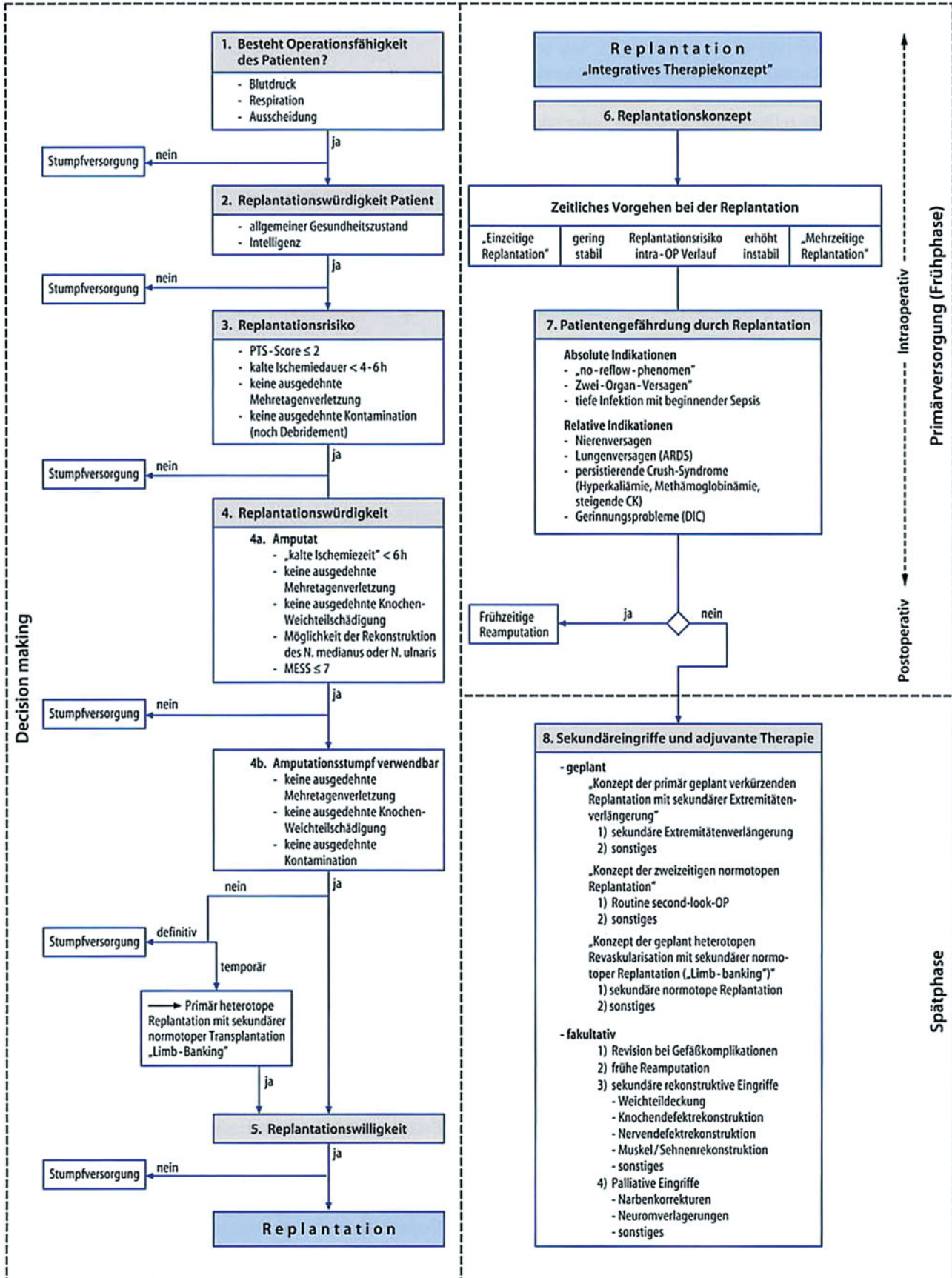
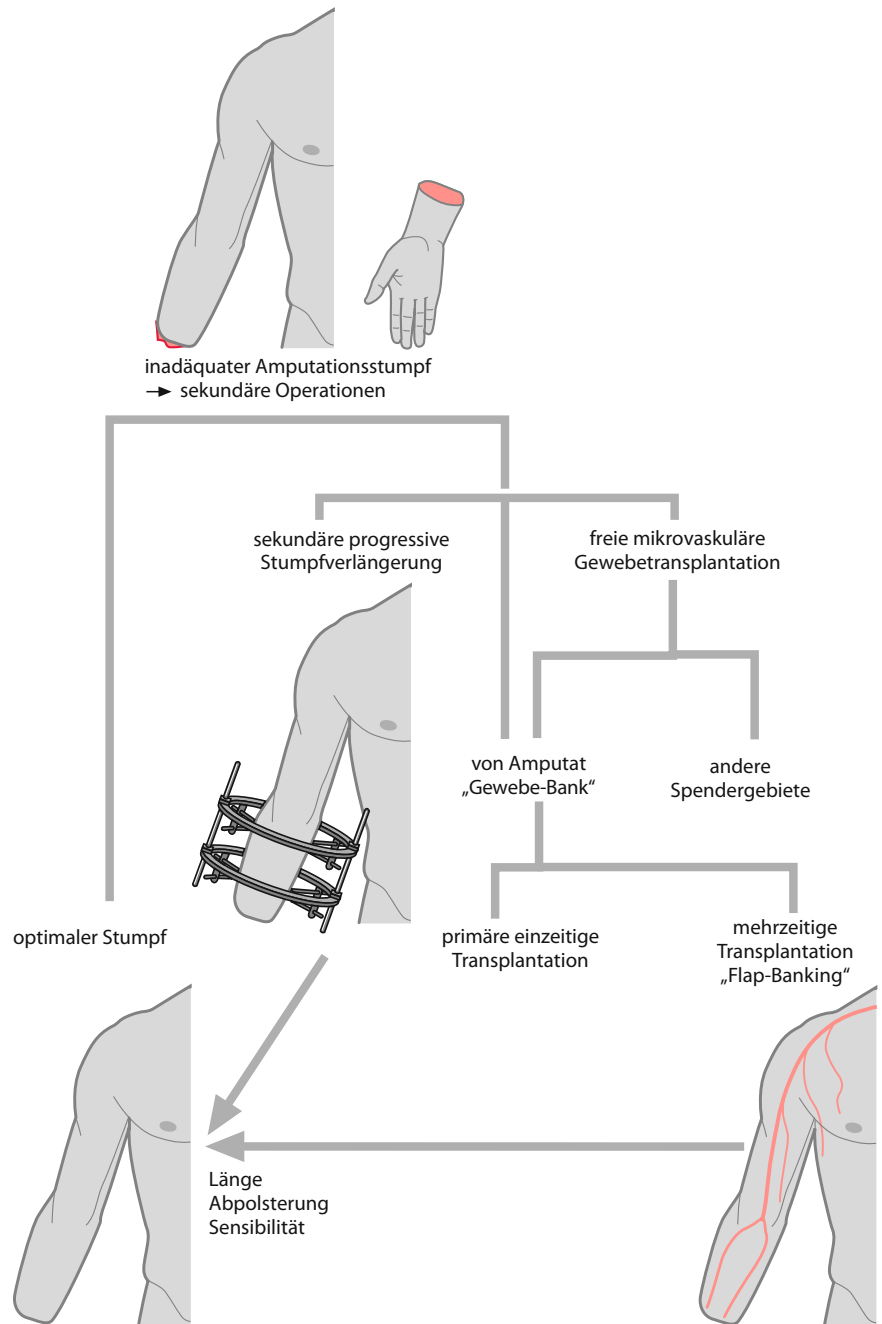


Abb. 41.2 Entscheidungsbaum »Makroamputations(artige) Verletzungen an der oberen Extremität. (Aus Berger u. Hierner 2009)



■ **Abb. 41.3** Möglichkeiten der einzeitigen und zweizeitigen Versorgung von traumatisch bedingten Amputationsstümpfen. (Aus Berger u. Hierner 2009)

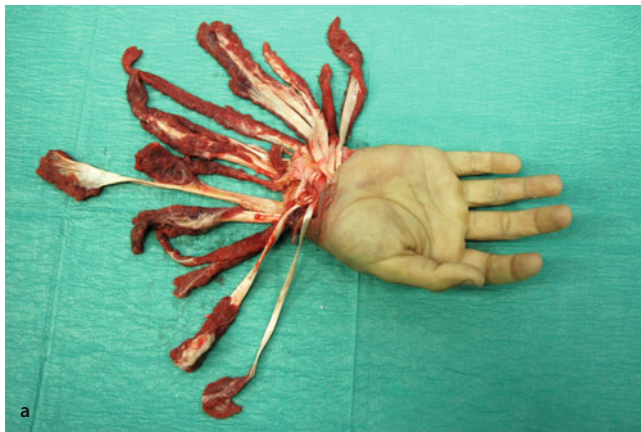
Eine **fehlende Replantationswürdigkeit** kann definitiv oder temporär sein. Bei lebensbedrohlichem Allgemeinzustand des Patienten (fehlende Operationsfähigkeit, »Life for Limb«) und definitiv fehlender Replantationswürdigkeit des Amputatstumpfes besteht die Indikation zur definitiven Stumpfversorgung (■ Abb. 41.5). Bei Operationsfähigkeit des Patienten und temporär fehlender Replantationswürdigkeit (Kontamination, Stomverletzung, V. a. multiplen Wurzelausrisschaden) besteht die Indikation zum primären Stumpfdébridement und heterotoper Revaskularisation. Ein Gefäßanschluss des Replantats kann in der Axilla, Bauchdecke, Leiste und am Unterarm in kurzer Zeit erfolgen (■ Abb. 49.1). Nach Erreichen der Replantationsfähigkeit des Amputatstumpfes bzw. nach Ausschluss einer zusätzlichen Schädigung des Plexus brachialis, kann in einer zweiten Sitzung die normotope Replantation (»limb

banking«) oder noch brauchbarer Teile (»flap banking«) durchgeführt werden (■ Abb. 41.5).

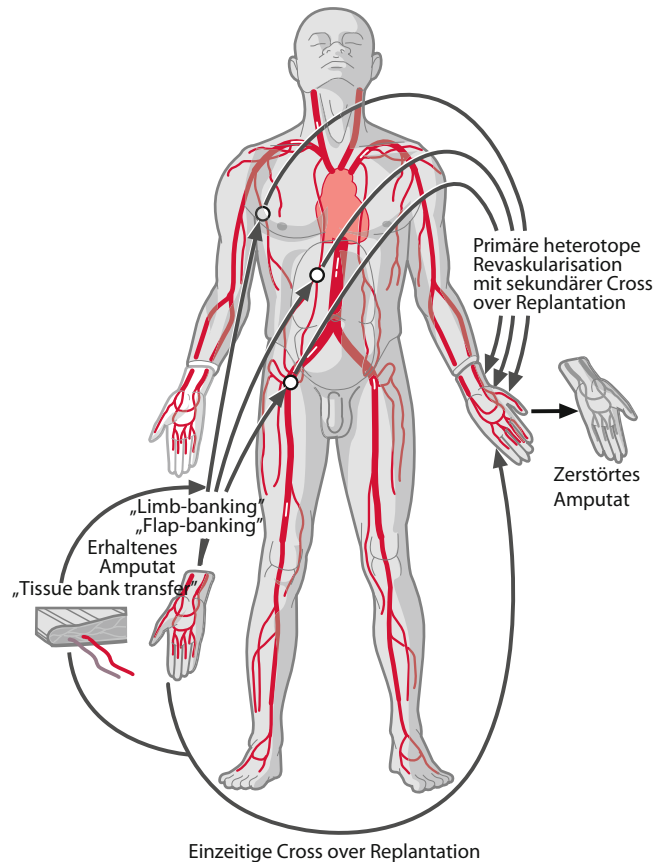
Besteht **Rekonstruktionswürdigkeit** des Amputatstumpfes und des Amputats ist eine Replantation operationstechnisch möglich und funktionell sinnvoll. Nun gilt es die Replantationswilligkeit zu klären.

Kriterien für die Replantationswilligkeit

Bei der Indikation zur Revaskularisation/Replantation im Bereich der oberen Extremität sind neben den objektiven medizinischen Gegebenheiten wie zu erwartendes funktionelles Ergebnis, voraussichtliche Operationsdauer, Dauer des stationären Aufenthaltes, Anzahl der notwendigen Kontrolluntersuchungen, Dauer der Arbeitsunfähigkeit, Aufwand an Begleittherapie und Anzahl der



■ **Abb. 41.4** Ausrissverletzung durch eine Zentrifuge. **a** Ungünstige Voraussetzung, **b** nach Replantation verbleibt ein Weichteildefekt, **c** Deckung des Defektes mit einem freien anterolateralen Oberschenkelklappen, **d** Ergebnis 1 Jahr postoperativ



■ **Abb. 41.5** Möglichkeiten der primär heterotopen Revaskularisierung mit sekundärer Replantation (»limb banking«). (Aus Berger u. Hierner 2009)

notwendigen Sekundäreingriffe auch die subjektiven Wünsche und Bedürfnisse des Patient wichtig. Intakte körperliche Integrität, berufliche Notwendigkeiten, Freizeitbelange, soziale Hintergründe und die Möglichkeiten der Rehabilitation und sozialen Reintegration bestimmen für den Patienten den Wunsch oder die Ablehnung einer Replantation. Als Vergleichsgrößen gelten die analogen Daten bei Zustand nach primärer Stumpfbildung und früher prothetischer Versorgung.

Bei **fehlender Replantationswilligkeit** seitens des Patienten und/oder Arztes, wird die primäre Stumpfversorgung am Unfalltag durchgeführt. Primäre oder sekundäre stumpfverbessernde Maßnahmen können folgen (■ Abb. 41.3).

Bei **Replantationswilligkeit** muss die Replantation bzw. Revaskularisation schnellstmöglich begonnen werden.

Stumpfversorgung

Die Amputation im Extremitätenbereich sollte als eine »Operation mit rekonstruktivem Charakter« verstanden werden, bei der es gilt, unter Kenntnis der für die jeweilige Amputationshöhe zutreffenden Besonderheiten, einen funktionell und kosmetisch »optimalen Stumpf« zu bilden, der auch allen Aspekten der modernen prothetischen Versorgungsmöglichkeiten gerecht wird.

Der »optimale Stumpf« ist gekennzeichnet durch:

1. ausreichende Länge,
2. gute Beweglichkeit,
3. adäquate Weichteilbedeckung (Form und Funktion),
4. gute Durchblutung und
5. Schmerzfreiheit.

Bedingt durch die ungleich komplexere Funktion und Gebrauchsvielfalt der oberen Extremität sind hier die Möglichkeiten weitaus schlechter, einen ausgedehnten oder gar vollständigen Verlust von Unterarm und/oder Oberarm funktionell und kosmetisch kompensieren zu können. Dadurch scheint die Traumatisierung, die Funktionsbehinderung und Stigmatisierung der davon betroffenen Patienten noch erheblich größer zu sein als nach Amputation an der unteren Extremität.

Sekundäre prothetische Versorgung ► Kap. 42

Sekundäre allogene Extremitätentransplantation

Die Hauptindikation zur Transplantation von Händen und Gliedmaßen ist in der Verbesserung der Lebensqualität zu sehen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es durch die lebenslange Einnahme der immunsuppressiven Therapie zu einer Verringerung der natürlichen Lebensspanne kommen kann. Alternativ zu einer Transplantation ist das lebenslange Tragen einer Prothese. Diese werden allerdings aufgrund ihrer Komplexität von Patienten nur in den wenigsten Fällen konsequent getragen. Eine beidseitige Amputation schränkt den Patienten bei allen Verrichtungen des täglichen Lebens massiv ein. Die Entscheidung zu Gunsten einer Transplantation und dem potenziellen Gewinn von neuer Lebensqualität sollte letztlich allein beim Betroffenen liegen, welcher bei mentaler und physischer Eignung selbsttätig Nutzen und Risiko einer allogenen Extremitätentransplantation gegeneinander abwägen muss. Landespezifische gesetzliche Bestimmungen sind jeweils zu berücksichtigen.

Eine allogene Extremitätentransplantation erfordert eine komplexe und multidisziplinäre Therapie. Daher muss die Auswahl des Empfängers sich an strengen Auswahlkriterien orientieren. Hierzu eignen sich die Innsbrucker Kriterien:

»Innsbrucker Kriterien«: Indikationen und Kontraindikationen zur sekundären allogenen Extremitätentransplantation (landespezifische gesetzliche Bestimmungen sind jeweils zu berücksichtigen)

- Indikationen
 - Ausgeprägter Wunsch des Patienten
 - Alter >18 und <55 Jahre
 - Traumatische bilaterale Amputation beider Hände oder Unterarme
 - Normale Funktion aller lebenswichtigen Organe
 - Psychologische Gesundheit und Stabilität
 - Intaktes soziales Umfeld
 - Kognitive Erfassung und Verständnis über die geplante Transplantation und die möglichen Konsequenzen
- Kontraindikationen
 - Malignom in den letzten 10 Jahren
 - Infektion (temporär)
 - Blindheit
 - Insulinabhängiger Diabetes mellitus (IDDM)

Bei ausgeprägtem Wunsch des Patienten sind volljährige Kandidaten zwischen dem 18. und 55. Lebensjahr zu berücksichtigen, welche eine beidseitige Amputation im Bereich beider Hände oder Unterarme erlitten haben. Derzeit existieren noch keine Indikationen bezüglich einer Oberarmtransplantation. Die Patienten sollten nicht an chronischen Erkrankungen wie einer Herz- oder Niereninsuffizienz sowie einem insulinabhängigen Diabetes leiden.

Auch Blindheit ist aufgrund der notwendigen Reeducation eine Kontraindikation. Eine hohe Motivation des Patienten sowie das kognitive Verständnis über den geplanten Eingriff und die möglichen Folgen sind essenziell für den Langzeiterfolg der Operation. Daher kommt der Aufklärung über eine Transplantation eine entscheidende Rolle zu. Besonders zu erwähnen ist, dass der Patient im ersten Jahr eine sehr intensive Rehabilitation durchlaufen muss. Um diese schwierige Phase zu bewältigen, muss der Patient neben einer psychisch stabilen Verfassung in ein intaktes soziales Umfeld integriert sein. Weitere Ausschlusskriterien sind eine maligne Tumorerkrankung in den letzten 10 Jahren sowie eine temporäre oder chronische Infektion.

41.1.7 Therapie

Für Diagnostik und Therapie von Amputationsverletzungen verwenden wir ein sog. »integratives Therapiekonzept«, welches neben der primär anzustrebenden kompletten Replantation, eine intensive physiotherapeutische Therapie und eventuelle Sekundäreingriffe umfasst (► Integratives Therapiekonzept bei Replantationen im Bereich der oberen Extremität).

- Die Qualität der primären Replantation entscheidet über das funktionelle und ästhetische Ergebnis. Die Möglichkeit sekundärer Eingriffe entbindet nicht von der Notwendigkeit bei der Primäroperation die bestmögliche Versorgung durchzuführen.
- Die Nachbehandlung nimmt eine Schlüsselrolle bei der Behandlung des handverletzten Patienten ein. Die Physiotherapie ist integraler Bestandteil der Therapie. Nur durch ausreichend oft und genügend lange und intensiv durchgeführte Physiotherapie kann ein optimales Ergebnis erzielt und auf lange Sicht gehalten werden. Eine Kürzung der Physiotherapie durch die Krankenkassen ist aus medizinischer Sicht nicht vertretbar.
- Das durch die Replantation erzielte Ergebnis lässt sich oftmals durch Sekundäreingriffe deutlich verbessern.

Unabdingbare Voraussetzungen für eine erfolgreiche primäre oder sekundäre Wiederherstellung der Funktion sind stabile knöcherne Verhältnisse, ein »ersatzstarkes« Transplantatlager und freie passive Gelenkbeweglichkeit.

Integratives Therapiekonzept bei Replantationen im Bereich der oberen Extremität

Primärversorgung bei der Replantation

1. Wundreinigung, Desinfektion
2. Präparation des Gefäß-Nerven-Bündels und Débridement
3. Osteosynthetische Versorgung
4. Mikrochirurgische Versorgung
5. Versorgung von Muskel- und Sehnenverletzung
6. Wundschluss und postoperative Ruhigstellung

Physiotherapie (ambulant und stationär)

- Krankengymnastik
- Ergotherapie



Sekundäreingriffe

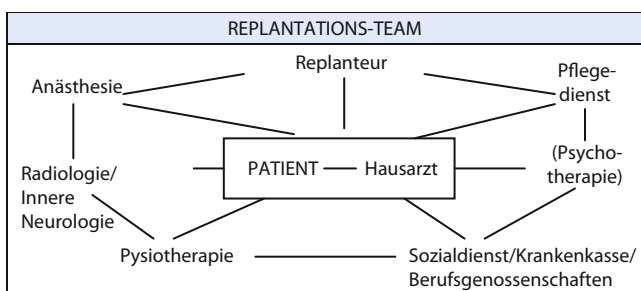
- Geplante Sekundäreingriffe
 1. Konzept der eingeschränkten Primärversorgung
 1. Routinemäßiger »second look«
 2. Sonstige Eingriffe
 2. Konzept der heterotopern Revaskularisation mit sekundärer normotoper Replantation (»limb banking«)
 1. Sekundäre normotope Replantation
 2. Sonstige Eingriffe
- Elektive Sekundäreingriffe
 1. Eingriffe bei Komplikationen
 2. Eingriffe zur funktionellen und/oder ästhetischen Ergebnisverbesserung im Rahmen des sog. »integrativen Therapiekonzeptes«
 - Rekonstruktive Eingriffe*
 - Weichteildeckung
 - Knochenrekonstruktion
 - Nervenrekonstruktion
 - Muskel- und Sehnenrekonstruktion
 - Palliative Eingriffe*
 - Adjuvante Eingriffe*
 3. Sekundäre Reamputation

Nur durch eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit kann ein optimales Therapieergebnis erreicht werden. Mitglieder des Therapieteam sind neben dem Replanteur der Hausarzt (»Dreh-scheibe«), der Physiotherapeut (Krankengymnastik, Ergotherapie etc.), der Notarzt (Bedeutung der adäquaten präklinischen Versorgung und des schnellen Transports), der Radiologie, der Neurologie und in besonderen Fällen die anästhetologische Schmerzambulanz (bei Deafferenzierungsschmerzen oder Kausalgien), Sozialdienste/Arbeitsamt/Berufsgenossenschaft (berufliche Rehabilitation bzw. Wiedereingliederung), Orthopädietechniker (Hülsen- und Schienenapparate), Psychotherapeuten und Patienten-Selbsthilfegruppen. Der stetige Informationsaustausch (Telefonate, Arztbriefe) innerhalb des Teams ist von außerordentlicher Wichtigkeit (■ Abb. 41.6). Ein optimales Behandlungsergebnis kann nur dann erreicht werden, wenn alle Mitglieder des Therapieteam lückenlos zusammenarbeiten. Besonders muss auf die Bedeutung der prä- und postoperativen Physiotherapie hingewiesen werden.

Die präklinische Erstversorgung beeinflusst die Voraussetzungen entscheidend. Immer gilt der Grundsatz »Life before Limb«.

► »Life before Limb«!

Nach Sicherung der Vitalfunktionen sollte in beiden Fällen das Amputat geborgen und nach dem »Prinzip der trockenen Kühlung« (■ Abb. 41.7) adäquat gelagert werden.



■ Abb. 41.6 Replantations-team

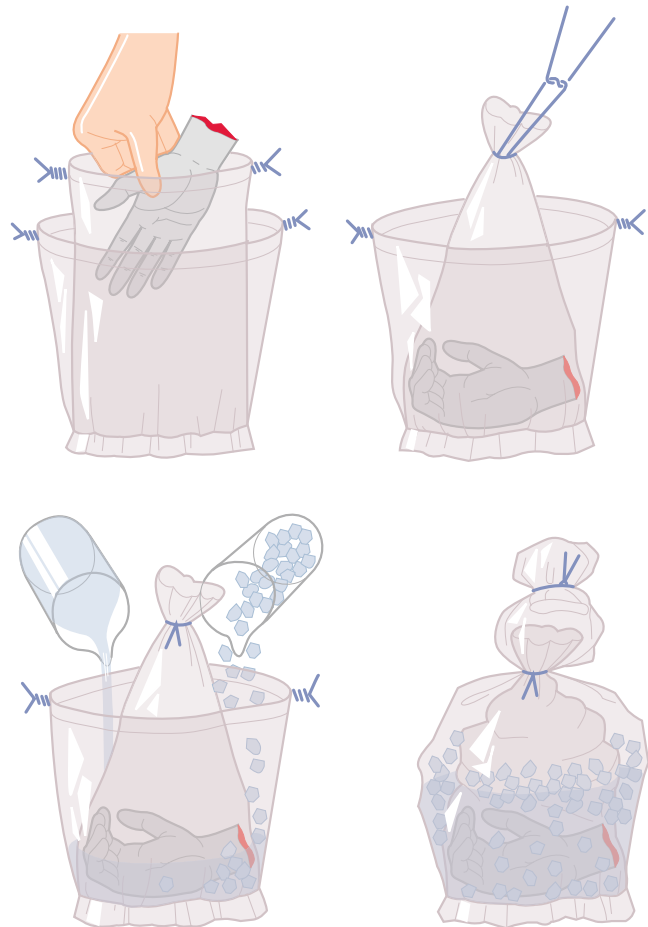
Zur Blutstillung im Bereich des Amputationsstumpfes genügt immer ein Druckverband. Die Anlage einer Oberarmblutsperrung ist obsolet und gefährlich. Sowohl am Amputatstumpf als auch am Amputat müssen alle Manipulationen wie Säuberung, Desinfektion oder Setzen von Klemmen vermieden werden.

Patient und Amputat müssen so schnell wie möglich in eine entsprechend eingerichtete Klinik mit Replantationsdienst (fakultative Möglichkeit der Durchführung von Replantationen) oder Replantationszentrum (Möglichkeit der Durchführung von Replantationen 24/24 Stunden) gebracht werden (► Kap. 39).

► Wegen der Bedeutung einer möglichst kurzen Ischämiedauer für die Replantationswürdigkeit und das Replantationsrisiko ist bei Patienten mit einer Amputationsverletzung immer ein möglichst schneller Transport – in den meisten Fällen per Hubschrauber – in ein Spezialzentrum zu fordern.

Replantation

Subtotale und totale Makroamputationsverletzungen an der oberen Extremität stellen für den Betroffenen eine erhebliche funktionelle, ästhetische und psychische Beeinträchtigung dar. Therapeutische Optionen sind die Replantation bzw. Revaskularisation und die primäre Amputation mit frühzeitiger prothetischer Versorgung.



■ Abb. 41.7 »Prinzip der trockenen Kühlung« zur optimalen Versorgung von Amputationsverletzungen. (Aus Berger u. Hierner 2009)

► Um ein optimales Ergebnis für den Patienten zu erzielen muss die Replantation von einem erfahrenen Replanteur durchgeführt werden, der bereits bei der Erstoperation alle möglichen operativen Schritte durchführt, bzw. bereits zum Zeitpunkt der Erstoperation Sekundäreingriffe antizipiert. Die einfache Osteosynthese in Kombination mit der Revascularisation ohne weitere funktionelle Wiederherstellung (Nerven, Sehnen, primäre Sehnenverlagerungen, Hautlappenplastiken etc.) führt zu einer »warmen autologen Prothese« und ist nicht zeitgemäß.

Wenn immer möglich sollten zum Zeitpunkt der Erstoperation alle möglichen rekonstruktiven Eingriffe (einzeitige Replantation) durchgeführt werden, da sekundäre Eingriffe das Infektionsrisiko erhöhen und das funktionelle Ergebnis beeinträchtigen können (Abb. 41.8).

Bei eingeschränkter Operationsfähigkeit zum Zeitpunkt der Primärdiagnostik oder zunehmend instabilem Patienten während der Replantation kann eine zweizeitige normatope Replantation notwendig werden (Abb. 41.8). Bei der Primäroperation wird das Weichteil- und/oder Knochendébridement sowie die Osteosynthese auf das der Situation angepasste Maß beschränkt. Eine großzügige Knochenkürzung löst erste Probleme der Weichteildeckung und erleichtert die Gefäßanastomosen. Funktionelle und

kosmetische Rekonstruktionen bleiben der Routine-Second-Look-Operation (24–72 Stunden) oder späteren Eingriffen überlassen, welche nun unter elektiven Bedingungen mit stabilem Kreislauf und intakter Blutgerinnung durchgeführt werden können.

Operative Schritte der Replantation

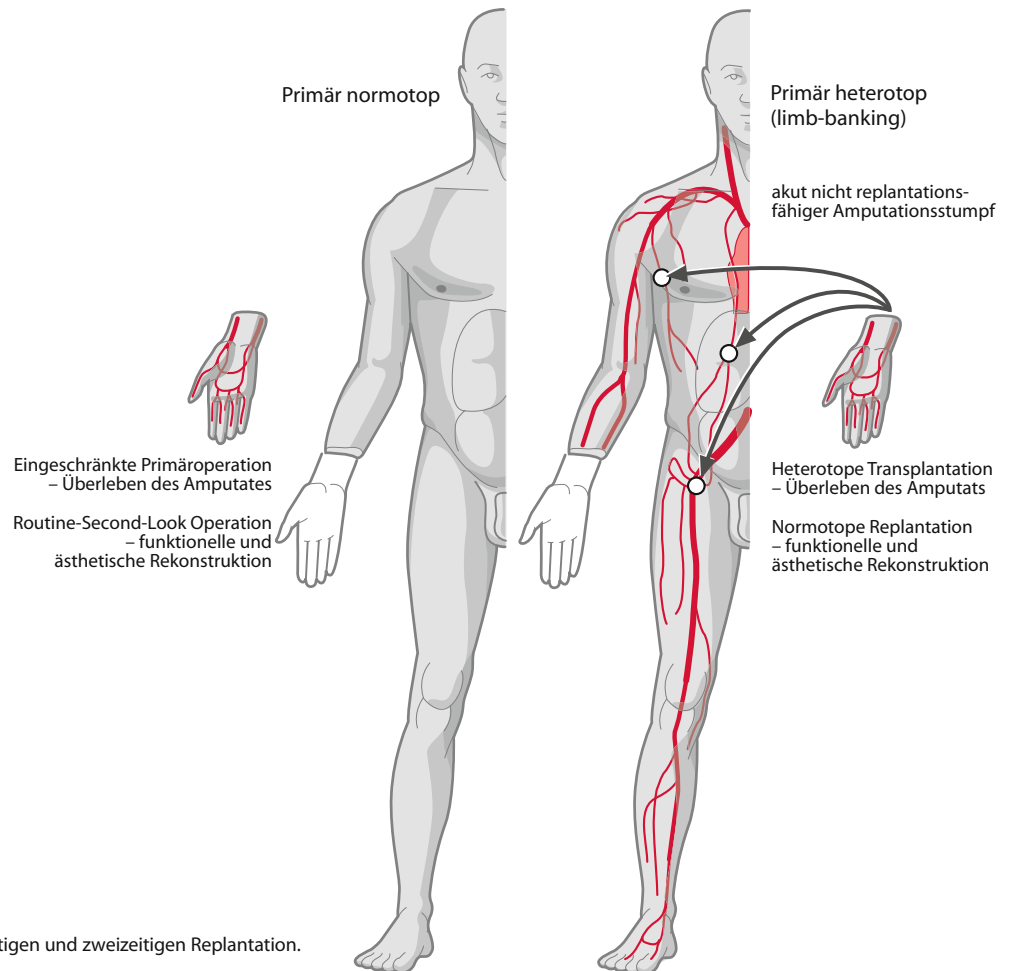
Operative Schritte der Primärversorgung sind

1. Wundreinigung, Desinfektion und aggressives Débridement,
2. osteosynthetische Versorgung,
3. Versorgung von Muskel- und Sehnenverletzungen,
4. mikrochirurgische Versorgung und
5. Wundschluss und Prophylaxe von postoperativen Fehlstellungen.

Wundreinigung, Desinfektion und Débridement

Der Patient sollte auf einer Wärmematte gelagert werden (adäquate Körpertemperatur zur Gefäßspasmusprophylaxe). Routinemäßig sollte auch eine Bleimatte zum Schutz vor intraoperativer Röntgenstrahlung unterlegt werden. Bei allen Makroreplantationen sollte auch routinemäßig ein Unterschenkel und Fuß steril abgedeckt werden, um eine mögliche Venenentnahme durchführen zu können. Die Extremität wird auf einem Handtisch ausgelagert. Die verletzte Extremität muss bis über die Axilla gewaschen und steril abgedeckt werden.

zweizeitige Replantation- eingeschränkte Operabilität



■ Abb. 41.8 Möglichkeiten der einzeitigen und zweizeitigen Replantation. (Aus Berger u. Hierner 2009)

- Alle Makroreplantationen werden in Intubationsnarkose durchgeführt.
 - Die Gabe eines Cephalosporins – 30 min vor Anlage (1. Wahl) oder direkt nach Öffnen der Blutsperre (Vorgehen bei vergessener Antibiotikagabe) – ist aufgrund der hohen Verschmutzung zu empfehlen. Eine mehrtägige postoperative Antibiotikagabe ist ebenfalls zu empfehlen.
 - Vordringlichste Aufgabe der präoperativen Wundreinigung ist die Entfernung von Fremdkörpern wie Sägespäne, Grashalme usw.
 - Bei der Desinfektion ist darauf zu achten, dass keine Flüssigkeit in die Gefäße gelangt, da dies zu Endothelschädigungen führen würde.
- **Die Desinfektion sollte mit farblosem Desinfektat erfolgen, um eine uneingeschränkte Beurteilung der Replantatperfusion zu ermöglichen.**

Die exakte Darstellung aller Strukturen, die später vereinigt werden, ist der Schlüssel für eine zügige und erfolgreiche Replantation. Nie sollte eine Replantation begonnen werden, bevor nicht alle Strukturen eindeutig identifiziert und markiert wurden. Die Darstellung der Strukturen erfolgt unter Lupenvergrößerung oder dem Operationsmikroskop.

- **Bei subtotalen Amputationen mit nur noch erhaltener Hautbrücke (Subtyp V) wird diese durchtrennt, um einen gleichzeitigen Einsatz von zwei Operationsteams zu ermöglichen. Größere nicht verletzte Nerven und Gefäße (Subtyp IV) müssen in Kontinuität erhalten bleiben.**

Eine sterile Oberarmmanschette sollte grundsätzlich angelegt werden. Ob die Darstellung der Strukturen, Osteosynthese und Versorgung der Sehnennähte in Blutsperre erfolgt ist abhängig von den Angewohnheiten des Replanteurs.

Zur Verringerung des »declamping phenomenon« kann der distale Extremitätenanteil mit Speziallösungen oder Blutkonserven gespült werden. Bei einer Ischämiezeit über 4 Stunden empfiehlt es sich das Amputat analog zur Transplantation mit einer Speziallösung (University-of-Wisconsin-Lösung) zu spülen. Wird keine Spülung

durchgeführt, sollte das initial zurückfließende Blut verworfen werden (**Cave:** Blutverlust).

Bei amputationsartigen Verletzungen kann die Ischämiezeit durch Anlage eines temporären Shunts (Gore-tex) zwischen proximalem und distalem Extremitätenbereich wirkungsvoll verkürzt werden. Darüber hinaus können alle nicht durchbluteten Gewebeteile identifiziert und das Débridement optimiert werden. Auf einen möglichen größeren Blutverlust ist zu achten. Der temporäre Shunt hat sich vor allem bei Amputationsverletzungen mit diffuser Quetschung und Avulsionsamputationen bewährt (■ Abb. 41.9).

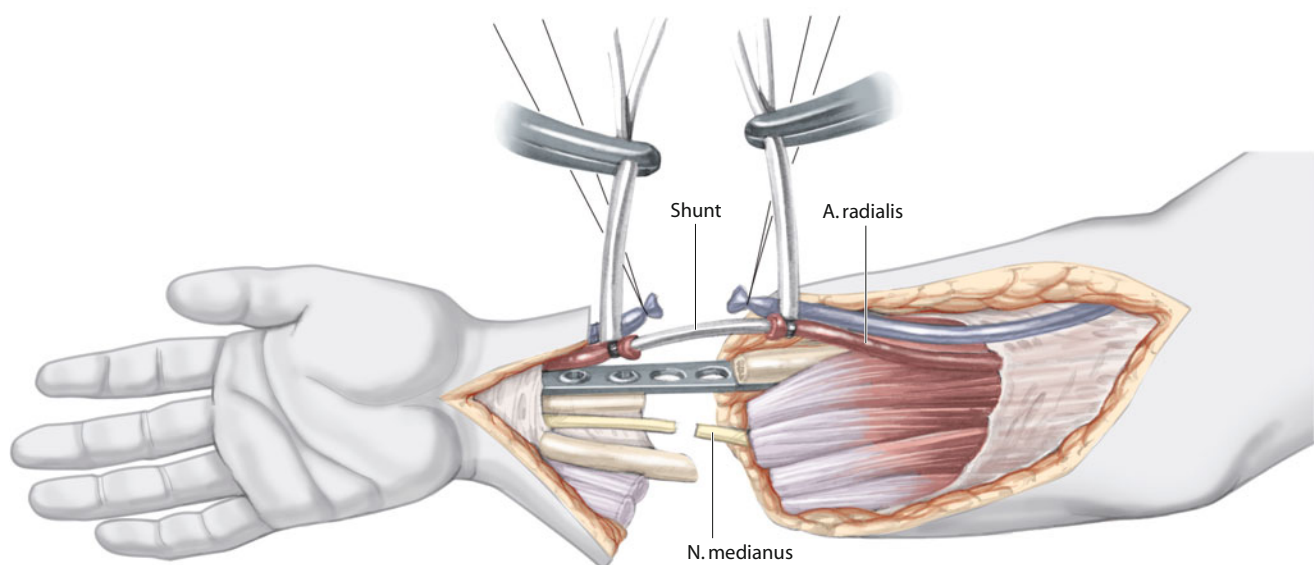
Bei einer totalen Amputationsverletzung müssen Débridement und Präparation des Amputats unverzüglich – d. h. noch während der Diagnostikphase – beginnen, um die Ischämiezeit möglichst kurz zu halten. Nach Markierung aller wichtigen Strukturen muss das Amputat wieder trocken gekühlt werden. Bei subtotalen Amputationsverletzungen muss der distale Extremitätenanteil ebenfalls trocken gekühlt werden.

- **Zur Prophylaxe eines Kompartmentsyndroms erfolgt die routinemäßige Spaltung aller Kompartimente proximal und distal der Gewebeschädigung.**

Im Oberarmbereich genügt ein medialer Zugang zur Spaltung des ventralen und dorsalen Kompartiments. Im Ellenbogenbereich sollte darauf geachtet werden, dass der Lacerus fibrosus komplett durchtrennt wird. Im Unterarmbereich wird routinemäßig nur die Palmarseite entlastet. Hierdurch erfolgt in den meisten Fällen auch eine ausreichende Druckentlastung im Dorsalbereich. Nur ausnahmsweise ist es notwendig auch zusätzlich dorsal zu inzidieren. Im Handbereich müssen neben dem Karpalkanal und der Guyon-Loge, dorsal die intermetakarpalen Kompartimente (Prophylaxe der myogen bedingten Krallenhand) gespalten werden (► Kap. 48).

- **Ein adäquates Débridement ist der Schlüssel für eine komplikationsarme erfolgreiche Replantation bzw. Revaskularisation.**

Erst intraoperativ ist es möglich, das wirkliche Ausmaß des Weichteilschadens vor allem der Muskeln, Sehnen und Nerven, genauer



■ **Abb. 41.9** Temporärer Shunt zur Verringerung der Ischämiezeit. (Aus Berger u. Hierner 2009)

zu bestimmen. Man muss sich immer vor Augen halten, dass der klinisch apparente Weichteil- und Knochenschaden meist kleiner ist als die tatsächliche Schädigung. Makroskopisch geschädigtes Gewebe (Muskel, Knochen, Haut) muss radikal entfernt werden, da es funktionell minderwertig ist und den Patienten potenziell gefährdet (»Life before Limb«). Es ist ratsam lieber zu viel primär zu reseziieren, da die klinische Erfahrung gezeigt hat, dass das primäre Débridement meist zu sparsam durchgeführt wird. Ein Débridement kann auch derart ausgiebig sein, dass eine funktionelle Extremität nicht mehr wiederhergestellt werden kann. Hier ist intraoperativ die Indikation zur Stumpfversorgung zu stellen. In jedem Fall muss geprüft werden, ob Amputateile für stumpfverbessernde Maßnahmen verwendet werden können (■ Abb. 41.3).

Kriterien für die Vitalitätsbeurteilung der Haut sind:

1. Blutungen an Anschnittstellen,
2. fehlende Verfärbung und
3. Blasenbildung.

Kriterien für die Vitalitätsbeurteilung des Muskels sind:

1. Blutungen an Anschnittstellen,
2. kräftige rote Farbe,
3. eine mäßige prallelastische Konsistenz und
4. Kontraktionen bei Stimulation.

➤ **Zur Verminderung der Reperfusionseffekte kann eine gezielte Reduktion der Muskelmasse durch Exzision funktionell weniger wichtiger Muskeln (»Elementarisierung nach Brunelli«) erfolgen. In der Reihenfolge der funktionellen Bedeutung für die obere Extremität werden hierbei wenn nötig entfernt:**

- M. flexor carpi ulnaris,
- M. brachioradialis,
- M. flexor digitorum superficialis,
- M. extensor carpi radialis et extensor carpi ulnaris,
- M. extensor indicis proprius.

Im Gegensatz zu Haut, Muskel und Knochen erfolgt bei Nerven ein zurückhaltendes primäres Débridement. Bei einem kontusierten Nerven, dessen Kontinuität erhalten ist, kann theoretisch eine Schädigung Grad I–IV nach Sunderland vorliegen. Da die Möglichkeit einer spontanen Funktionswiederkehr besteht, sollte hier primär zurückhaltend verfahren werden. Manchmal hilft die direkte Nervenstimulierung (Cave: Muskelrelaxanzien), um dessen Funktionsfähigkeit zu belegen.

Kriterien für die intraoperative Vitalitätsbeurteilung des Knochens sind:

1. Blutung aus exponierten Frakturrenden und
2. Zustand des Periostes von Fraktursegmenten.

Bei denudierten Segmenten kommt es zu einer posttraumatischen Fragmentnekrose, da weder die medulläre noch die muskuloperiostale Blutversorgung intakt ist. Aufgrund der klinischen Erfahrung hat es sich gezeigt, dass durch eine adäquate Knochenkürzung der postoperative Heilungsverlauf signifikant verkürzt und das funktionelle Ergebnis deutlich verbessert werden kann. Wenn möglich sollte an den Frakturstellen das Periost erhalten bleiben, um eine schnellere knöcherne Durchbauung und eine geringere Sehnenadhärenz zu erreichen.

Determinanten der Knochenkürzung sind das Ausmaß des zu erwartenden

1. Weichteilschadens,
2. Nervendefektes und
3. Knochendefektes.

➤ **Hauptziel der primären Verkürzung bei Erstoperation sind eine möglichst vollständige Entfernung geschädigten Gewebes zur postoperativen Komplikationsprophylaxe und zur Erzielung besserer funktioneller Ergebnisse, der primäre Wundschluss, die optimal weichteilgedeckte Osteosynthese und eine maximal wiederhergestellte Sensibilität im Handbereich.**

Bei transartikulärem Amputationsverlauf mit gut erhaltenen Knorpelverhältnissen sollte die Gelenkrekonstruktion versucht werden, um zumindest eine Teilfunktion zu erhalten. Eine Knochenkürzung muss in diesen Fällen proximal oder distal des rekonstruierten Gelenks durchgeführt werden.

Osteosynthetische Versorgung

Im Hinblick auf eine rasche Mobilisierung oder zumindest einen möglichst frühen Beginn der passiven krankengymnastischen Übungsbehandlung sollte die Osteosynthese zumindest übungstabil sein. Bei blanden Wundverhältnissen nach primärer Extremitätenkürzung kann eine Stabilisierung im Diaphysenbereich mithilfe einer Plattenosteosynthese erfolgen. Die zusätzliche Beeinträchtigung der Vaskularisation im Plattenbereich muss beachtet werden. Bei unsicheren Weichteilverhältnissen bleibt der Fixateur externe die Osteosynthesemethode der Wahl. Nach Verbesserung der Weichteilsituation, sollte in Hinblick auf die Bedeutung der frühen Remobilisierung im Bereich der oberen Extremität, sekundär auf eine stabilere Form der Osteosynthese umgestiegen werden.

Mikrochirurgische Versorgung

Um die Ischämiezeit möglichst kurz zu halten und die weitere Entwicklung einer Myonekrose zu verhindern, muss schnellstmöglich der arterielle Einstrom in das Amputat wiederhergestellt werden. Besteht eine Ischämiezeit von mehr als 3–4 Stunden sollte vor der osteosynthetischen Versorgung ein arterieller Shunt als temporäre Anastomose zwischen Körper und Amputat angelegt werden. Bei einer Ischämiezeit unter 3–4 Stunden kann nach der osteosynthetischen Versorgung direkt mit der Revaskularisierung der arteriellen Hauptgefäße begonnen werden. Der initial auftretende venöse Blutverlust sollte toleriert werden, da hierdurch die Wahrscheinlichkeit eines mitunter lebensbedrohlichen Reperfusionssyndroms gemindert werden kann.

Der kalkulierte Blutverlust sollte daher bereits vor Eröffnung der arteriellen Strombahn erfolgen. Nach Ausschwemmung der toxischen Metabolite kann die venöse Anastomosierung erfolgen. Dieser große Blutverlust muss bereits vor Eröffnung der Strombahn wirkungsvoll kompensiert werden.

➤ **Zur Sicherung des Überlebens des Replantats werden initial mindestens eine Arterie und zwei Venen rekonstruiert. Ist der klinische Eindruck ausreichen, d. h. rosiges Hautkolorit im gesamten Amputatbereich und keine venösen Stauungszeichen, werden anschließend die Muskel- und Sehnenstümpfe rekonstruiert. Zur Verbesserung der Perfusionssituation sollten, wenn immer möglich, im Unterarmbereich beide Arterien und 4–6 (tiefe und oberflächliche) Venen rekonstruiert werden.**

Die Kontinuität der Gefäß-Nerven-Straße muss wiederhergestellt werden (Nahtmaterial: 6/0–9/0). Die Sequenz der Rekonstruktion von arterieller und venöser Strombahn wird unterschiedlich angegeben.

Bei Gefäßdefekten ist es ratsam, die Indikation für ein Veneninterponat großzügig zu stellen. Als Spenderregion der Wahl zählt

der kontralaterale Unterschenkel (V. saphena parva). Ein Veneninterponat kann von einem dritten Operationsteam gehoben werden. Neben der Kennzeichnung der Flussrichtung ist bei Veneninterponaten zu bedenken, dass durch den größeren Druck das Interponat sowohl an Durchmesser als auch an Länge (etwa 10%) zunimmt.

- **Um ein »Kincking« zu vermeiden, muss das Interponat gering kürzer als der zu ersetzende Defekt sein. Für eine adäquate intraoperative Längenbestimmung hat es sich bewährt, zuerst die proximale Anastomose zu nähen, den Blutfluss bei angeklebtem distalem Ende freizugeben und nach Dehnung des Interponats die adäquate Interponatlänge zu überprüfen.**

Pro Arterien sollten mindestens 2 Venen genäht werden. Es ist wichtig, nicht nur die oberflächlichen Venen zu nähen, da bei fehlendem tiefem Abfluss eine zusätzliche Muskelnekrose entstehen kann. Möglichst viele Venen sollten anastomosiert werden, um das postoperative Ödem mit subsequenter Fibrosierung zu minimieren.

Wenn immer möglich sollte eine spannungsfreie Koaptation der großen Nervenstämme (Nahtmaterial: 10/0) bei der Erstoperation erfolgen, wobei die intraneurale Topografie bedacht werden sollte. Bei vorliegenden Nervendefekten ist eine primäre Nerven- transplantation nur dann indiziert, wenn einwandfreie Nerven- transplantate im Rahmen des Gewebebankkonzeptes von nicht mehr zu replantierenden Extremitätenanteilen gewonnen werden können. In allen anderen Fällen hat sich die frühsekundäre Nerven- transplantation nach etwa 3 Monaten bewährt. Bei frühsekundärer Versorgung sollte an die Möglichkeit der histochemischen Unterscheidung von motorischen und sensiblen Nervenfasern (Acetylcholinesterasereaktion nach Karnowsky-Gruber) gedacht werden.

Obwohl theoretisch die Anastomosierung von Lymphgefäßen möglich ist, verlässt man sich im Zeitdruck der Erstoperation auf die spontane Lymphangiogenese, die etwa nach 8 Tagen einsetzt.

Versorgung von Muskel- und Sehnenverletzungen

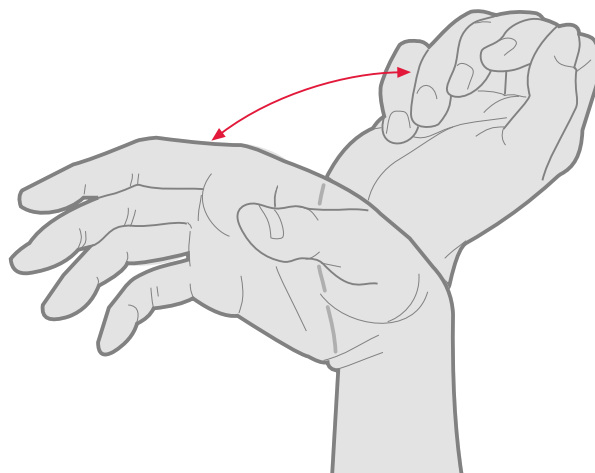
- **Vor allem im Oberarm- und Unterarmbereich sollte, wenn es die Ischämiezeit zulässt, die Versorgung der Muskel- und Sehnenverletzungen im Anschluss an die Osteosynthese durchgeführt werden, da bei optimaler Übersicht bessere funktionelle Ergebnisse erzielt werden können. Liegt die kalte Ischämiedauer über 3–4 Stunden, muss jedoch zuerst die Gefäßstrombahn wiederhergestellt werden.**

Korrespondierende oder funktionsähnliche Muskel- und Sehnenstümpfe müssen koaptiert werden. Um ein gutes Ergebnis zu erzielen, muss auf eine ausreichende Vorspannung dieser Strukturen geachtet werden. Im Handbereich ist dies erreicht, wenn die Finger in der typischen Ruheposition mit zunehmender Fingerbeugung nach ulnarseitig zu liegen kommen (■ Abb. 41.10).

Operationstechnisch können drei Methoden der Muskel- Sehnen-Naht unterschieden werden (■ Abb. 41.11). Muskelnähte sollten immer durch Muskelsepten gelegt werden, um die initiale mechanische Belastbarkeit zu erhöhen.

Wundschluss und postoperative Ruhigstellung

Nach Einlage mehrerer Easy-Flow-Drainagen (ohne Sog!!!) sollte ein lockerer Wundschluss durchgeführt werden. Ein bestehender Hautdefekt kann in Abhängigkeit von seiner Unterlage primär mit Spalthaut oder vorzugsweise mit temporären Hautersatzstoffen gedeckt werden. Eine andere Möglichkeit bietet die Span-



■ **Abb. 41.10** Spontane Fingerstellung bei adäquater Sehnenspannung bei Handgelenksflexion und Handgelenksextension. (Aus Berger u. Hierner 2009)

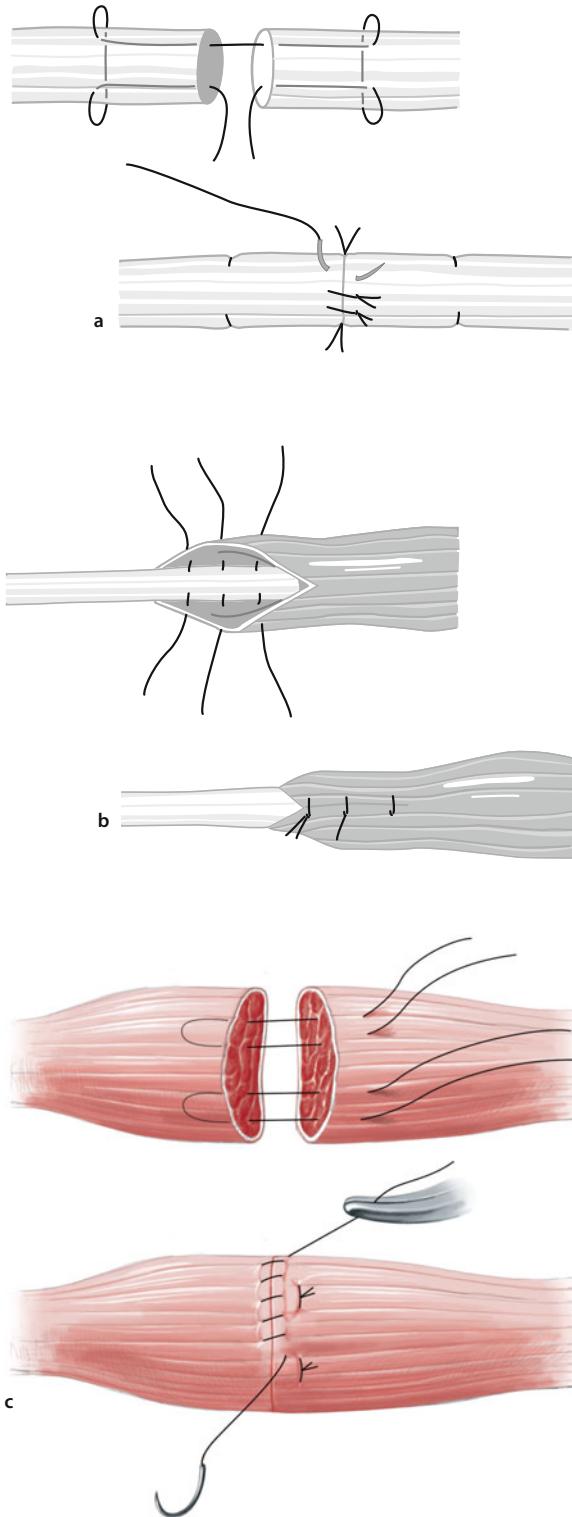
nungsentlastung mithilfe von multiplen Hautinzisionen. Bei ersatzschwachem oder ersatzunfähigem Wundgrund muss in einer Second-Look-Operation ein gestielter oder freier Gewebetransfer durchgeführt werden. Ein dicker lockerer Watteverband mit gekrüllten Kompressen, sowie eine Oberarmgipsschiene beenden die Operation.

Postoperative Nachbehandlung Postoperative Überwachung

- **Wegen der systemischen Wirkung nach Revaskularisierung größerer Extremitätenabschnitte aufgrund eines Ischämie-Reperfusionssyndroms sowie Crush-Syndromen muss der Patient postoperativ intensivmedizinisch überwacht werden.**

Die klinische Untersuchung, sowie eine Röntgenuntersuchung der rekonstruierten oberen Extremität in zwei Ebenen dienen zur routinemäßigen Ergebnisbeurteilung. Die Amputatdurchblutung wird klinisch oder mithilfe eines Doppler-Gerätes ebenfalls engmaschig kontrolliert. Bei unklaren vaskulären Komplikationen kann eine postoperative digitale Subtraktionsangiografie und/oder Phlebografie notwendig werden. Lungen- und Nierenfunktion müssen engmaschig überprüft werden. Die rekonstruierte Extremität sollte »auf Körperriveau« gelagert sein. Bei geringen venösen Stauungszeichen kann die Extremität leicht hochgelagert werden. Bei zunehmender Zyanose und Umfangszunahme muss die Indikation zur operativen Revision unverzüglich gestellt werden. Gefäßkomplikationen nach Replantation treten meistens als Vasospasmus oder Thrombose auf. Sie müssen sofort nach Diagnose therapiert werden. Mögliche Ursachen für einen Vasospasmus sind Hypotension, niedrige Raumtemperatur, mechanische Einwirkungen und Gefäßverletzungen und ein protrahiert verlaufendes »no-reflow-phenomenon«. In seltenen Fällen kann es notwendig werden, einen Teil der Adventitia in der Nähe der Anastomose zu entfernen. Die Hauptursache für eine Thrombose ist ein verletzter Gefäßabschnitt im Anastomosenbereich oder dem venösen Abflussgebiet und eine postoperativ auftretende Infektion. Die Therapie ist chirurgisch. Das Gefäß wird präpariert und nach makroskopischen Verletzungszeichen untersucht. Zeigt das Gefäß keine makroskopisch sichtbaren Verletzungsmarken, wird die Anastomose untersucht und gegebenenfalls revidiert. Bestehen Prellmarken wird das Gefäß bis ins Gesunde reseziert und der Defekt mit einem Interponat

überbrückt. Bei infektbedingter Thrombose muss der Infekt saniert werden. Da eine Gefäßanastomose und ein Veneninterponat im infizierten Gebiet höchst thrombosegefährdet sind, muss ein längeres Umgehungsinterponat eingebracht werden.



■ **Abb. 41.11** Methoden der muskulo-tendinösen Rekonstruktion. **a** Tendinöse Naht, **b** tendomuskuläre Naht, **c** muskulomuskuläre Naht. (Aus Berger u. Hierner 2009)

Mögliche Ursachen einer akuten venösen oder arteriellen vaskulären Insuffizienz

(Die vaskulären Insuffizienzen können einzeln oder kombiniert auftreten)

- Mögliche Ursache einer arteriellen Insuffizienz
 - Thrombose/Embolie
 - Kinking
 - Vasospasmus
 - Abriss oder Insuffizienz des Pedikels
 - Therapie mit Katecholaminen
 - Extremität zu hoch gelagert
 - Anämie, Hypovolämie oder Hypotonie
 - Sekundär nach venöser Insuffizienz
 - Komprimierende Weichteilstrukturen (Schwellung) oder Verband
- Mögliche Ursachen einer venösen Insuffizienz
 - Thrombose
 - Kinking
 - Abriss oder Insuffizienz des Pedikels
 - Hämatom
 - Extremität zu tief gelagert
 - Konstringierender Verband
 - Komprimierende Weichteilstrukturen

Zwischen dem 4. und dem 7. postoperativen Tag zeigt es sich, ob der Organismus mit den toxischen Abbauprodukten fertig wird oder ob es zu einer schweren Allgemeinbeeinträchtigung kommt. Als empfindlichstes Organ reagiert die Niere, erst im Weiteren die übrigen Organsysteme. Besonderer Wert wird deshalb auf hohe Stundenurinmengen zur Ausschwemmung toxischer Myoglobinmetaboliten gelegt. Dabei betragen die Infusionsmengen etwa 4.000–5.000 ml/d. Bei dieser hohen Flüssigkeitszufuhr muss vor allem auf die Lungenfunktion geachtet werden. Ein therapeutisch nicht beherrschbares Nieren- oder Lungenversagen sowie ein beginnendes Zweioorganversagen stellen die Indikation zur frühen Reamputation (► Übersicht) dar.

- Die meisten akuten Reamputationen sind bedingt durch Fehler bei der Indikationsstellung zur Replantation bzw. Revaskularisation. Vor allem eine zu lange Ischämiezeit und eine Unterschätzung der tatsächlichen Gewebeschädigung sind zu nennen. Weitere Indikationen für eine akute Reamputation sind ein unüberwindliches Gefäßproblem und eine septische Streuung einer lokalen Infektion im Replantat.

Indikationen zur frühen Reamputation von Makroreplantaten an der oberen Extremität

- Absolute Indikationen
 - »No-reflow-phenomen«
 - Zwei-Organ-Versagen
 - Tiefe Infektion mit beginnender Sepsis
- Relative Indikationen
 - Nierenversagen
 - Lungenversagen (ARDS)
 - Persistierende Crush-Syndrome (Hyperkaliämie, Methämoglobinämie, steigende CK)
 - Gerinnungsprobleme (DIC)

Postoperative Begleittherapie und Maßnahmen

Der Erfolg einer Replantation bzw. Revaskularisation im Bereich der oberen Extremität ist abhängig von:

1. einer technisch gut durchgeführten Primäroperation (eventuell gefolgt von funktionsverbessernden Sekundäreingriffen),
2. einer früh einsetzenden krankengymnastischen und ergotherapeutischen Begleittherapie sowie
3. einer frühzeitigen sozialen und beruflichen Wiedereingliederung.

Eine antikoagulative Therapie des Patienten sollte regulär durch niedermolekulare Heparinabgabe erfolgen. Bei kompliziertem Verlauf und erhöhter Thromboseneigung empfiehlt sich zudem eine Thrombozytenaggregationshemmung sowie eine PTT-wirksame Heparinisierung. Die initial angeordnete antibiotische Therapie ist testgerecht fortzuführen. Der Patient sollte postoperativ eine adäquate Analgetherapie über einen Plexuskatheter verabreicht bekommen und postoperative Röntgenkontrollen durchgeführt werden. Um den Einfluss externer Stressfaktoren zu minimieren, empfiehlt sich, das Zimmer des Patienten vor lauten Geräuschquellen abzuschirmen, den Bettnachbarn sorgfältig auszuwählen und das Zimmer angenehm zu temperieren. Der Patient sollte nach erfolgreicher Replantation unter keinen Umständen Zigaretten rauchen. Ggf. muss ein Nikotinplaster verordnet werden.

- **Nur durch eine intensive krankengymnastische und ergotherapeutische Begleittherapie kann das durch die Rekonstruktion geschaffene Potenzial optimal ausgenutzt werden. Besonders wichtig sind auch Übungen für den kontralateralen Arm, damit die Patienten ihr Selbstständigkeitsgefühl zurückgewinnen.**

In Abhängigkeit von den Weichteilverhältnissen und der Stabilität der Osteosynthese dürfen passive Bewegungsübungen im Operationsgebiet frühestens nach 10 Tagen (Nervennaht) begonnen werden. Zum Schutz der Sehnennähte und Osteosynthese sollen nur kleine Bewegungsamplituden ausgeführt werden. Nach der knöchernen Konsolidierung (4–6 Wochen) ist eine Physiotherapie ohne Einschränkung möglich.

Eine früh einsetzende und konsequent durchgeführte Schienenbehandlung hat das Ziel, sekundäre Kontrakturen zu vermeiden und die durch die Krankengymnastik gewonnenen Bewegungsräume zu bewahren.

- **Die besten Ergebnisse können dann durch eine mehrwöchige stationäre Anschlussheilbehandlung erzielt werden (► Kap. 16).**

Da bei Handarbeitern der frühere Beruf nur in seltenen Fällen wieder aufgenommen werden kann, ist es wichtig, mit dem Patienten ausführlich die Lage zu besprechen und möglichst früh einen Antrag auf Umschulung einzureichen.

- **Nur durch eine konsequente Patientenführung zusammen mit dem Sozialdienst können wiedergewonnene Funktionen für den Patienten in seinem Alltagsleben nutzbar gemacht und ein soziales Abgleiten verhindert werden.**

Funktionsverbessernde Sekundäreingriffe

Unter »funktionsverbessernden Eingriffen« versteht man alle möglichen operativen Eingriffe, die nach Replantation bzw. Revaskularisation notwendig werden können, um eine Ergebnisverbesserung für den Patienten zu erreichen.

Geplante, d. h. bereits zum Zeitpunkt der Primärversorgung festgelegte funktionsverbessernde Eingriffe werden notwendig,

wenn man nach dem Konzept der zweizeitigen normotopen Replantation oder der geplant heterotopen Revaskularisation mit sekundärer normotoper Replantation (»limb banking«) vorgeht. Im Gegensatz zur unteren Extremität ist ein Längenausgleich bei primär verkürzter Replantation routinemäßig nicht notwendig. Elektive funktionsverbessernde Operationen werden erst nach kompletter Wundheilung und einer längeren Erholungszeit für den Patienten durchgeführt. Eine exakte Diagnostik der Funktionen nach Replantation ist entscheidend für den therapeutischen Erfolg. Folgende Fragen müssen beantwortet werden:

1. Ist eine sekundäre rekonstruktive Operation möglich?
2. Ist eine sekundäre rekonstruktive Operation sinnvoll?

Ein rekonstruktiver Eingriff nach Replantation ist nur sinnvoll, wenn er den Bedürfnissen des Patienten gerecht wird und eine ausreichende Compliance des Patienten für den vorgeschlagenen Eingriff und die oft lange Rehabilitation besteht.

- **Aufgrund des vorgeschädigten Operationsgebietes muss mit einer größeren Morbidität gerechnet werden.**

Elektive funktionsverbessernde Eingriffe umfassen Weichteildeckung, Knochenrekonstruktion, Nervenrekonstruktion und Muskel- und Sehnenrekonstruktion. Das differenzialtherapeutische Vorgehen entspricht jenem bei der Rekonstruktion von kombinierten Knochen-Weichteil-Defekten im Bereich der oberen Extremität (► Abb. 41.12).

Die häufigste Ursache für Sekundäroperationen, narbige Verwachsungen der Sehnen, kann durch eine Tendolyse gelöst werden. Häufig liegt auch eine arthrogene Bewegungseinschränkung vor, sodass zusätzlich auch eine Arthrolyse notwendig ist. Eine bereits am ersten postoperativen Tag beginnende Übungsbehandlung ist wichtig für den Operationserfolg. Die Tenotomie kommt vorzugsweise bei extremen Kontrakturen der intrinsischen Handmuskulatur zur Anwendung. Tenodesen und Arthrodesen im Handgelenkbereich können die Greiffunktion deutlich verbessern. Bei muskulärer Endorganinsuffizienz kann auch ein Sehnentransfer oder sogar ein mikrovaskulärer Muskeltransfer notwendig werden. In Abhängigkeit vom bestehenden Gewebeschaden können bereits bei der Primäroperation Muskel- und Sehnentransfers zur Verbesserung von Teilfunktionen (Latissimus-dorsi-Transfer bei Ellenbogenflexorenverlust; Operation nach Merle-d'Aubigné bei Radialisläsion usw.) antizipiert werden. Wir haben keine Erfahrung mit arthroplastischem Gelenkersatz im Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenksbereich nach Replantation. Bei Amputationen im distalen Unterarmbereich kann sekundär eine primäre Greiffunktion durch einen Zehentransfer wiederhergestellt werden (► Kap. 40).

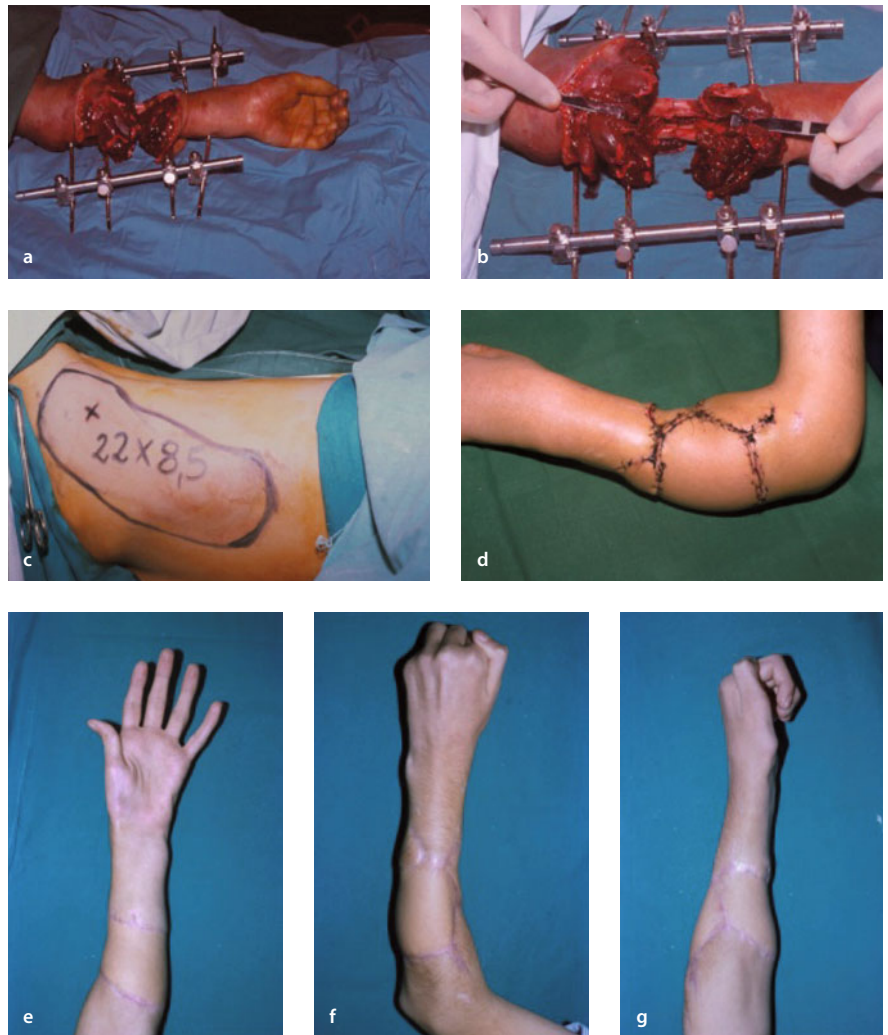
Stumpfversorgung

Operative Schnitte der Stumpfversorgung

Ist die Entscheidung zur Amputation gefällt worden, gilt es die »richtige« Amputationshöhe festzulegen. Diese wird hauptsächlich durch die Qualität der den Stumpf bedeckenden Haut, der Muskulatur und deren Durchblutung, des Knochens sowie auch die Befunde an Sehnen und Knorpel bestimmt (► Abb. 41.13).

Haut

Der Hautmantel ist zunächst für die Qualität des Stumpfes und für dessen Belastbarkeit maßgebend. Im Idealfall handelt es sich um straffe, aber spannungsfreie, zum Untergrund verschiebliche und berührungsempfindliche Haut. Die Form der Amputationsverletzung (Quetschung, Décollement, Verschmutzung etc.) oder aber die Art der Erkrankung (Infektion, Kollagenose etc.) kann



■ **Abb. 41.12** Funktionsverbessernde Sekundäreingriffe. **a, b** Amputationsverletzung des linken Unterarms mit diffuser Quetschung, Z. n. Débridement und einer adäquaten Knochenkürzung, **c** sekundärer Eingriff mit Weichteilrekonstruktion am Unterarm durch freien Parascapulalappen, **d** Z. n. Lappenplastik, **e–g** funktionelles Ergebnis 1 Jahr nach Replantation und sekundärer Rekonstruktion mittels Parascapulalappen

durchaus andere Bedingungen vorgeben. In diesen Fällen ist eine primäre Hautdeckung des Stumpfes nicht möglich. Solange Knochen und bradytrophes Gewebe nicht freiliegen, darf der Stumpf keinesfalls gekürzt werden; durch rekonstruktive Maßnahmen wie lokale Verschiebelappen, Haut- und Spalthauttransplantationen nach Konditionierung des Wundgrundes, aber auch durch Granulation und Epithelialisierung lassen sich Defektareale verschließen. Die narbigen Hautareale nach Spalthauttransplantation bleiben im Stumpfbereich meist problematisch; diese Problemereiche können durch sekundäre Narbenkorrekturen saniert werden (■ Abb. 41.14).

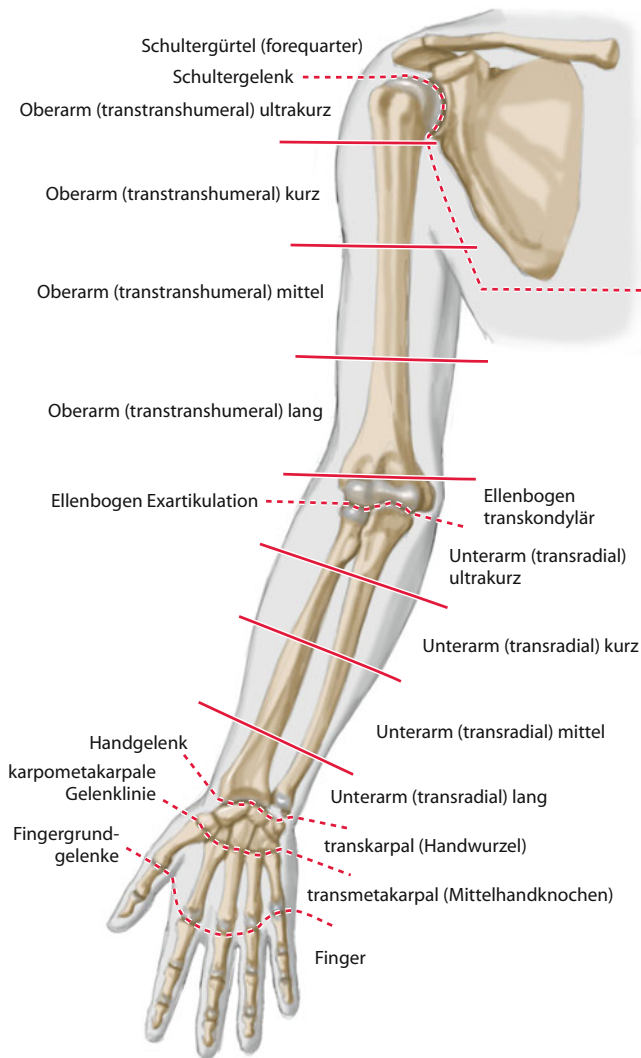
Muskel

Entscheidend für die Funktion und Prognose des Stumpfes ist die Muskulatur. Nekrotische und nicht perfundierte Areale müssen sorgfältig reseziert werden. Bei Verletzungen, Infektionen und zirkulationsbedingten Amputationen wird durch die Vitalität der Muskulatur die Amputationshöhe definiert. Die Resektion der Muskulatur sollte ohne Separierung der einzelnen Muskelgruppen erfolgen, um die funktionellen Einheiten (z. B. Beuger und Strecker, Supinatoren und Pronatoren) erhalten zu können. Bei Tumorerkrankungen muss dagegen das jeweilig betroffene Kompartiment in seiner Gesamtheit amputiert werden. Als Folge der Amputation

fehlt der Muskulatur im Stumpfbereich dann das Erfolgsorgan. Um der Verschmächtigung der Muskulatur entgegenzuwirken und die funktionelle Belastung des Stumpfes zu ermöglichen, sollten die Agonisten und Antagonisten vernäht, oder aber am Oberarm in Form einer Myodese am Humerusschaft fixiert werden. Durch die Bedeckung des knöchernen Stumpfes mit vitaler und funktionell versorgter Muskulatur erfolgt die Polsterung, die einen Stumpf überhaupt erst belastbar macht. Dies gilt sowohl für die rein mechanische Komponente, für die Gebrauchsfähigkeit nach prothetischer Versorgung (myoelektrische Prothesen) als auch für den Schutz der gekürzten Nerven (■ Abb. 41.14).

Gefäße

Während bei traumatischen Amputationen durch Gefäßrekonstruktionen eine Reperfusion erreicht und das Ausmaß der Amputation vermindert oder im optimalsten Fall sogar die Amputation verhindert werden kann, kennzeichnet der Abbruch der Mikrozirkulation bei den anderen Amputationsursachen die Amputationshöhe. Bei Verschluss arterieller Gefäße kann auf der Höhe des Gefäßabbruchs und sogar distal davon noch eine ausreichende Durchblutung des Gewebes vorhanden sein, sodass die Absetzungshöhe sich nach der tatsächlichen Vitalität der Muskulatur zu richten hat. Dagegen sind thrombotische Verschlüsse venöser

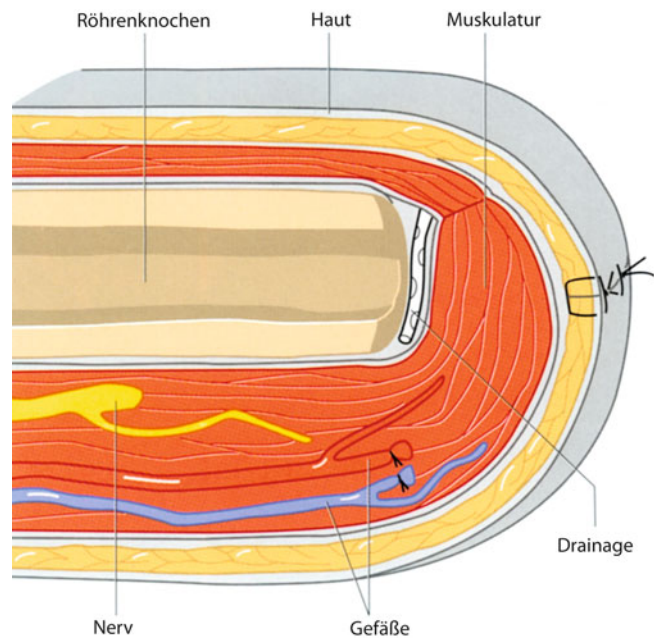


■ **Abb. 41.13** Amputationshöhen im Bereich der oberen Extremität. (Aus Berger u. Hierner 2009)

Gefäße als unbedingtes Kriterium zur Amputation des unmittelbar umgebenden Gewebes anzusehen. Die korrekte Amputationshöhe ist erst dann erreicht, wenn wieder venöser Abfluss erkennbar ist. Zur Absetzung müssen die arteriellen und venösen Gefäße separiert und einzeln mit Durchstechungsligaturen versorgt werden um Nachblutungen zu vermeiden und die Bildung arteriovenöser Fisteln zu verhindern (■ Abb. 41.14).

Nerven

Die Durchtrennung der Nerven erfordert besonders große Sorgfalt. Durch Phantom- und Stumpfschmerzen kann auch der sonst perfekte Stumpf nicht belastbar und damit gebrauchsunfähig werden. Bei rund 10% aller Patienten kommt es nach Amputationen zu chronischen Schmerzzuständen, ohne dass bisher eine wesentliche Reduzierung dieser Rate erreicht werden konnte. Deswegen wurden für die Versorgung des Nervenstumpfes so unterschiedliche Verfahren empfohlen wie das Einspritzen von Lokalanästhetika oder Alkohol die Versiegelung mit Silikonkappen und die Fibrinklebung. Da ein amputierter Nerv an seiner Absetzungsstelle aber immer reaktiv unter Bildung eines Neuroms zu verheilen



■ **Abb. 41.14** Längenverhältnisse der verschiedenen Gewebe eines Amputationsstumpfes. (Aus Berger u. Hierner 2009)

sucht, muss der Nervenstumpf spannungsfrei zwischen gut vaskularisiertem Gewebe, am besten Muskulatur, eingebettet werden. Das Ende der abgesetzten Nerven darf nie in der potenziellen Belastungszone des gebildeten Stumpfes zu liegen kommen. Eine routinemäßige und frühzeitige Mitbehandlung des Patienten in einer spezialisierten Schmerzambulanz führt zu einer signifikanten Ergebnisverbesserung (■ Abb. 41.14).

Knorpel und Knochen

Die Weichteildeckung des Stumpfes mit gut vaskularisiertem Gewebe hat die höchste Priorität. Die Tragfähigkeit des Amputationsstumpfes hängt von der Länge und Qualität des knöchernen Stumpfes ab. Gerade bei traumatisch bedingten Amputationen muss bedacht werden, dass die Ausgangssituation nicht mit der Amputationshöhe übereinstimmen muss. Durch Osteosynthesen von Frakturen, die im Amputationsbereich oder proximal davon liegen, kann eine Verlängerung des Amputationsstumpfes erreicht werden. Dies hat bereits bei wenigen Zentimetern an Arm und Unterarm positive Auswirkungen auf die Gebrauchsfähigkeit des resultierenden Stumpfes. Aber auch nach primärer Stumpfversorgung besteht prinzipiell die Möglichkeit der sekundären Stumpfverlängerung. Bei Amputationen, die im Gelenkbereich erfolgen, gibt es keine zwingende Notwendigkeit den Gelenkknorpel zu entfernen. Lediglich bei Überstehen der Gelenkanteile, wie an den Epikondylen des distalen Oberarms, ist die Entfernung des Gelenkknorpels und anteiligen Knochengewebes zur Stumpfkonfektion angezeigt (■ Abb. 41.14).

Bänder, Sehnen, Faszien

Wenn diese bradytrophen Gewebeanteile stumpfe Oberflächen und gelb-bräunliche Verfärbungen aufweisen, müssen die betroffenen Anteile reseziert werden. An den proximalen Stümpfen mit guter Deckung durch Muskelgewebe empfiehlt es sich die Sehnen und Faszien entsprechend den muskulären Agonisten und Antagonis-

ten über dem Stumpf zu vereinigen. Bei distalen Amputationen wie an den Fingern muss dies unterbleiben, hier werden die Sehnen lediglich gekürzt (■ Abb. 41.14).

Postoperative Nachbehandlung

Postoperative Überwachung

Eine operationsspezifische postoperative Überwachung ist nach Stumpfbildung nicht notwendig. Der Patient wird entsprechend seines Allgemeinzustandes entweder auf eine Intensivstation (Polytrauma), Intermediate Care oder Normalstation verlegt.

Postoperative Begleittherapie und Maßnahmen

Die 1. Phase der postoperativen Behandlung beginnt mit der Anlegung des Verbandes am frischen Amputationsstumpf und endet mit der äußeren Wundheilung.

Die 2. Phase umfasst nach abgeschlossener Wundheilung:

- physiotherapeutisch zu fördernde Stabilisierung des Stumpfes,
- Stumpfvorbereitung auf die frühprothetische Versorgung,
- Bau und Anpassung der Prothese,
- Gebrauchsschulung mit der Prothese,
- Rehabilitation und Übergang zur vollen Gebrauchsbelastung, schließlich die Vorbereitung auf die Rückkehr in die berufliche Tätigkeit (► Kap. 42).

Auch danach bleibt der Amputierte in fachärztlicher Betreuung, um eventuellen Komplikationen, nachteiligen Entwicklungen des Stumpfes, allgemeinen negativen Rückwirkungen auf den übrigen Körper sowie Störungen der prothetischen Versorgung und deren Handhabung rechtzeitig begegnen zu können.

Funktionsverbessernde Sekundäreingriffe

Nicht bei allen Primärversorgungen kann das Therapieziel »der optimale Stumpf« (eine adäquate Knochenlänge und Weichteildeckung sowie eine gute Sensibilität sind Voraussetzungen für eine möglichst komplikationslose Prothesenversorgung) erreicht werden.

Neben der konventionellen Stumpfvorsorgung sollte bereits bei der Erstoperation an die Möglichkeit einer einzeitigen oder zweizeitigen (»flap banking«) Stumpfverbesserung mit Amputatenteilen gedacht werden. Können keine Amputatenteile zur Stumpfverbesserung verwendet werden, kann der Amputationsstumpf auch sekundär durch freie (mikrovaskuläre) Transplantate oder mithilfe der progressiven Extremitäten- bzw. Stumpfverlängerung verbessert werden (■ Abb. 41.3). Bei Amputationen im distalen Unterarmbereich kann sekundär eine primäre Greiffunktion durch einen Zehentransfer wiederhergestellt werden.

Sekundäre Prothetische Versorgung ► Kap. 42

Allogene Extremitätentransplantation (»composite tissue allotransplantation«, CTA)

Die Transplantation von Körperteilen wie der Hand oder des Gesichts entspricht einer Übertragung von genetisch nicht identischen Geweben der gleichen Spezies. Deswegen spricht man von einer Allotransplantation, die eine immunsuppressive Therapie verlangt, um eine Zerstörung des Transplantates durch das Immunsystem des Empfängers zu verhindern. Eine solche Therapie muss lebenslang, bzw. so lange der Patient das Transplantat hat, eingenommen werden.

Die erste Handtransplantation wurde bereits 1964 in Ecuador unternommen. Da der Patient keine immunsuppressive Therapie bekam, musste aufgrund einer progredienten Abstoßungsreaktion

die transplantierte Hand nach 2 Wochen amputiert werden. Im September 1998 wurde in Lyon in Frankreich die erste Handtransplantation in der Ära der modernen Immunsuppression durchgeführt. Damit wurden die Allotransplantationen in die klinische Praxis weltweit eingeführt.

Das erstrangige Ziel der Handtransplantation ist das Überleben des Transplantats mit einem optimalen funktionellen und ästhetischen Ergebnis. Das Ziel wurde in den meisten publizierten Fällen erreicht. Dennoch sind die Nebenwirkungen und Langzeitfolgen einer Dauertherapie derzeit ein bestimmender Faktor bei der Indikationsstellung für Handtransplantationen. Da die Handtransplantation nur der Verbesserung der Lebensqualität dient, muss die Indikation für die Handtransplantation weiterhin sehr kritisch betrachtet werden.

Bei beidseitiger Handtransplantation sollte die Operation in vier Teams, die synchron arbeiten, vorgenommen werden. Zwei Teams werden die Entnahme des Spenderarmes und die anderen zwei die Stumpfpräparation für die Aufnahme des Allotransplantates bei dem Patienten durchführen.

Auswahl des Empfängers

Die Auswahl des Empfängers orientiert sich an den Innsbrucker Ein- und Ausschlusskriterien. Bei positiver Evaluation erfolgen routinemäßige klinische Untersuchungen und Blutabnahmen. Erkrankungen der knöchernen Strukturen müssen durch Röntgenuntersuchung unbedingt präoperativ ausgeschlossen werden. Bei Verdacht auf Osteomyelitis ist eventuell eine weiterführende Diagnostik mittels Knochenszintigrafie oder Knochenbiopsie indiziert. Bei Bestehen einer Infektion muss diese konsequent therapiert werden. Zudem muss eine Hepatitis- oder HIV-Infektion sowie eine Zytomegalie- und Epstein-Barr-Virus-positive Serologie ausgeschlossen werden.

► **Jegliche Infektion im Bereich des Empfängergebietes muss unbedingt ausgeschlossen werden.**

Auswahl des Spenders

Grundlegende Voraussetzung für eine allogene Transplantation ist die Gewebeverträglichkeit sowie die Blutgruppenkompatibilität. Weiterhin muss der Spender tumor- und infektfrei sein und sollte das gleiche Geschlecht und ein ähnliches Alter aufweisen. Das Spenderorgan muss vor der Transplantation genauestens untersucht und Röntgenaufnahmen angefertigt werden:

- Bestehen chronische Erkrankungen des Knochenskeletts?
- Stimmt der Knochenbau weitgehend mit dem des Empfängers überein?
- Lassen sich Hautfarbe und Textur von Spender und Empfänger miteinander vergleichen?

Bei positiver Evaluation sollte das Einverständnis zur Organspende von den Angehörigen des Spenders eingeholt werden.

Entnahme des Spenderorgans

Grundlegende Voraussetzung zur Entnahme von Organen ist die umgehende Einsatzbereitschaft des Replantationsteams. Im Vorfeld der Entnahme sollte bereits feststehen, welche Organe zuerst entnommen werden sollen. Neben der notwendigen chirurgischen Ausrüstung sollte immer auch eine geeignete Handprothese zur Verfügung stehen. Die Operation erfolgt in Blulleere. Im Bereich des Ellbogens wird nach Inzision die A. brachialis samt Begleitvenen aufgesucht und ligiert. Die Nervenstrukturen werden aufgesucht und markiert. Die Muskeln werden unter Koagulation durchtrennt

und anschließend in geeigneter Höhe die Knochen osteotomiert. Nun kann sich das Operationsteam aufteilen, sodass die Stumpfversorgung samt prothetischer Versorgung und die weitere Amputatvorbereitung simultan durchgeführt werden können. Wenn die Präparation aller Strukturen abgeschlossen und eine exakte Blutstillung erreicht wurde, wird die A. brachialis kanüliert und so lange mit der »University-of-Wisconsin«-Lösung gespült, bis eine vollständige Blutleere des Amputats erreicht wird. Abschließend wird das Amputat in feuchte Gazen gewickelt und gekühlt gelagert, wobei jeder direkte Kontakt mit Eis zu vermeiden ist. Während der Organentnahme sollte vom Spender Material vom Thymus und der Milz für spätere immunologische Analysen gewonnen werden.

Vorbereitung der Empfängerstelle

Die Operation erfolgt in Vollnarkose. Nach Anlage einer Oberarmblutsperrung wird diese initial benötigt, um das superfizielle Venensystem darzustellen. Nach Markierung erfolgt die weitere Operation in üblicher Blutleere.

Vorbereitung der Weichteile. Über die Hautinzisionen wird ein Zugangsweg zu den neurovaskulären Strukturen und dem Knochen geschaffen. Hierbei darf nicht direkt über den Gefäß- bzw. Nervenbündeln inzidiert werden. Die Schnittführung sollte sich an der bestehenden Vernarbung des Stumpfes orientieren und entsprechend mehrere Z-Plastik geplant werden, sodass ein spannungsfreier Verschluss sowie eine bessere Narbenbildung im Bereich der Nahtstelle durch Transposition erzielt werden kann. Da bei einer Transplantation immer das Risiko einer sekundären Amputation besteht, muss bei der Lappenplanung auf ausreichend Gewebe für eine erneute Stumpfversorgung geachtet werden.

Vorbereitung und Markierung der Gefäße und Nerven. Die markierten superfiziellen Venen werden nun disseziert. Bei insuffizienten venösen Anschlussgefäßen im Stumpfbereich muss weiter nach proximal präpariert und die Strecke eventuell später durch venöse Interponate überbrückt werden. Anschließend werden die tiefen Gefäße am Ober- oder Unterarm samt Vv. comitantes präpariert. Die Nervenstümpfe der drei Hauptnerven werden identifiziert und angefrischt.

Vorbereitung und Markierung der Sehnen und Muskeln. Die Sehnen bzw. Muskel sollten ebenfalls identifiziert und markiert werden. Es empfiehlt sich bei einer Transplantation die Sehnen auf unterschiedlichem Niveau zu kürzen, sodass Sehnennahtareale nicht direkt aneinander zu liegen kommen. Hierdurch können Adhäsionen und narbige Verwachsungen der Sehnen verhindert werden.

Vorbereitung der Osteosynthese. In der jeweiligen Höhe muss das osteosynthetische Verfahren festgelegt werden. Bei Anbringung einer Lochplatte sollte diese bereits mit Schrauben fixiert werden.

Technik der Transplantation

Die Operationssequenz der Extremitätentransplantation gleicht weitgehend derjenigen bei einer Extremitätenreplantation.

Osteosynthetische Versorgung. Die Osteosynthese sollte nach Möglichkeit mit einem internen Fixationsverfahren durchgeführt und Gelenke nach Möglichkeit nicht immobilisiert werden.

Primäre Revaskularisation. Im Bereich des Unterarmes sollte zuerst nur eine Arterie und im Bereich des Oberarmes die Haupt-

arterie anastomosiert und anschließend eine kurze Blutungsphase toleriert werden. Durch den Rückfluss werden die funktionellen superfiziellen Venen gut gefüllt und entsprechend anastomosiert.

Sehnen- und Muskelrekonstruktion. Durchführung tendoten-dinöser bzw. tendomuskulärer oder intermuskulärer Nähte. Um Adhäsionen zwischen den Sehnen zu vermeiden, sollten diese auf unterschiedlicher Höhe vernäht werden. Dies wird durch Zuschneidung der Sehnen erreicht. Hierbei muss auf die richtige Balance der Beuge- und Strecksehnen geachtet werden.

Definitive Revaskularisation. Zum jetzigen Zeitpunkt müssen die Anastomosen auf Spannung oder Überlänge überprüft werden. Im Bereich des Unterarmes wird nun die zweite Hauptarterie und mindestens eine V. comitantes anastomosiert. Die andere Hauptarterie, welche meist zu lang ist, wird gekürzt, und ebenfalls mindestens eine V. comitantes anastomosiert. Insgesamt sollten somit nun 4–6 Venen einen adäquaten Rückfluss erlauben.

Koaptation der peripheren Nerven. Die drei Hauptnerven werden proximal des Neuroms aufgesucht und scharf abgesetzt. Bei einer Avulsionsverletzung sollte weit nach proximal disseziert werden. Die Nerven werden anschließend faszikulär oder epineural spannungsfrei koaptiert.

Wundschluss und Verbandanlage. Nach exakter Blutstillung muss das Gewebe durch lokale Z-Plastik adaptiert werden. Die Verbandanlage ist mit größter Sorgfalt durchzuführen. Hierbei wird Fettgaze immer nur in longitudinaler und nie in zirkumferenzieller Manier um die Wunde gelegt. Aufgefaltete Kompressen werden locker zusammengefaltet und die Wunde ausstaffiert. Auf diese Schicht wird weicher Schaumstoff bis zu den Fingerspritzen anmodelliert und eine Seite offen gelassen. Dieser wird mit einer Binde in Position gehalten. Abschließend wird ein Gipsverband angelegt, welcher das Handgelenk einschließen muss. Nun muss abschließend die Perfusion des Transplantats evaluiert und bei jeglicher Beeinträchtigung der Verband gelockert oder neu angelegt werden.

Postoperative Nachbehandlung

Der Erfolg einer Fremdhandtransplantation ist abhängig von der späteren Funktion und der Verhinderung einer Abstoßungsreaktion.

Postoperative Überwachung und Komplikationen

Die postoperative Überwachung des Transplantats unterscheidet sich nicht von der Überwachung nach Replantation. Die speziellen Komplikationen, welche sich in Folge einer Abstoßungsreaktion und/oder durch die immunsuppressive Medikation ereignen können, werden separat abgehandelt. Eine akute Abstoßungsreaktion manifestiert sich nach einer Extremitätentransplantation zuerst an der Haut. Anfänglich kommt es zum Auftreten von asymptomatischen erythematösen Plaques. Bei inadäquater Therapie oder Therapieversagen kommt es zu einer stetigen Progression der kutanen Läsionen mit Ausbildung von lichenoiden oder psoriasiformen Plaques. Eine Mitbeteiligung der Nägel ist möglich.

Postoperative Begleittherapie und Maßnahmen

Im Gegensatz zu Replantationen müssen Patienten mit einer Transplantation noch wesentlich intensiver und langfristiger begleitet und therapiert werden, da es nach dem traumatischen Verlust einer Extremität zu einer kortikalen Reorganisation im Bereich des motorischen und somatosensorischen Kortex des Patienten

mit konsekutiver Unterrepräsentation der verlorenen Extremität kommt. Nach einer Transplantation muss die fremde Gliedmaße durch Reedukation wieder in das Körperschema integriert werden. Daher beginnt der Rehabilitationsprozess bereits am ersten Tag nach der Transplantation. Die Rehabilitationsmaßnahmen werden mit sehr hoher Frequenz und Intensität durchgeführt. Die Therapiedauer wird an die individuellen Bedürfnisse und Funktionsfortschritte des Patienten angepasst und mindestens 1 Jahr fortgesetzt. Das Rehabilitationsprotokoll besteht aus einem EPM-Programm (»early protective joint motion«) kombiniert mit kognitiven therapeutischen Übungen nach Perfetti, Elektrotherapie, Biofeedback und ATL (Aktivitäten des täglichen Lebens). Weiterhin ist eine psychologische Betreuung des transplantierten Patienten obligat, welcher durch die tägliche Identifikation mit der transplantierten Hand einer gewissen psychischen Belastung ausgesetzt ist.

➤ **Die Physiotherapie ist ein integraler Bestandteil der Therapie.**

Immunsuppressive Therapie

Hände und Extremitäten bestehen aus verschiedenen Gewebetypen, welche eine unterschiedliche Immunogenität besitzen. Neben den Knochen, Muskeln, Nerven, Blutgefäßen, Sehnen und Fettgewebe hat vor allem die Haut eine hohes immunogenes Potenzial. Das derzeit verwendete Therapieregime wird auch bei Nierentransplantationen verwendet. Allgemein unterscheidet man zwischen einer Induktionstherapie und einer Erhaltungstherapie. Bei einer Abstoßungsreaktion wird eine Rejektionstherapie, meist in Form einer Kortikosteroid-Stoßtherapie, durchgeführt. Diese Therapie kann als lokale Behandlung (Cremen) und/oder intensiviertere systemische Immunsuppression vorgenommen werden.

Induktionstherapie. Eine Induktionstherapie wird vor, während und in den ersten Tagen nach der Transplantation durchgeführt. Hierzu werden in der Regel mono- oder polyklonale Antikörper verwendet.

Erhaltungstherapie. Die Basistherapie muss in der Regel lebenslang verabreicht werden. Bei der klassischen 3-fach-Kombinationstherapie werden verwendet:

- ein Calcineurin-Inhibitor (Cyclosporin, Tacrolimus, Sandimmun, Prograf)
- Mycophenolat Mofetil (MMF): ein Inhibitor der De-novo-Purinsynthese (wirkt vor allem zytostatisch auf Lymphozyten),
- Glukokortikoide (Prednisolon)

Abstoßungsreaktion und Rejektionstherapie. Generell können Abstoßungsreaktionen akut oder chronisch auftreten. Aufgrund ihres hohen immunogenen Potenzials ist die Haut besonders gefährdet und wird daher makroskopisch und mikroskopisch nach Biopsieentnahme auf Veränderungen untersucht. Im Gegensatz zur Organtransplantation können somit Abstoßungsreaktionen im Bereich der Extremität wesentlich leichter und schneller erkannt werden.

Die höchste Gefahr für eine Abstoßungsreaktion besteht in den ersten 3 Monaten ab der 2. postoperativen Woche

Das Risiko für eine akute Abstoßungsreaktion ist nach der ersten postoperativen Woche in den kommenden 3 Monaten am höchsten. Die Therapie besteht in der Regel in der hochdosierten Gabe von Kortikosteroiden oder bei Therapieresistenz in der Gabe von mono- oder polyklonalen Antikörpern, wobei zielgerichtete monoklonale Antikörper vorzuziehen sind.

Funktionsverbessernde Sekundäreingriffe

Sekundäre funktionsverbessernde Eingriffe nach allogener Extremitätentransplantation werden analog zu den Eingriffen nach Extremitätenreplantation durchgeführt.

41.1.8 Besonderheiten im Wachstumsalter

Replantation

Für Makroreplantationen im Kindesalter (■ Abb.41.15) gelten prinzipiell die gleichen Grundsätze wie bei den Erwachsenen. Folgende Unterschiede sind anzumerken:

- Aufgrund der höheren Regenerationspotenz des Gewebes und möglicher Spontankorrekturen von Fehlstellungen während des Wachstums ist die Indikation zur Replantation im Kindesalter weiter zu stellen. Dennoch gilt der Grundsatz »nil nocere«. Die psychologische Beeinträchtigung (Angst vor weiteren Arztbesuchen) des Kindes durch die Therapie muss immer bedacht werden. Die Kooperation mit einem Kinderpsychologen hat sich bewährt.
- Die Replantation ist aufgrund der anatomischen Verhältnisse technisch schwieriger.
- Während der postoperativen Phase ist die Betreuung durch einen Elternteil (oder eine dem Kind vertraute Erziehungsperson) grundsätzlich notwendig.
- Die postoperative Behandlung (z. B. Verbandswechsel) ist schwieriger.
- Das Management möglicher Komplikationen ist schwieriger.

Mit einem normalen Skelettwachstum ist zu rechnen, wenn die Wachstumsfugen nicht beschädigt wurden.

Stumpfversorgung

Während des Wachstums sind bei der Stumpfversorgung einige Besonderheiten zu beachten:

Überwachstum beim Jugendlichen. Grundsätzlich sind wegen des noch zu erwartenden Längenwachstums die Epiphysenfugen vor zusätzlichen Schäden zu bewahren und bei der Amputationsindikation als erhaltungsbedürftig zu berücksichtigen. Die Exartikulation ist hierfür das natürliche Model. Ursachen für das Überwachstum ist die periostale, oppositionelle Knochenbildung am Knochenende. Problemfälle des Überwachstum sind am Oberarm dessen zu schnelles Wachstum und am Unterarm die Wachstumsbeschleunigung der Elle gegenüber der Speiche.

Missverhältnisse von Knochenstumpf und Weichteilmantel.

Diese sind vor allem am Oberarm zu beobachten. Hier kann es leicht zu knöchernen Durchspießungen des Hautmantels kommen. Da eine Weichteilreserve gewöhnlich nicht mehr zur Verfügung steht, kann hier das abnorme Wachstum durch eine Stumpfkappenplastik oder eine Winkelosteotomie nach Marquart gestoppt werden.

Sekundäre prothetische Versorgung ▶ Kap. 42

Sekundäre allogene Extremitätentransplantation

➤ **Eine Transplantation im Bereich der oberen Extremität bei einem Kind wurde bisher noch nicht durchgeführt und stellt derzeit eine Kontraindikation dar.**

Die Transplantation bei einem Kind ist grundsätzlich ethisch problematisch, da ein Kind nicht in der Lage ist, die Folgen eines

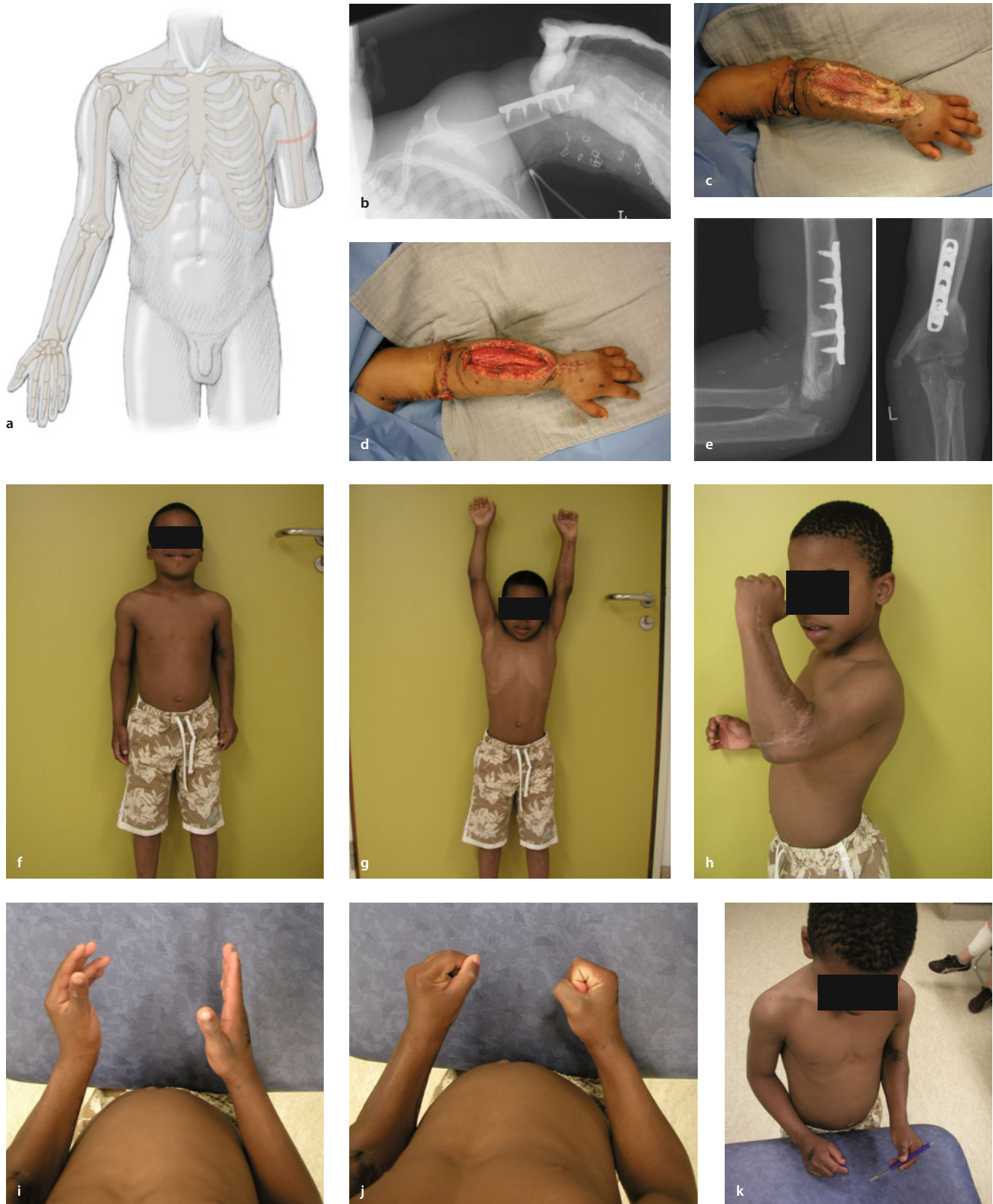


Abb. 41.15 Kindliche Makroreplantation nach suprakondylärer Avulsionsamputation in einer Wäschschleudertrommel bei einem 4-jährigen Jungen. **a** Schematische Darstellung der Amputationshöhe (aus Berger u. Hierner 2009), **b** postoperativer röntgenologischer Aspekt, **c** klinischer Aspekt 2 Tage nach Replantation: temporäre Deckung der Kompartmentspaltung mithilfe von Fremdhaut, **d** klinischer Aspekt 2 Tage nach Replantation: nach Entfernung der Fremdhaut – es zeigt sich ein gut durchbluteter Wundgrund, **e** röntgenologischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation, **f** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: Wachstumsansicht – eine leichte Verkürzung der linken oberen Extremität im Vergleich zur rechten ist auch klinisch auffällig, **g** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: Schulterfunktion, **h** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: Ellbogenfunktion, **i** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: Fingerstreckung, **j** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: Faustschluss, **k** klinischer Aspekt 4 Jahre nach Replantation: intrinsische Handfunktion

solchen Eingriffes abzusehen. Zudem ist das Verfahren der Transplantation trotz der zunehmenden Etablierung den experimentellen chirurgischen Verfahren zuzurechnen, da derzeit noch keine gesicherten Langzeitergebnisse vorliegen. Daher sollte und kann eine Entscheidung zu Gunsten einer Transplantation ebenfalls nicht von den Eltern oder Erziehungsberechtigten des Kindes getroffen werden.

41.1.9 Ergebnisse

Zur Bewertung der Therapieergebnisse bei subtotaler und totaler Makroamputation an der oberen Extremität nach Replantation bzw. Revaskularisation und primärer Stumpfversorgung mit frühzeitiger prothetischer Versorgung dienen neben der Einheilungsrate nach Replantation, das funktionelle Ergebnis klassifiziert nach Chen (■ Tab. 41.3) und die subjektive Ergebnisbewertung durch den Patienten.

Replantation Einheilungsrate

Die Einheilungsrate nach Rekonstruktion (Replantation bzw. Revaskularisation) ist abhängig vom Ausmaß der Amputation, der Amputationshöhe, dem Amputationsmechanismus und der Art und Dauer der Ischämiezeit. Die Gesamtüberlebensrate von Makroamputierten bei totaler Amputation wird mit 76–100% und bei subtotaler Amputation mit 89,7–100% angegeben. Abhängig von der Art der Amputationsverletzung beträgt die Überlebensrate bei glattrandiger Schnittverletzung 81,9–94%, bei lokalisierter Quetschverletzung 79,3–90,3%, bei Amputationsverletzungen mit diffuser Quetschung 87%, bei Ausrissverletzungen 68,0–70,2% und bei Explosionsverletzungen 79,9%. Die Einheilungsrate ist zudem von der Art und Dauer der Ischämiezeit abhängig. Bei einer kalten Ischämiezeit über 6 Stunden bzw. einer warmen Ischämiezeit über 4 Stunden wird in der Regel von einer Replantation abgeraten, da durch die ischämische Muskelnekrose die lokale und systemische Komplikationsrate erheblich zunimmt. Es wurden allerdings erfolgreiche Replantationen nach prolongierter Ischämiezeit durchgeführt, so eine Handreplantation nach 54 Stunden sowie Oberarmreplantationen nach 10–14 Stunden kalter Ischämiezeit.

Funktionelles Ergebnis

Das funktionelle Ergebnis nach Replantation bzw. Revaskularisation ist abhängig von therapiebedingten, patientenbedingten und defektbedingten Faktoren. Neben einer zügigen präklinischen Versorgung und Diagnostik im Schockraum (möglichst kurze Ischämiezeit) hat vor allem die Erfahrung des Replantationsteam einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis. Ein zu sparsames Débridement führt beim weniger Erfahrenen oft zur Erhaltung von durchbluteten, aber funktionslosen »warmen Prothesen«. Oft vergessen wird auch die eminent wichtige Bedeutung der postoperativen Nachbehandlung. Nur durch einen intensiven Rehabilitationsprozess (Physiotherapie, Ergotherapie) kann ein optimales Ergebnis erreicht werden. Von größter Bedeutung ist der persönliche Kontakt zwischen Rehabilitationsteam und Replanteur (Arztbrief nachrichtlich an Rehabilitationsteam). Patientenbedingte Einflussgrößen sind vor allem das (biologische) Alter, der allgemeine Gesundheitszustand (Diabetes, Nikotin etc.) sowie die persönliche Motivation, Intelligenz und Compliance.

Einflussgrößen auf das funktionelle Ergebnis nach Makroreplantation im Bereich der oberen Extremität

- Therapiebedingte Einflussgrößen
 - Präklinische Versorgung
 - Erfahrung des Therapieteam
- Patientenbedingte Einflussgrößen
 - (Biologisches) Alter
 - Allgemeiner Gesundheitszustand
 - Persönliche Motivation
 - Intelligenz
 - Compliance
- Defektbedingte Einflussgrößen
 - Amputationshöhe
 - Amputationsmechanismus
 - Amputationsausmaß

Defektbedingte Faktoren sind hauptsächlich die Amputationshöhe, der Amputationsmechanismus und in geringerem Maße das Amputationsausmaß (■ Tab. 41.4).

■ Tab. 41.3 Klassifikation der Globalfunktion der replantierten oberen Extremität nach Chen

Grad	Arbeitsfähigkeit	Gelenkbeweglichkeit	Sensibilität
I	Bisherige Arbeit	Fast normale Gelenkbeweglichkeit Fast normale greifende und nichtgreifende Aktionen	Fast normal
II	Leichte Arbeit	> 40° der normalen Gelenkbeweglichkeit Leicht beeinträchtigte greifende und nichtgreifende Aktionen	Fast normal
Funktionelle Extremität			
III	Nützlich im täglichen Leben	< 40° der normalen Gelenkbeweglichkeit Stark beeinträchtigte greifende und nichtgreifende Aktionen	Verringerung der Sensibilität im Handbereich, keine trophischen Ulzerationen und/oder Verletzungen
IV	---	Ausgeprägte Gelenkkontrakturen	Fehlende Sensibilität im Handbereich, trophische Ulzerationen und/oder Verletzungen
Nicht-funktionelle Extremität			

Schulterbereich. Patienten mit subtotaler und totaler Amputation im Schulterbereich sind funktionell vergleichbar mit Verletzten, die eine Läsion des Plexus brachialis erlitten haben. Zusätzlich zur nervalen Schädigung kommt bei den Amputierten auch noch eine Schädigung des muskulären Endorgans hinzu, was die Prognose der zu erzielenden Restfunktion abermals deutlich verschlechtert. Realistische Therapieziele sind die Wiederherstellung einer aktiven thorakohumeralen Zangenfunktion (■ Tab. 41.1) sowie einer aktiven Ellenbogenbeugung. Erst die aktive Ellenbogenbeugung ermöglicht die bimanuelle Handfunktion und sollte deshalb primär oder mithilfe sekundärer Ersatzoperationen wiederhergestellt werden. Abhängig von der Verletzungsart kann bei den meisten Patienten mit der Ausbildung einer protektiven Sensibilität in Teilen der Hand gerechnet werden (■ Tab. 41.1). Nach Angaben in der Literatur kann eine »funktionelle Extremität« bei dieser Amputationslokalisation in bis zu 27,5% der Fälle erreicht werden (■ Tab. 41.4). Im Gegensatz zum Erwachsenen können bei Kindern auch bei Quetschamputationen nützliche Ergebnisse erzielt werden, da eine deutlich bessere nervale Restfunktion resultiert. Mit einem vermeintlich normalen Wachstum kann gerechnet werden, wenn die Ischämiedauer nicht zu lang war (■ Tab. 41.1, ■ Tab. 41.4).

Oberarm. Beim Erwachsenen zeigen Patienten mit inkompletter oder kompletter Oberarmamputation nach Rekonstruktion eine etwas bessere funktionelle Prognose. Eine aktive Ellenbogenbeugung mit protektiver Sensibilität in Teilen der Hand stellt ein realistisches Therapieziel dar (■ Tab. 41.1). Eine aktive Handfunktion entsprechend oder besser als jene einer aktiven Prothese kann bei einigen Patienten erreicht werden, ist jedoch unsicher vorherzusagen. Die vom N. radialis versorgten Muskeln zeigen die schlechteste Regeneration, während die vom N. medianus versorgten tiefen Fingerflexoren die beste Regeneration bieten. Nach Literaturangaben kann eine »funktionelle Extremität« in bis zu 34% der Fälle rekonstruiert werden (s. oben). Bei Kindern und jungen Erwach-

senen kann ein funktionell nützliches Ergebnis erwartet werden (■ Tab. 41.1, ■ Tab. 41.4, ■ Abb. 41.15).

Ellenbogenbereich. Im Ellenbogenbereich wird das funktionelle Ergebnis hauptsächlich bestimmt durch das Ausmaß der Gelenkbe- teiligung, der Muskelschädigung und der Güte der Nervenrekon- struktion ab. Die Therapieziele für den Unterarm-Hand-Bereich entsprechen jenen bei Replantation im proximalen Unterarmdrittel (■ Tab. 41.1, ■ Tab. 41.4, ■ Abb. 41.16)

Proximaler Unterarm. Für den proximalen Unterarmbereich hängt das funktionelle Ergebnis hauptsächlich vom Erhaltungs- zu- stand der Muskulatur (proximales Drittel) und der Güte der Ner- venrekonstruktion (primäre Naht, Nerventransplantat) ab. Bei der Vielzahl der heute möglichen rekonstruktiven Maßnahmen (Seh- nentransfer, mikrovaskuläre Muskelverpflanzung) ist die Replan- tation in diesem Bereich als gewinnbringend anzusehen. Realisti- sche Therapieziele sind Handgelenk- und Fingerbeugung, sowie protektive Sensibilität im Handbereich. Eine aktive Streckfunktion im Handgelenk- und Fingerbereich und eine statische Zwei-Punkt- Diskriminationsfähigkeit in Teilen der Hand können ebenfalls bei einigen Patienten erreicht werden (■ Tab. 41.1). Eine »funktionelle Extremität« kann laut vorliegender Literatur in etwa 41% wieder- hergestellt werden (■ Tab. 41.1, ■ Tab. 41.4, ■ Abb. 41.17).

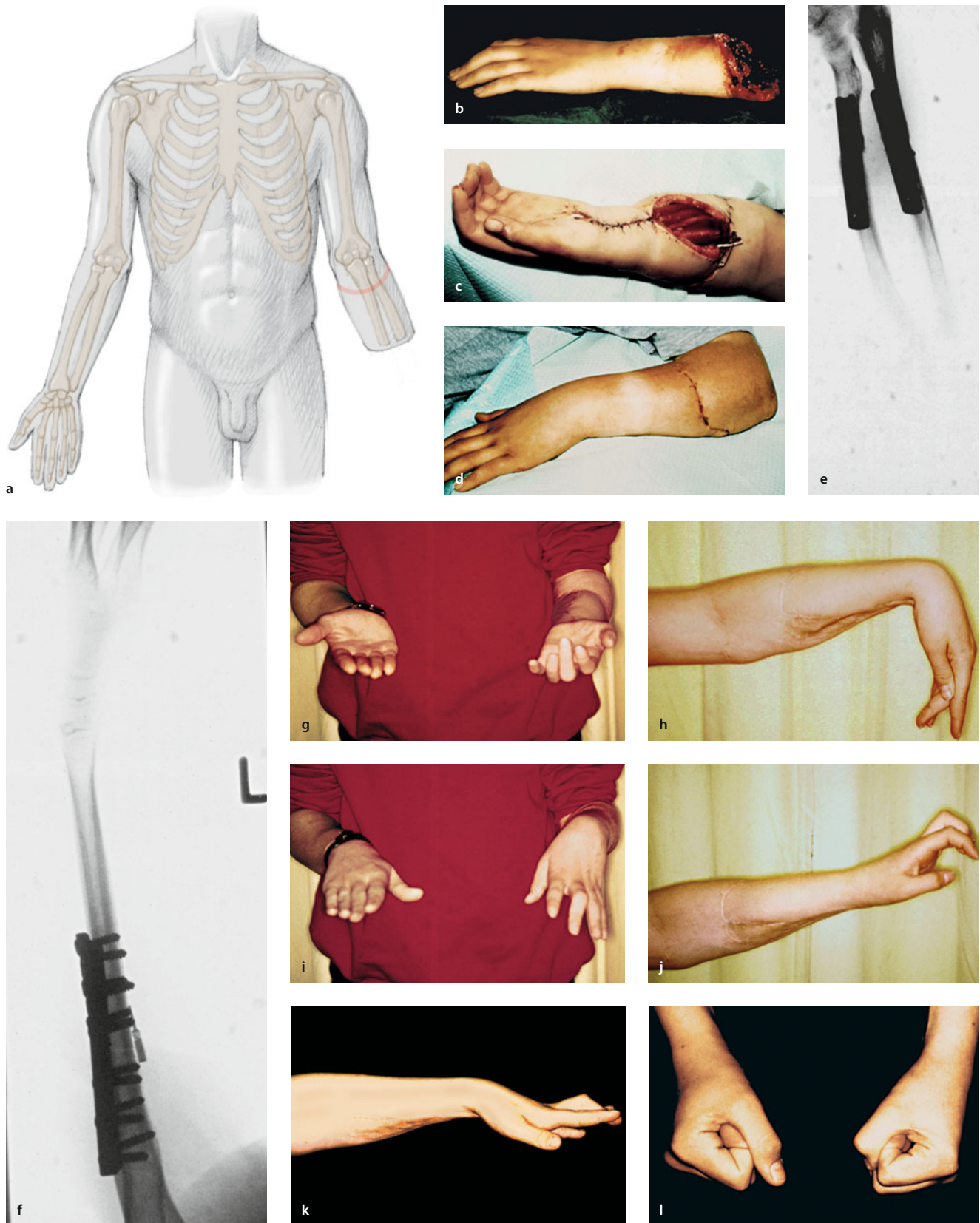
Distaler Unterarm. Therapieziele der Rekonstruktion im dista- len Unterarm- und Handgelenkbereich sind aktive Beugung und Streckung im Handgelenk- und Fingerbereich, Wiederherstellung der Oppositionsfähigkeit des Daumens, sowie statische Zwei- Punkte-Diskriminationsfähigkeit zumindest in Teilen der Hand (■ Tab. 41.1). Bei wiedererlangter Grobgrifffunktion der Hand ist mit einem Kraftverlust von 20–55% verglichen mit der nicht ver- letzten Gegenseite zu rechnen. Bei den meisten Patienten kommt es zu keiner Regeneration der intrinsischen Handmuskulatur, wes-

■ Tab. 41.4 Funktionelle Ergebnisse nach Makroreplantation in Abhängigkeit von der Amputationshöhe klassifiziert nach Chen

Autor	Lokalisation																			
	Schulter					Oberarm					Proximales/mittleres Unterarmdrittel					Distales Unterarmdrittel				
	n	I	II	III	IV	n	I	II	III	IV	n	I	II	III	IV	n	I	II	III	IV
Chen et al. 1981 (n=97)	3	0	0	1	2	26	7	2	17	-	20	2	6	7	5	48	21	17	10	-
Ipsen et al. 1990 (n=23)	8	3	-	4	1	7	3	-	4	-	2	1	-	-	1	6	3	3	-	-
Meyer 1985 (n=8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	5	2	1	-
Tamai 1982 (n=5)	-	-	-	-	-	5	-	1	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eigene Ergeb- nisse (n=25)	-	-	-	-	-	8	-	2	4	2	10	1	2	2	5	7	2	2	2	1
Insgesamt	11	3	-	5	3	46	10	5	28	3	32	4	8	9	11	69	31	24	13	1
(%)	100	27,5	-	45	27,5	100	21	11	61	6	100	13	25	28	34	100	45	35	19	1
Funktionelle Extremität	27,5%					32%					38%					80%				



Abb. 41.16 Transartikuläre subtotale Amputation im Ellenbogenbereich. **a** Schema Amputationsniveau (aus Berger u. Hierner 2009), **b** röntgenologischer Aspekt präoperativ, **c** röntgenologischer Aspekt postoperativ, **d** intraoperativer Aspekt, **e** postoperativer Aspekt nach Implantation einer Ellbogenprothese, **f** Funktion 1 Jahr nach Replantation: Ellenbogenstreckung, **g** Funktion 1 Jahr nach Replantation: Ellenbogenbeugung, **h** Funktion 1 Jahr nach Replantation: Fingerstreckung, **i** Funktion 1 Jahr nach Replantation: Faustschluss (Klinischer Fall von R. Friedel)



■ **Abb. 41.17** Totale Amputation im proximalen Unterarmbereich bei einem 14-jährigen Jungen (Fundus PHW MH Hannover). **a** Schema Amputationsniveau, **b** präoperativer klinischer Aspekt: Amputat, **c** postoperativer klinischer Befund: Ansicht von palmar, **d** postoperativer klinischer Befund: Ansicht von dorsal, **e** postoperatives Röntgenergebnis: d.p. Strahlengang, **f** postoperatives Röntgenbild: lateraler Strahlengang, **g** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Supination, **h** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Pronation, **i** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Handgelenkbeugung, **j** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Handgelenkstreckung, **k** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Fingerstreckung, **l** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Faustschluss

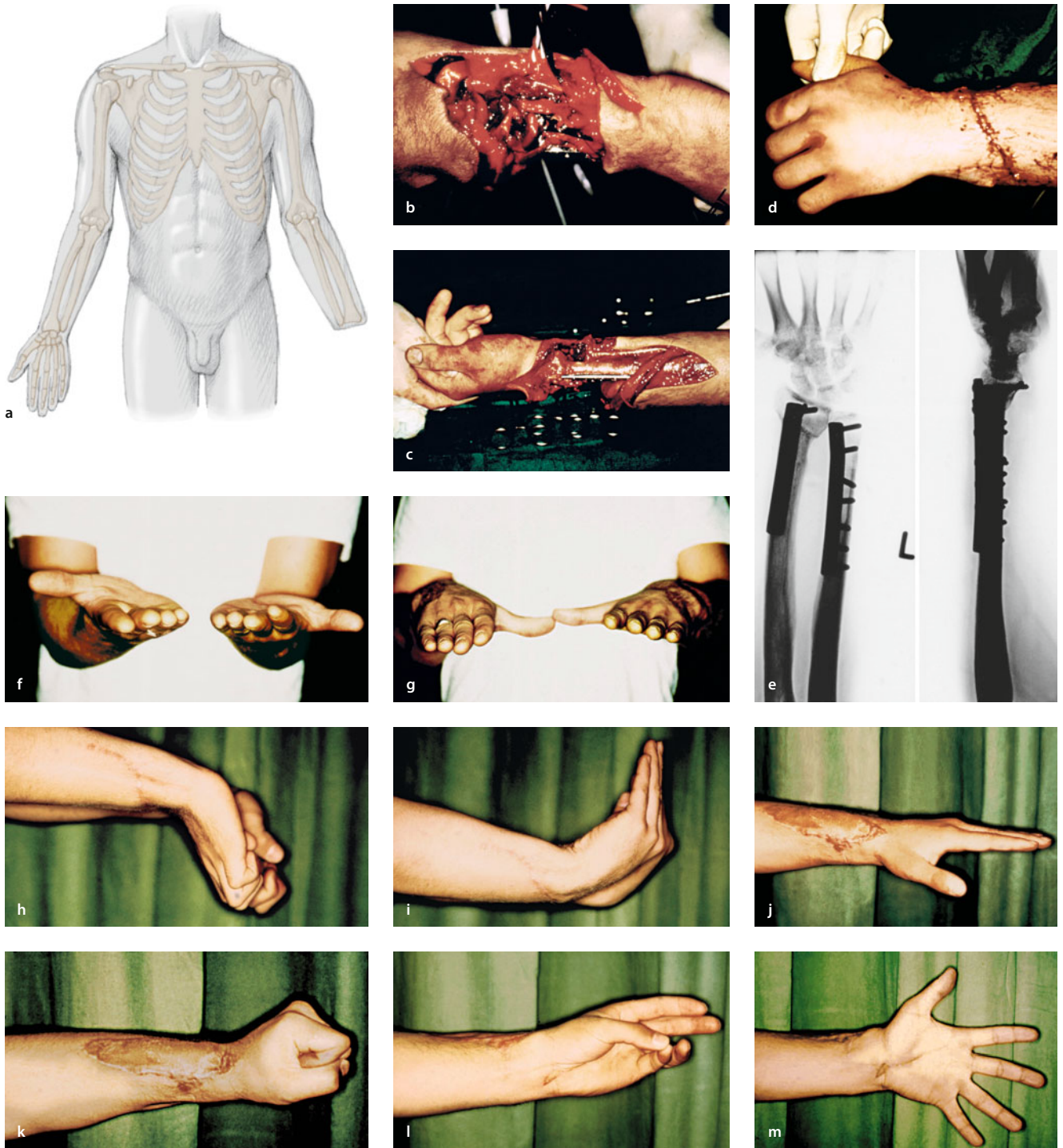
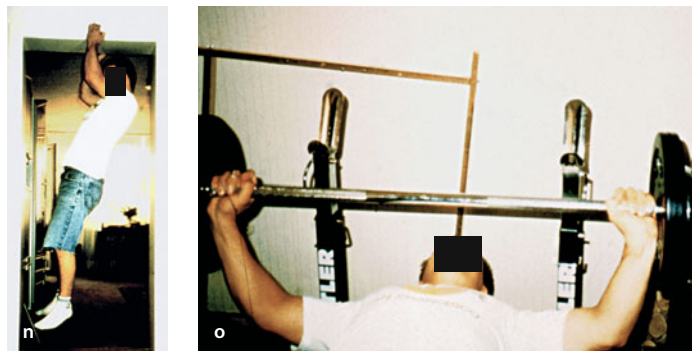


Abb. 41.18 Subtotale Amputation im distalen Unterarmbereich bei einem 19-jährigen Patienten (Fundus PHW MH Hannover). **a** Schema Amputationsniveau, **b** klinischer Aspekt präoperativ, **c** klinischer Aspekt intraoperativ, **d** klinischer Aspekt postoperativ, **e** Röntgenbild postoperativ (d.p. und lateraler Strahlengang), **f** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Supination, **g** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Pronation, **h** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Handgelenksexension, **i** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Handgelenkbeugung, **j** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Fingerstreckung, **k** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Faustschluss, **l** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Daumenopposition, **m** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Funktion der intrinsischen Muskulatur, **n** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Zugübung, **o** Funktion 2 Jahre nach Replantation: Druckübung



halb es zu Schwierigkeiten bei feinmechanischen Arbeiten kommen kann. Bei dieser Amputationshöhe erreichen etwa 20% der Patienten eine statische Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit von weniger als 8 mm. Bei etwa der Hälfte der Patienten können nach Replantationen im Unterarmbereich gute funktionelle Ergebnisse mit Sensibilität im Medianus- und Ulnarisgebiet (statische Zwei-Punkte-Diskrimination 8–12 mm) und befriedigender Bewegungsfunktion erzielt werden. Laut Literaturmitteilungen kann nach Rekonstruktion in diesem Bereich in bis zu 82% eine »funktionelle Extremität« erwartet werden (■ Tab. 41.1, ■ Tab. 41.4, ■ Abb. 41.18).

Bezüglich der funktionellen Ergebnisse bezogen auf die Art der Verletzung liegen keine konkreten Daten vor. Hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse muss ein noch deutlicher Abfall der Ergebnisse mit zunehmender Traumatisierung (Quetschung, Avulsion) erwartet werden. Angaben über funktionelle Ergebnisse nach Mehretagenamputationen sind rar. Widersprüchliche Angaben liegen über den Einfluss des Amputationsausmaßes (inkomplett versus komplett) vor. Die subjektive Ergebnisbewertung nach Replantation bzw. Revaskularisation zeigt einen hohen Verbundenheitsgrad des Patienten mit seiner rekonstruierten Extremität. An der oberen Extremität ist im Gegensatz zur unteren die sekundäre Nachamputation die absolute Ausnahme.

Stumpfversorgung (mit frühzeitiger prothetischer Versorgung)

Prothesen nach traumatischer Amputation im Bereich der oberen Extremität werden von Erwachsenen oft nicht konsequent getragen und akzeptiert. Durch das Fehlen eines Körperteils und das Tragen einer Prothese fühlen sich die Patienten häufig stark in ihren Aktivitäten des täglichen Lebens beeinträchtigt.

- **Prothesen an der oberen Extremität nach traumatischer Amputation werden von Erwachsenen in nur 20–50% der Fälle getragen.**

Nach prothetischer Versorgung im Bereich der Schulter können maximal zwei Funktionen (Ellenbogenbeugung, Zusatzfunktion nach Verriegelung der Ellenbogenfunktion) nacheinander durchgeführt werden.

Die prothetische Versorgung im Oberarmbereich führt zu keiner Funktionsverbesserung verglichen mit der Versorgung im Schulterbereich, jedoch ist eine bessere Prothesenfixierung möglich.

Bei intakter Ellenbogenfunktion resultiert eine signifikante Funktionsverbesserung nach prothetischer Versorgung. Zumindest zwei Funktionen können unabhängig voneinander ausgeführt werden. Durch den Einsatz von myoelektrische Prothesen können Beugung und Streckung sowohl im Handgelenk- als auch Fingerbereich ersetzt werden. Die prothetische Versorgung im distalen Unterarmbereich führt zu keiner signifikanten Funktionsverbesserung verglichen mit dem proximalen Unterarmbereich, gleichwohl ist eine bessere Prothesenfixierung möglich (■ Tab. 41.1).

- **Nach Amputation und prothetischer Versorgung fühlen sich viele Patienten durch das »Fehlen eines Körperteiles« und das »Tragen einer Prothese« psychisch beeinträchtigt.**

Allogene Extremitätentransplantation Annahmerate

Die Technik der allogenen Extremitätentransplantation unterscheidet sich nur unwesentlich von der operativen Vorgehensweise bei einer Makroreplantation. Bei der Handtransplantation besteht die Möglichkeit die fehlenden und insuffizienten Strukturen am Amputationsstumpf des Patienten mit allogem Gewebe zu ersetzen.

Im Vergleich zu Replantationen, bei denen sich nach Débridement keine ausreichende Länge von muskultendinösen Strukturen und besonders von Weichteilen findet, hat man bei Transplantationen einen Überschuss an allen Geweben.

Dennoch wurde die erste bahnbrechende Handtransplantation erst im Jahre 1998, also 36 Jahre nach der ersten erfolgreichen Replantation, durchgeführt. Die Transplantationsmediziner fürchteten die starke Immunogenität der Haut, welche eine lebenslange hochdosierte Immuntherapie mit schweren Nebenwirkungen nach sich ziehen würde. Dank großer Fortschritte im Bereich der Immunsuppression können akute Abstoßungsreaktionen effektiv verhindert werden. Allerdings musste die weltweit erste erfolgreich transplantierte Fremdhand nach 29 Monaten wieder amputiert werden, da es in Folge einer Incompliance des Patienten bezüglich der immunsuppressiven Therapie zu einer nicht beherrschbaren Abstoßungsreaktion kam. Bei engmaschiger Kontrolle und Compliance des Patienten können akute Abstoßungsreaktionen allerdings zuverlässig erkannt und behandelt werden.

Funktionelles Ergebnis

Durch den traumatischen Verlust einer Extremität kommt es zu einer kortikalen Reorganisation im Bereich des motorischen und somatosensorischen Kortex des Patienten mit konsekutiver Unterrepräsentation der verlorenen Extremität. Nach einer Transplantation muss die fremde Gliedmaße durch Reedukation wieder in das Körperschema integriert werden. Daher muss umgehend nach der Operation mit einem intensiven und strukturierten Rehabilitationsprozess begonnen werden. Oberstes Ziel ist die Wiedererlangung der Motorik und der Sensibilität im Bereich der transplantierten Hand sowie das Überleben des Transplantates. Derzeit fehlen noch Langzeitergebnisse bezüglich der funktionellen Ergebnisse nach Extremitätentransplantation. Die ersten Nachuntersuchungen nach Unterarmtransplantation sind allerdings vielversprechend mit einer guten Regeneration der Motorik und Sensibilität, sodass Aktivitäten des täglichen Lebens wieder von den Patienten selbstständig durchgeführt werden können. Im Gegensatz zur Unterarmreplantation, bei welcher die extrinsische Muskulatur der Hand direkt durch Aktivierung der intakten proximalen Muskulatur des Empfängers angesteuert werden kann, ist nach einer Oberarmtransplantation in den ersten Monaten keine Benutzung der Unterarmmuskulatur möglich. Daher ist die Funktion der Hand vollständig von der nervalen Reinnervation der Spenderextremität abhängig. Langzeitergebnisse sind abzuwarten.

41.1.10 Sozioökonomische Gesichtspunkte

Durch Veränderungen in der Gesundheitspolitik werden Aufwand und Nutzen der Replantationschirurgie im Vergleich zur einfachen Stumpfversorgung immer häufiger hinterfragt.

- **Durch die erfolgreiche Replantation kommt es zu einer Verringerung der MdE und somit zu einer langfristigen Kostenersparung.**

Das funktionelle Ergebnis nach aufwendiger und für den Patienten nicht risikofreier Rekonstruktion muss mindestens gleichwertig sein mit dem Resultat nach Stumpfversorgung und prothetischer Versorgung. Bei deutlich kürzerer Operationsdauer durch primäre Stumpfversorgung oder Nachamputation (etwa 1–2 Stunden) verglichen mit der Replantation bzw. Revaskularisation (3–24 Stunden, Durchschnitt 9,5 Stunden, Ipsen et al. 1990; 3–15 Stunden, Durchschnitt 7,5 Stunden, eigene Serie) und deutlich geringerem Opera-

tionsrisiko kann der Patient nach einem relativ kurzen stationären Aufenthalt (etwa 20 Tage versus 42 Tage, eigene Serie) früh prothetisch versorgt werden. Die Vorteile der schnellen prothetischen Versorgung bestehen in der Frühmobilisation des Patienten mit den günstigen Auswirkungen auf den gesamten Organismus und der schnelleren Überwindung der unmittelbaren Operationsfolgen. Bei insgesamt geringerer Anzahl an notwendigen Sekundäreingriffen (etwa 1–3 versus 2,8–5,6; 4–19, Eingriffe Durchschnitt: 4,8 Eingriffe, eigene Serie) besteht in dieser Patientengruppe eine geringere Morbidität und Mortalität. Aufgrund der Verkürzung der stationären Aufenthaltsdauer durch Sekundäreingriffe (Replantation bzw. Revaskularisation: 2–168 Tage, Durchschnitt: 51 Tage, 28–56 Tage, Durchschnitt: 42,3 Tage, eigene Serie), Reduktion der notwendigen ambulanten Kontrolluntersuchungen (Replantation bzw. Revaskularisation: 0–46, Durchschnitt: 13; 4–34, Durchschnitt: 11,7, eigene Serie) und Verringerung des Aufwandes an Begleittherapie (Replantation bzw. Revaskularisation: 0–60 Monate, Durchschnitt: 12 Monate; kommt es zu einer signifikanten Kosteneinsparung für den stationären und ambulanten Krankenhausbereich. Darüber hinaus kann die soziale Wiedereingliederung früher beginnen. Die durchschnittliche Arbeitsunfähigkeitsdauer nach Amputation von 4–6 Monaten ist deutlich kürzer als jene nach Rekonstruktion mit durchschnittlich 11 Monaten (1–48 Monate; 4–72 Monate, Durchschnitt: 14 Monate, eigene Serie) (■ Tab. 41.5).

Die Aufzählung der Vorteile der prothetischen Versorgung lässt den Eindruck »problemloser Ersatzfunktionen« unter Hochleistungsbedingungen entstehen. Sorgfältige Nachuntersuchungen zeigen jedoch ein anderes Bild: Zunächst kann bei der notfallmäßigen Stumpfversorgung nicht immer ein »optimaler Stumpf« erreicht werden. Abhängig von der traumatischen Amputationshöhe und der Ausdehnung des Weichteil-Knochen-Schadens sind bei dieser Patientengruppe mehrheitlich Sekundäroperationen zur Stumpfverbesserung notwendig. Chronische Schmerzzustände nach Amputation treten darüber hinaus in 5–10% der Fälle auf. Kälteintoleranz, Hautirritationen sowie Ulzerationen, Schwellneigung, rezidivierende Erysipele, Reduktion der Leistungsfähigkeit und verminderte Akzeptanz durch Behinderung lassen die psychische und soziale Rehabilitation des Patienten teils zum Problem werden. Ein Vergleich der möglichen motorischen Funktionen nach prothetischer Versorgung und Rekonstruktion zeigt, dass mit Ausnahme des Schulterniveaus eine

durchschnittlich deutlich bessere motorische Funktion nach Replantation bzw. Revaskularisation erwartet werden kann (■ Tab. 41.1). Wegen der aufwendigen Steuerung der Einzelfunktionen bei Amputation im Schulter- und Oberarmbereich tragen von diesen Patienten nur wenige ihre Prothese. Als weiterer Nachteil der Amputation ist die psychische Beeinträchtigung durch das »Fehlen eines Körperteiles« und das »Tragen einer Prothese« zu nennen. Dieses Argument ist interkulturell unterschiedlich stark zu bewerten. Der gravierendste Unterschied zwischen Prothese und rekonstruierter Extremität besteht in der Möglichkeit der partiellen Wiederherstellung der Sensibilität im Handbereich. Die, wenn auch deformierte Extremität wird als »eigen empfunden« und subjektiv weniger störend als ein Amputationsstumpf oder eine Prothese empfunden.

➤ **Durch eine erfolgreiche Replantation kommt es zu einer signifikanten Vermehrung der Einzelfunktionen für den Patienten in seinem täglichen Leben (■ Tab. 41.1). Durch die erfolgreiche Replantation kommt es zu einer Verringerung der MdE und somit zu einer langfristigen Kosteneinsparung. Mit Ausnahme der Replantationen im distalen Unterarmbereich sind alle Patienten, die einen handwerklichen Beruf haben als funktionell einhändig einzustufen.**

41.2 Spezielle Techniken

41.2.1 Technik der Replantation im distalen Unterarmbereich

Bei subtotalen Amputationsverletzungen im distalen Unterarm- und Handgelenkbereich führt eine Skelettkürzung von mehr als 4 cm zu einer signifikanten Imbalance zwischen Beuge- und Strecksehnen und damit zu einer erheblichen Beeinträchtigung der globalen Handfunktion.

Dissektion und Identifizierung der neurovaskulären Strukturen, Débridement und Kompartmentspaltung. Die Operation erfolgt in Blutleere. Zuerst müssen alle verfügbaren neurovaskulären Strukturen aufgesucht und markiert werden. Abhängig von der Amputationshöhe und des Verletzungsmechanismus sind hierbei

■ **Tab. 41.5** Vergleich der Vor- und Nachteile der Replantation und der primären Stumpfversorgung mit früher prothetischer Versorgung. (Aus Schmitz-Neuerburg et al. 2001)

Kriterium	Replantation bzw. Revaskularisation	Primäre Stumpfversorgung + frühzeitige prothetische Versorgung
Operationsdauer	9,5 h	1–2 h
Dauer des stationären Aufenthalts	51 Tage	21 Tage
Durchschnittliche Anzahl der Sekundäroperationen	2,8–5,6	0–1
Durchschnittliche Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen	13	4–7
Dauer der Arbeitsunfähigkeit	11 Monate	4–6 Monat
Dauer der Physiotherapie	12 Monate	4–6 Monate
Medizinische Kosten	Hoch	Gering
Kosten für berufliche Wiedereingliederung	Hoch	Hoch
MdE	Reduziert	Hoch
Kosten für orthetische und/oder prothetische Hilfen	(Ja)	Hoch

eventuell weitreichende Inzisionen im Unterarmbereich notwendig. Prophylaktisch sind im Unterarmbereich das ventrale Kompartiment und ggf. das dorsale Kompartiment sowie im Handbereich der Karpaltunnel, die Guyon-Loge und die intermetakarpalen Kompartimente zu spalten. Nach radikalem Débridement sollten die Inzisionen – wenn der Weichteilschaden eine genaue Planung der Hautlappen ermöglicht – immer im Sinne mehrerer Z-Plastiken geplant werden, um einen spannungsfreien Verschluss der zirkumferenziellen Amputationsnaht zu erreichen. Im Bereich des Amputats können hierbei entweder radioulnare oder mittig dorsopalmare Inzisionen erfolgen, welche wiederum durch gegenläufige dorsopalmare bzw. radioulnare Inzisionen im Bereich des Stumpfes ergänzt werden.

Osteosynthese im Handgelenkbereich. Das Vorgehen hängt immer davon ab, welche Karpalknochen bzw. Gelenkflächen zerstört sind. Mögliche Verfahren sind die verschiedenen Teilarthrodese (z. B. mediokarpale Teilarthrodese oder radioskapholunäre Fusion) oder eine Arthrodese des Handgelenks. Das am sichersten und am schnellsten durchführbare Verfahren sollte gewählt werden. Verwendete Materialien sind Kirschner-Drähte, Platten oder der Fixateur externe (▣ Abb. 41.19).

Osteosynthese im Unterarmbereich. Im Diaphysenbereich empfiehlt sich die Plattenosteosynthese. Bei gelenknahen Frakturen können distale Fragmente mithilfe von Kirschner-Drähten oder einem Fixateur externe versorgt werden. Im proximalen Unterarmbereich kann auf eine Strecke von bis zu 5 cm Knochen reseziert werden, ohne dass es zu einer nennenswerten funktionellen Beeinträchtigung kommt. Im distalen Unterarmbereich hat hingegen eine Skelettkürzung um mehr als 4 cm eine Insuffizienz zwischen Beuge- und Streckmuskulatur zur Folge. Es ist erforderlich die Balance zwischen Extensoren und Flexoren durch entsprechende Verkürzung der Sehnen zu erreichen, um ein optimales funktionelles Ergebnis die Motorik betreffend zu erzielen. Dabei wird die Kaskadentstellung vom Zeige- bis zum Kleinfinger in Betracht gezogen. Weiterhin ist zu beachten, dass jegliche Knochenlängenunterschiede zwischen Radius und Ulna vermieden werden müssen, um einer Alteration im distalen Radioulnargelenk vorzubeugen. Die Membrana interossea sollte ebenfalls wiederhergestellt werden.

Anastomisierung der Gefäße. Die Hauptgefäße mit A. ulnaris und radialis werden unter dem Mikroskop präpariert und zuerst eine

Arterie (z. B. die A. ulnaris) End-zu-End anastomosiert und eine kurze Blutungsphase toleriert. Anschließend werden die kaliberstärksten Venen (V. cephalica bzw. V. basilica) anastomosiert. Dann erfolgt die Anastomisierung der Vv. comitantes. Insgesamt sollten ca. 4–6 Venen rekonstruiert werden, um einen adäquaten Rückfluss zu erlauben. Jetzt sollte spätestens die A. radialis anastomosiert werden.

Rekonstruktion der musklotendinösen Strukturen (Sehnen- und Muskelrekonstruktion). Sehnen werden nach Anfrischung End-zu-End adaptiert bzw. je nach Amputationshöhe werden tendomuskuläre bzw. intermuskuläre Durchtrennungen rekonstruiert. Hierbei muss die Balance zwischen Flexoren und Extensoren nach Möglichkeit wiederhergestellt werden.

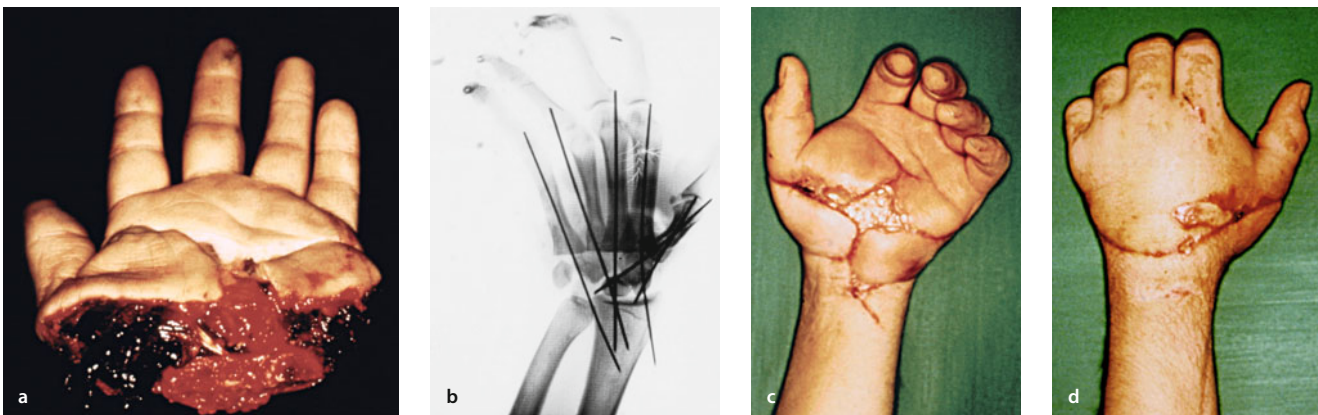
Nervenkoaptation. Nun müssen alle drei Hauptnerven: der N. medianus, der N. ulnaris und der N. adialis bzw. R. superficialis ni. radialis koaptiert werden. Die Nerven-naht sollte interfazikulär mit einem Monofilamentfaden (z. B. Stärke 10/0) erfolgen und spannungsfrei sein.

Wundschluss bzw. Wundbedeckung. Nach exakter Blutstillung erfolgt der Wundverschluss optimalerweise durch eine große Z-Plastik. Bei massivem Wundödem oder unzureichendem Weichteilmantel kann alternativ auch eine offene Verbandbehandlung, Epigard-Anlage, Spalthauttransplantation oder ein freier Gewebetransfer zur Deckung vorgenommen werden. Bei Anzeichen einer venösen Stauung muss umgehend die Verbandanlage überprüft werden.

41.2.2 Technik der Replantation im proximalen Unterarmbereich

Im Unterarmbereich kommt es ebenfalls durch eine Kürzung von bis zu 5 cm zu keiner nennenswerten funktionellen Beeinträchtigung.

Bei Unterarmamputationsverletzungen müssen Knochenlängenunterschiede zwischen Radius und Ulna vermieden werden, um eine Alteration im distalen Radioulnargelenk (DRUG) zu vermeiden. In jedem Fall empfiehlt sich die Wiederherstellung der Membrana interossea. Im Diaphysenbereich sollte wenn immer möglich eine Plattenosteosynthese durchgeführt werden. Bei gelenknahen Frakturen können distale Fragmente mithilfe von Drahtcerclagen fixiert werden.



▣ **Abb. 41.19** Resektion der proximalen Karpalreihe nach Amputation im distalen Unterarmbereich. **a** Klinischer Aspekt präoperativ (Fundus PHW MH Hannover): Amputat, **b** postoperatives Röntgenbild: Resektion der proximalen Karpalreihe und Fixierung des Replantats mit Kirschner-Drähten, **c** postoperativer Aspekt: Ansicht von dorsal, **d** postoperativer Aspekt: Ansicht von palmar

41.2.3 Technik der Replantation im Ellenbogenbereich

➤ Die Beweglichkeit im Ellbogengelenk sollte nach Möglichkeit unbedingt erhalten bleiben.

Dissektion und Identifizierung der neurovaskulären Strukturen, Débridement und Kompartmentspaltung. Die Operation erfolgt in Blutleere. Nach Aufsuchung aller verfügbaren neurovaskulären Strukturen werden diese markiert und die Kompartimente im Bereich des Unterarmes und der Hand gespalten (► Kap. 48). Wenn immer möglich sollte die Gelenkfunktion erhalten werden. Das Débridement allen minderperfundierte und geschädigten Gewebes ist in üblicher Radikalität vorzunehmen.

Osteosynthese. Die Gelenkrekonstruktion erfolgt mit Platten und Drähten. Eine temporäre Ruhigstellung mit Fixateur externe ist in aller Regel indiziert. Besteht keine Möglichkeit der Gelenkrekonstruktion im Ellbogenbereich, kann entweder eine (sekundäre) Arthroplastik oder eine Arthrodesis durchgeführt werden.

➤ Bei der Arthrodesis sind 2 Stellungen zu unterscheiden: Für den Gebrauch nah am Körper sollte der Ellbogen in 90° Beugung und leichter Supination, für den körperfernen Gebrauch in 70–90° Beugung und leichter Pronation verblockt werden (■ Abb. 41.20). Bei guter Weichteildeckung sollte eine Plattenosteosynthese als Arthrodesisverfahren gewählt werden.

Anastomisierung der Gefäße. Das Hauptgefäß, die A. brachialis, wird unter dem Mikroskop präpariert, End-zu-End anastomosiert und eine kurze Blutungsphase toleriert. Anschließend werden die superfiziellen und tiefen Venen anastomosiert. Insgesamt 3 adäquat rekonstruierte und kaliberstarke Venen erlauben in der Regel einen guten venösen Rückfluss.

Muskel bzw. Sehnenadaptation. Sehnen werden nach Anfrischung End-zu-End adaptiert bzw. es werden je nach Amputationshöhe tendomuskuläre bzw. intermuskuläre Durchtrennungen rekonstruiert. Die Sehne des M. triceps muss bei Durchtrennung am Olekranon sowie die Sehne des M. biceps brachii an der Ulna refixiert werden.

Nervenkoaptation und Wundschluss bzw. Wundbedeckung (► Abschn. 42.2.1)



■ Abb. 41.20 Arthrodesis im Ellenbogenbereich nach transartikulärer Amputationsverletzung in 70° Beugung und leichter Pronationsstellung (Fundus PHW MH Hannover)

41.2.4 Technik der Replantation im Schulter- und Oberarmbereich

Im Oberarmbereich kann eine Verkürzung von 9–15 cm ohne Funktionseinbuße durchgeführt werden. Auf das kosmetische Ergebnis ist bei Frauen und einigen Volksgruppen vermehrt zu achten.

➤ Plexusausriss bzw. Plexusschaden!

Dissektion und Identifizierung der neurovaskulären Strukturen, Débridement und Kompartentspaltung. Die Operation erfolgt in Blutleere. Nach Aufsuchung aller verfügbaren neurovaskulären Strukturen werden diese markiert und die Kompartimente im Bereich des Oberarmes medialeseitig und im Unterarm- und Handbereich gespalten (► Kap. 48). Avitales Gewebe wird radikal débridiert.

Osteosynthese. Der Humerus wird in der Regel mittels Plattenosteosynthese stabilisiert. Im Oberarmbereich kann eine Verkürzung von 9–15 cm ohne Funktionseinbuße durchgeführt werden. Das kosmetische Ergebnis muss hierbei allerdings mit berücksichtigt werden. Bei gelenknahen Oberarmamputationen müssen 2 Platten eingebracht werden, um eine ausreichende Stabilität zu erzielen. Alternativ können hier intramedulläre Implantate eingesetzt werden.

Anastomisierung der Gefäße, Muskel- bzw. Sehnenadaptation. Auf die Rekonstruktion der Ellenbogenbeuger ist unbedingt zu achten. Bei gleichzeitig bestehendem ventralem Haut-Muskel-Defekt kann eine gestielte funktionelle myokutane Latissimus-dorsi-Lappenplastik in der Technik nach Zancolli/Mitre (► Kap. 53) primär oder besser im Rahmen der »urgence différée« 24–72 Stunden später durchgeführt werden.

Für die funktionelle Wiederherstellung gelten die gleichen Therapieprinzipien und Therapiemöglichkeiten wie für Patienten mit einer kompletten Läsion des Plexus brachialis (► Kap. 53).

Nervenkoaptation. Die drei Hauptnerven mit Nn. medianus, ulnaris und radialis sollten rekonstruiert werden. Bei einem Plexusschaden gelten für die funktionelle Wiederherstellung die gleichen Therapieprinzipien und Therapiemöglichkeiten wie für Patienten mit einer kompletten Läsion des Plexus brachialis.

Wundschluss bzw. Wundbedeckung. Bei gleichzeitig bestehendem ventralem Hautmuskeldefekt kann eine gestielte, funktionelle, myokutane Latissimus-dorsi-Lappenplastik primär durchgeführt werden.

41.2.5 Technik der Versorgung der Mehretagenamputationsverletzung

Auch bei der Mehretagenamputationsverletzung sollte, wenn eine Replantation mit geringem Risiko möglich ist und vom Patienten gewünscht wird, eine Replantation durchgeführt werden. In der Literatur sind nur wenige Angaben über derartige Verletzungen zu finden.

➤ Jeder Funktionsgewinn durch Replantation eines funktions-tüchtigen Handanteils ist für den Patienten ein deutlicher Gewinn, da zumindest eine Grobgreiffunktion wiedergewonnen werden kann und der Patient somit zumindest eine Hilfs-hand für höhere bimanuelle Tätigkeiten hat.

Operationstechnisch ist so vorzugehen, als ob es sich um zwei voneinander getrennte Replantationen handelt. Die operativen Schritte entsprechen den zuvor für die unterschiedlichen Amputationsniveaus beschriebenen. Zuerst wird der körpernahe Amputatteil replantiert. Bei guter Perfusion dieses Anteils erfolgt die Replantation des körperfernen Amputats. Es ist darauf zu achten, dass durch Manipulationen an dem zuvor replantierten proximalen Amputat die Durchblutung beeinträchtigt werden kann.

- **Bei Makroamputationsverletzungen ist vor allem auf die Möglichkeiten der sekundären funktionsverbessernden Maßnahmen hinzuweisen** (▶ Abschn. 58.2.3).

41.2.6 Technik der Versorgung der bilateralen Amputationsverletzung

Folgende Besonderheiten sind bei der bilateralen Amputationsverletzung zu beachten. Wenn immer möglich sollte eine bilaterale normotope Replantation durchgeführt werden. Fehlt die Möglichkeit einer isplateralen normotopen Replantation, sollte unbedingt an die Möglichkeit einer kontralateralen oder Cross-over-Replantation gedacht werden. Lassen sowohl Amputat als auch Amputationsstumpf eine kontralaterale (Cross-over-) Replantation zu, sollte diese unbedingt – wenn möglich nach eingehendem Gespräch mit dem Patienten – durchgeführt werden, da dadurch wenigstens eine »funktionelle Extremität« rekonstruiert werden kann. Vom psychologischen Standpunkt aus erscheint es für den Patienten günstiger wenigstens eine Extremität, wenn auch mit der falschen Hand zu erhalten (■ Abb. 41.21).

41.2.7 Technik der Exartikulation im Handgelenkbereich

- **Wenn immer möglich sollte im Bereich des Unterarmes – im Gegensatz zum Unterschenkel – der Amputationsstumpf so lange wie möglich belassen werden. Der Vorteil einer Exartikulation gegenüber einer weiter proximal gelegenen Unterarmamputation liegt in der Erhaltung des distalen Radioulnargelenks mit voller Erhaltung der Pro- und Supinationsfähigkeit.**

Durch die Silikontechnik kann eine funktionell einwandfreie Verbindung zwischen Amputationsstumpf und Prothese erreicht werden. Im Wachstumsalter ist es darüber hinaus wichtig die distalen Epiphysenfugen zu erhalten.

Exartikulation und primäre Stumpfbildung im Bereich des Handgelenks. Die Exartikulation ist in Oberarmblutleere durchzuführen. Bei ausreichenden Weichteilverhältnissen sollte ein langer palmarer sowie ein kurzer dorsaler Lappen gewählt werden, um eine ausreichende Deckung im Bereich des distalen Radioulnargelenks zu erreichen. Bei fehlender Weichteildeckung muss an dieser Stelle entschieden werden, ob ein mikrochirurgischer Transfer zur Weichteildeckung oder eine weiter proximal gelegene Unterarmamputation indiziert ist. Die Blutgefäße müssen angefangen bei den Hauptgefäßen mit Aa. ulnaris et radialis ligiert werden. Die Aa. interossea anterior et posterior können ggf. kauterisiert werden. Um Schmerzen durch ungünstige Lage von Neuomen zu vermeiden, sollten die Nervenhauptstämme möglichst tief im Weichteilgewebe versenkt werden. Das Verfahren der Wahl ist hierbei die Traktion nach distal und die Absetzung der Nerven durch einfachen Scherenschlag. Alternativ kann auch weiter pro-

ximal eine longitudinale Inzision zwischen dem M. pronator teres und dem M. brachioradialis durchgeführt und hier die Nerven abgesetzt werden. Bei Patienten, welche für eine sekundäre allogene Handtransplantation in Frage kommen, sollten die Nerven so weit distal wie möglich erhalten werden (■ Abb. 41.22).

- **Bei jeder Stumpfvorsorgung im Handgelenk- und Unterarmbereich muss an die Möglichkeit einer sekundären allogenen Transplantation gedacht werden.**

Die wichtigsten zu durchtrennenden Nervenstrukturen sind hierbei der Ramus superficialis ni. radialis, der R. dorsalis ni. ulnaris und der N. medianus. Weiterhin sollte der häufig prominente N. cutaneus antebrachii lateralis und bei Identifikation der N. cutaneus antebrachii medialis abgesetzt werden. Die Sehnen werden ebenfalls auf Zug durchtrennt, sodass sie nach distal retrahieren können. Nun kann die Exartikulation durch zirkumferenzielle Dissektion und Durchtrennung der radiokarpalen Kapsel- und Bandstrukturen erfolgen. Hierbei muss das Gelenk samt knorpeliger Anteile und Discus triangularis geschont werden, um jeglichen Schaden im Bereich des distalen Radioulnargelenks zu vermeiden. Die Processus styloidei sollten nicht komplett abgetragen, sondern lediglich abgerundet werden, da diese meist vorteilhaft in der Prothesenanpassung verwendet werden kann. Im Wachstumsalter müssen die distalen Epiphysenfugen erhalten werden. Nach spannungsfreiem Verschluss der beiden Lappen und guter Abpolsterung der knöchernen Strukturen kommt die Narbe dorsal zum Liegen.

41.2.8 Technik der primären Stumpfbildung im Unterarmbereich

Ist eine Exartikulation im Handgelenk nicht möglich, ist die Amputation im Unterarmbereich indiziert. Hier können vier unterschiedliche Amputationshöhen unterschieden werden: lang, mittellang, kurz und ultrakurz (■ Abb. 41.23).

Mit jeder Kürzung verliert der Stumpf Kraft, Hebelarmwirkung, Oberfläche und Muskelvolumen, die für die Haftung der Prothese wichtig sind. Ferner büßt er mit jeder Kürzung Pro- und Supinationskapazität ein. Je länger der Stumpf, desto besser die Restfunktion mit und ohne Prothese und desto größer die Möglichkeiten der prothetischen Versorgung. Kurzer und ultrakurzer Unterarmstumpf sind für die prothetische Versorgung wichtig und daher in der gegebenen Lage zu erhalten (■ Abb. 41.24, ■ Tab. 41.6).

Die Operationstechnik ist am Unterarm unabhängig von der Stumpflänge in allen Höhen nahezu gleich. Deswegen werden die Versorgungen langer, mittlerer und kurzer Unterarmstümpfe gemeinsam abgehandelt; auf Besonderheiten wird hingewiesen.

Die Operation erfolgt in Rückenlage, der betroffene Arm wird auf dem Armtisch ausgelagert. Ab dieser Höhe empfiehlt sich bei Ausschluss von Kontraindikationen die Verwendung einer Blutsperrle. Bei der Wahl der Inzisionslinien ist die Formgebung des Unterarmes zu beachten: Distal sind kaum muskuläre Anteile zur Lappenbildung vorhanden, Radius und Ulna weisen einen hohen Querschnitt auf. Im mittleren und proximalen Drittel befindet sich die größte Muskelmasse, die beiden Unterarmknochen haben einen geringeren Querschnitt. Die Muskelverteilung (palmar/dorsal) lässt nicht immer die prinzipiell zu bevorzugende Bildung eines palmar längeren Hautlappens zu. Die Inzisionslinien sind bevorzugt asymmetrisch (palmar länger als dorsal), aber gleichmäßig bogenförmig über die Dorsal- und Palmarseite geführt. Der Scheitel der Inzision liegt radial und ulnar. Nach dem Débridement wird nach Möglichkeit ein anteriorer und ein posteriorer Lappen gleicher Länge nach

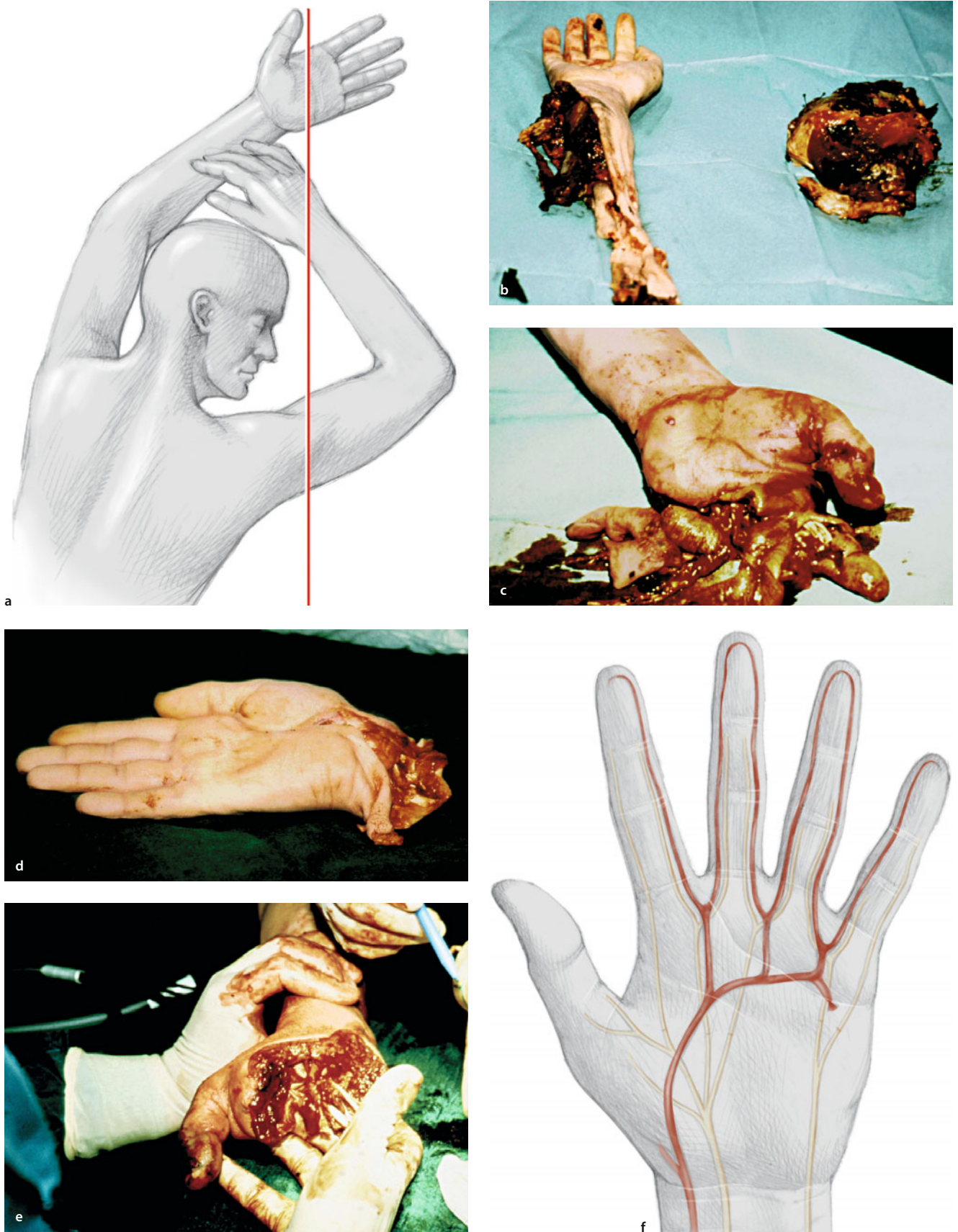


Abb. 41.21 a–n Heterotope Cross-over-Replantation nach bilateraler Handamputation (PHW MHHannover). **a** Schema: Patientenlage bei Verletzung. **b,c** Klinischer Aspekt präoperativ. **b** Amputat rechts, **c** Amputat links. **d,e** Klinischer Aspekt intraoperativ. **d** Für die Replantation vorbereitete unversehrte rechte Hand, **e** für die Replantation vorbereiteter linker Amputationsstumpf. **f** Schema: mikrochirurgische Gefäß- und Nervenanschlüsse



■ **Abb. 41.21 a–n** Heterotopie Cross-over-Replantation nach bilateraler Handamputation (PHW MHHannover). **g,h** Klinischer Aspekt postoperativ. **g** Ansicht von palmar, **h** Ansicht von dorsal. **i** Röntgen postoperativ. **j–n** Funktion ein Jahr nach Replantation. **j** Fingerstreckung, **k** Faustschluss, **l** Grobgriff, **m** Feingriff, **n** Stumpfversorgung im Bereich des rechten Oberarms, Cross-over-Replantation im Bereich der linken Hand

bogenförmiger Inzision disseziert und die oberflächlichen Venen und Hautnerven ligiert bzw. abgesetzt (Abb. 41.24). Das Weichteilgewebe wird nach proximal zurückgeschlagen um den Knochen zu exponieren. Die Durchtrennung der Knochen und des Periosts erfolgt möglichst gleichzeitig und auf gleicher Höhe. Während des Vorganges sollte das Sägeblatt mit Kochsalz berieselt und das Knochenmehl durch Spülung gründlich entfernt werden. Die Membrana interossea ist bis zum knöchernen Stumpf zu erhalten. Die vier Unterarmgefäße (Aa. radialis, ulnaris, interossea anterior und posterior) müssen jetzt spätestens aufgesucht und ligiert bzw. kauterisiert werden. Die drei Hauptstämme der Nerven sollten unter Traktion durchtrennt werden, sodass die retrahierten Stümpfe ausreichend

mit Weichteilgewebe bedeckt sind. Alternativ kann auch hier ein proximaler longitudinaler Schnitt zwischen den Mm. brachioradialis und pronator teres durchgeführt und die Nerven auf diesem Niveau durchtrennt werden, um eine schmerzhafte distale Neurombildung zu vermeiden. Die Sehnen der Flexoren und Extensoren werden durchtrennt und nach Möglichkeit im Sinne einer Myodesse transossär verankert, um einer Inaktivitätsatrophie entgegenzuwirken. Die abschließende Form des weit distalen Unterarmstumpfes ist birnenförmig und wird mit abnehmender Länge immer konischer. Kann der Stumpf aufgrund eines ausgedehnten Weichteilschadens nicht primär verschlossen werden, so muss entweder eine weitere Knochenkürzung, ein temporärer Wundverschluss – entweder offen, mit Epigard oder mit einer Vakuumversiegelung – oder ein direkter mikrochirurgischer Lappentransfer, welcher nach Möglichkeit vom Amputat gewonnen werden sollte, erfolgen.



a



b

Abb. 41.22 Technik der Exartikulation im Handgelenk. a Planung der Hautinzision (aus Wachsmuth u. Wilhelm 1972), b postoperativer Aspekt nach Abrundung der Proc. styloidei radii et ulnaris

Primäre Stumpfbildung im Bereich des proximalen Unterarmes. Das Vorgehen bei der Stumpfbildung im proximalen Un-

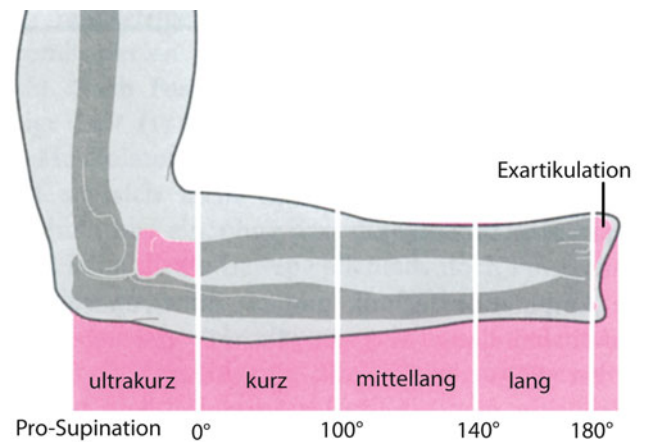


Abb. 41.23 Amputationshöhen im Unterarmbereich. Mit jeder Kürzung verliert der Stumpf an Kraft, Hebelarmwirkung, Oberfläche und Muskelvolumen, die für die Haftung und Führung der Prothese wichtig sind. Ferner büßt er mit jeder Kürzung an Pronations- und Supinationskapazität ein. Der lange Stumpf ist birnenförmig, der mittlere ist zylindrisch, der kurze konisch. Kurzer und ultrakurzer Unterarmstumpf sind gleichwohl für jede prothetische Versorgung wichtig und daher in der gegebenen Länge zu erhalten. (Aus Schmit-Neuerburg et al. 2001)

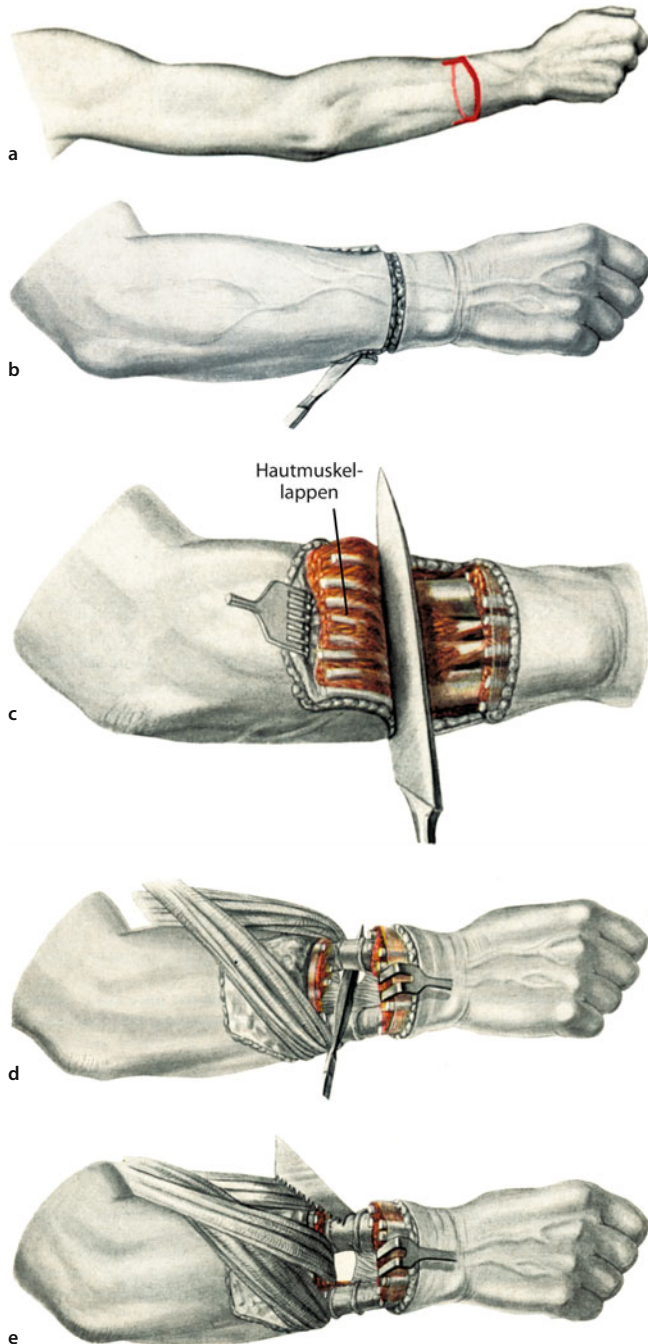
Tab. 41.6 Stumpfqualitäten an Hand und Unterarm. (Aus Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Funktion	Exartikulation im Handgelenk	Amputation in Mitte Unterarm
Distale Wachstumsfugen	Bleiben erhalten	Gehen verloren
Hebelarm	100%	50%
Pro-/Supination	100%	30%
Form	Birnenförmig	Zylindrisch oder konisch
Auf Unterarm beschränkt	Ellbogen übergreifend	Prothesenschaft
Prothesenversorgung	Schwierig	Einfach
Umwandlung in Kruckenberg-Plastik	Möglich	Nicht mehr möglich Eine Kruckenberg-Plastik ist auch bei Substanzverlust noch möglich, die Effektivität jedoch vermindert; auch bei einem »kurzen« Kruckenberg-Arm bleibt der Vorteil der Sensibilität erhalten

terarmbereich ist in seinem Ablauf der distalen Unterarmstumpfversorgung ähnlich. Daher soll nur auf die Besonderheiten eingegangen werden.

➤ **Die Funktion des Ellbogengelenks mit Beugung und Streckung sollte maximal erhalten oder rekonstruiert werden.**

Im proximalen Unterarm ist eine wesentlich größere Muskelmasse vorhanden und daher muss die Lappendeckung abhängig von



■ **Abb. 41.24** Operative Schritte der Unterarmamputation. **a** Planung des Hautschnittes (Zirkelschnitt), **b** Zirkelschnitt mit Lappenbildung, **c** Bildung und Zurückschlagen von zwei Haut-Muskel-Lappen, **d** Durchtrennung der Membrana interossea, die Weichteile werden mit einem Gasezügel zurückgehalten, **e** Durchsägen von Radius und Ulna

der muskulären Verteilung erfolgen. Die Inzisionslinien verlaufen hier ebenfalls bogenförmig streck- und beugeseitig. Bei fehlendem Weichteilgewebe sollte jede Kürzung des Knochens vermieden werden, um die Funktionalität im Ellbogengelenk zu erhalten, und die Deckung mit einem freien Lappen angestrebt werden. Der Erhalt der Länge bietet zudem Vorteile bei der anschließenden prothetischen Versorgung. Um die volle Beuge- und Streckfähigkeit des Ellbogengelenks zu erhalten, sollten nach Möglichkeit die Mm. brachialis, biceps, triceps, pronator teres und anconeus in ihrer Gänze erhalten bleiben. Zudem verbleibt durch den M. pronator teres eine eingeschränkte Pronationsfähigkeit und durch den M. biceps brachii und den M. supinator eine eingeschränkte Supinationsfähigkeit im Unterarm erhalten. Alternativ zur Myodese mit transossärer Fixation können die Muskeln auch durch eine Antagonistennaht vereinigt werden. Bei einer ultrakurzen Amputation ist unter Umständen eine Verlagerung des Bizepsansatzes indiziert.

41.2.9 Technik der primären Stumpfbildung im Ellenbogenbereich

➤ **Im Ellenbogenbereich sollte alles unternommen werden, dieses Gelenk zu erhalten. Ein in Rechtwinkelstellung versteifter Ellenbogen ist mehr wert als die Exartikulation, weil der Amputierte nach wie vor beide Ellenbogen symmetrisch auf der Tischplatte aufstützen kann.**

Kann das Ellenbogengelenk nicht erhalten werden, bietet sich als nächste Höhe die Exartikulation im Ellenbogen oder die transkondyläre Amputation an. Dank der Anatomie des Humerusendes ermöglichen diese beiden Amputationsformen die sichere und rotationsstabile Verankerung der Prothese am Stumpf allein. Die Beweglichkeit der Schulter wird daher durch keinen Prothesenschaft beeinträchtigt, es besteht eine bessere Kosmetik und Komfort. Das markante Profil des Humerusendes und das weitgehende Fehlen von Muskulatur zur Stumpfdeckung erfordern, ähnlich wie am Handgelenk, ein Abrunden vorspringender Knochen, also der Kondylen und der Trochlea. Dabei sollten, wenn möglich, die an den Epikondylen entspringenden Muskeln für die Stumpfdeckung erhalten bleiben. Bei Kindern gilt es außerdem, die Wachstumsfuge zu erhalten (■ Abb. 41.25a).

Die Operation erfolgt in Rückenlage des Patienten und in Blutsperrung. Je nach zugrunde liegender Weichteilsituation wird entweder ein dorsaler oder ventraler Zugangsweg gewählt. In der Regel ist der ventrale Zugang vorzuziehen, da die A. brachialis samt Begleitvenen rasch identifiziert und ligiert werden kann. Die Höhe der klassischen Inzisionslinie verläuft dabei etwa einen Querfinger unterhalb der Epikondylen U-förmig nach distal zur Bildung eines volaren Lappens. Die Nn. cutanei brachialis medialis et antebrachialis medialis sowie der N. medianus und N. ulnaris werden unter Traktion abgesetzt. Nach Durchtrennung der Mm. biceps brachii und brachialis wird das Gelenk eröffnet und der N. cutaneus antebrachii lateralis abgesetzt. Nach Durchtrennung des M. brachioradialis können auch der N. radialis und anschließend die Extensorenmuskulatur durchtrennt werden. Die ventralen Kapselstrukturen werden inzidiert, die Seitenbänder desinseriert und das Gelenk nach Hyperextension luxiert. Der dorsale Lappen wird auf gleicher Höhe wie der ventrale Lappen unterhalb des Olekranon durchtrennt. Nach Lösung der dorsalen Kapsel wird der Trizepsansatz nahe am Olekranon abgesetzt und der Unterarm exartikuliert. Das markante Profil des Humerusendes und das weitgehende Fehlen von Muskulatur zur Stumpfdeckung erfordern – ähnlich wie am Handgelenk – das Abrunden der

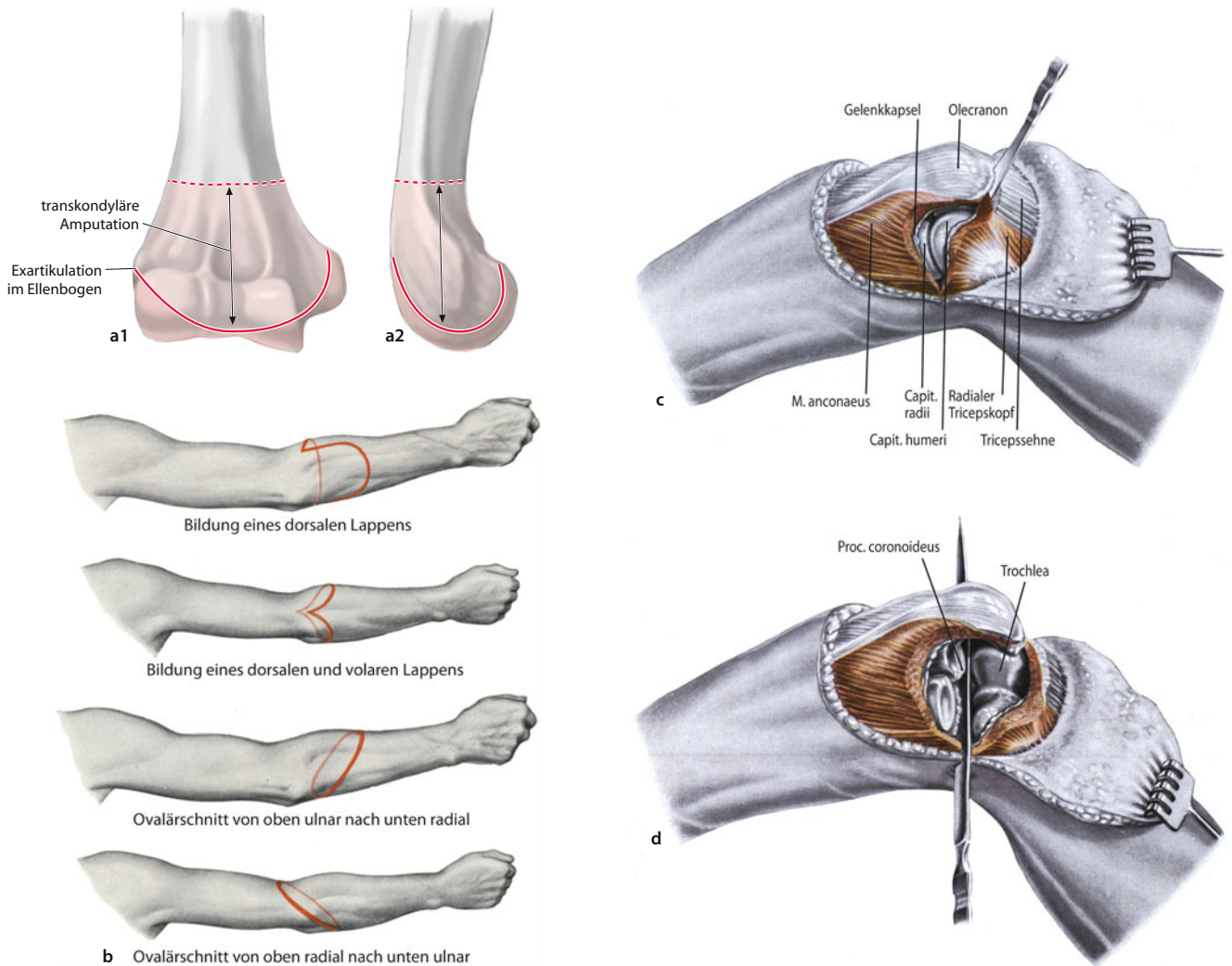


Abb. 41.25 Operative Schritte der Stumpfbildung im Ellenbogenbereich. **a** Schematische Darstellung der knöchernen Amputationslinie bei **a1** Exartikulation im Ellenbogenbereich, **a2** transkondylärer Amputation im Ellenbogenbereich, **b** Hautschnitte zur Exartikulation im Ellenbogengelenk, **c** Exartikulation: Ein großer dorsaler Hautlappen ist nach proximal gezogen, die Gelenkkapsel ist nach radial eröffnet, der Schnitt führt weiter um das Olecranon herum. **d** Exartikulation: Die Gelenkkapsel und die Muskulatur sind radial, dorsal und ulnar durchschnitten, mit einem Amputationsmesser werden vom Gelenk her die Weichteile der Beuge-seite durchtrennt

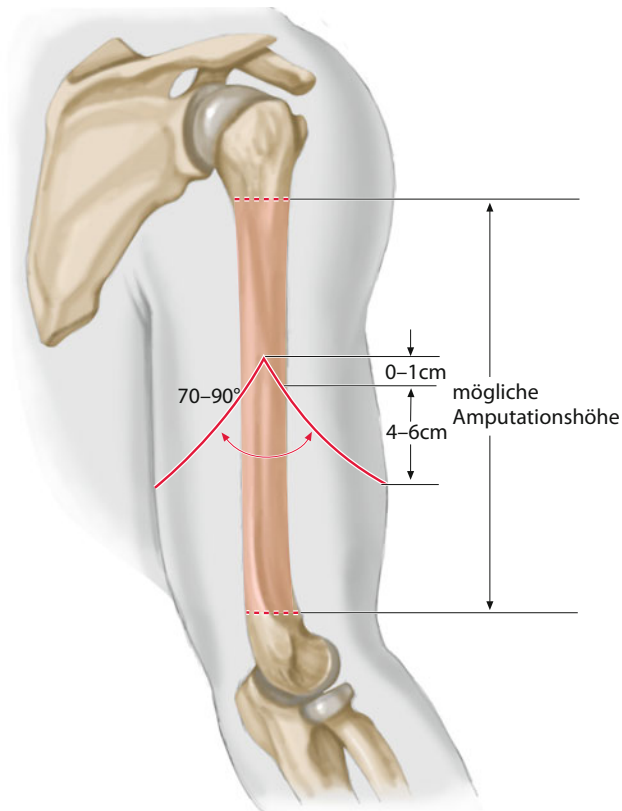
vorspringenden Kondylen sowie der Trochlea (Abb. 41.25). Dabei sollten nach Möglichkeit die an den Epikondylen entstehenden Muskeln für die Stumpfdeckung erhalten werden. Bei Kindern ist auf den Erhalt der Wachstumsfugen zu achten. Die Muskeln des Oberarmes werden durch Antagonistennähte vereinigt. Je nach Weichteilsituation ist es eventuell auch ratsam transkondylär zu reseziieren. Alternativ kann die Deckung mit einem freien Lappen angezeigt sein, welcher möglichst aus Teilen des Amputats gewonnen werden sollte. Beim Wundverschluss sollte der dorsale muskelstarke Lappen in die Belastungszone eingnäht werden.

41.2.10 Technik der primären Stumpfbildung im Oberarmbereich

Ist eine Exartikulation im Ellbogengelenk nicht möglich, ist die (transhumereale) Amputation im Oberarmbereich indiziert. Hier können vier unterschiedliche Amputationshöhen unterschieden werden; transkondyläre, suprakondyläre, diaphysäre und subkapi-

tale (Abb. 41.26). Mit dem Verlust des Ellenbogens erhöht sich der Grad der Behinderung mit jeder weiteren Kürzung ganz erheblich. In gleichem Maß sinkt die Akzeptanz für Prothesen im Allgemeinen und für die aktiv bewegliche Prothese im Besonderen. Nach Verlust beider Ellenbogen bleiben amputierte zeitlebens auf fremde Hilfe angewiesen, vor allem wenn die beiden Stumpfspitzen einander nicht mehr berühren können. Je kürzer der Stumpf umso stärker wird das Muskelgleichgewicht gestört. Er weicht ab in Abduktion (M. deltoideus) und Flexion (M. coracobrachialis, kurzer Kopf M. biceps).

Ist eine transkondyläre Amputation nicht möglich, erfolgt als nächstes die (möglichst lange) transhumereale Amputation. Aufgrund der reichlich vorhandenen Muskulatur im Verhältnis zum Knochen, kommt es leicht zu einem instabilen oder »schwimmenden« Stumpf, was die präzise Führung der Prothese erschwert. Deshalb sollte die Weichteildeckung am Stumpfeende nicht zu reichlich bemessen sein. Abhängig von der Knochenlänge können supracondyläre, diaphysäre und subkapitale Unterformen unterschieden werden. Wenn immer möglich, sollte die lange oder suprakondyläre Absetzungslinie gewählt werden. Ist diese nicht möglich, wird als



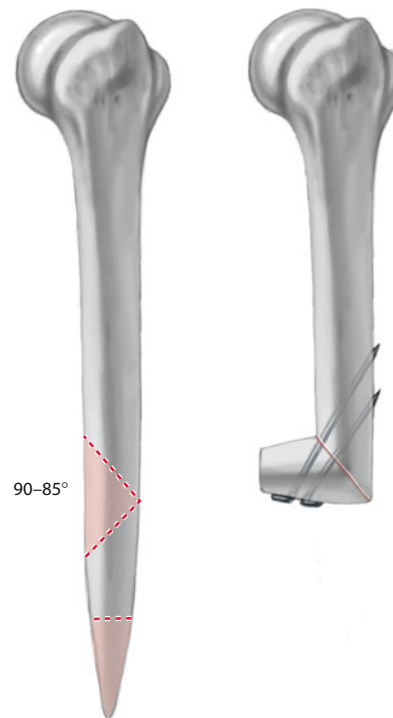
■ Abb. 41.26 Amputationshöhen im Oberarmbereich

Nächstes die diaphysäre Absetzungslinie gewählt. Die Amputation durch die Diaphyse des Humerus erfordert eine zuverlässige und auch drehstabile Verankerung. Ein Übergreifen des Prothesenschaftes auf das Schultergelenk mit entsprechender Einschränkung seiner Beweglichkeit, besonders wenn dazu eine Bandage durch die Achselhöhle der Gegenseite anzulegen ist, ist notwendig. Zur Verbesserung der rotationsstabilen Verankerung der Prothese kann durch eine Winkelosteotomie des distalen Humerus nach Marquardt erfolgen. Bei mindestens mittellangen und längeren Humerusstümpfen besteht die Möglichkeit, die distalen 2–3 cm des Knochens durch eine Osteotomie um 90° abzuwinkeln. Dadurch erhält der Humerus die Form eines Hakens oder Schlüssels, an dem der Prothesenschaft rotationsstabil verankert werden kann (■ Abb. 41.27).

Eine Besonderheit ergibt sich im Wachstumsalter. Nach Amputation im Wachstumsalter spitzt sich der Humerus zu, es kann im weiteren Wachstum zu einer Perforation des Hautmantels kommen. Hier hat sich die Stumpfkappenplastik nach Marquardt (■ Abb. 41.28) bewährt.

➤ **Sobald das Wachstum abgeschlossen ist, ist es nicht mehr notwendig, das Stumpfkappen abzudeckeln.**

Die Operation erfolgt in Rückenlage des Patienten. Die Operationstechnik ist uniform und unterscheidet sich nur in Bezug auf die anatomischen Veränderungen im Verlauf des Oberarms von subkapital bis zum Ellenbogen. Aufgrund der strengen Zweiteilung der muskulären Kompartimente des Oberarmes müssen symmetrische anteriore und dorsale Hautlappen gebildet werden. Der Winkel der Inzisionslinien zueinander beträgt 50–70°; ungefähr auf Höhe des Scheitels der anterioren und dorsalen Inzision liegt die Amputationslinie des Knochens. Nach Durchtrennung von Haut und Unterhaut-



■ Abb. 41.27 Winkelosteotomie nach Marquardt



■ Abb. 41.28 Stumpfkappenplastik nach Marquardt

gewebe sollte die Separierung der Muskulatur unbedingt vermieden werden. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Amputationen der Schulter und des Schultergürtels, bei denen eine sorgfältige Präparation notwendig ist, muss die Bildung des ventralen und dorsalen Muskelstumpfes am Oberarm im Verbund, d. h. mit einem Schnitt erfolgen. Dazu wird das Amputationsmesser von medial nach lateral in Kontakt zum Humerus eingebracht; durch digitale Kontrolle muss gewährleistet sein, dass das Messer ventral des brachialen Gefäßbündels eingebracht wird. Nach Aufladen aller Beuger und Ausrichten

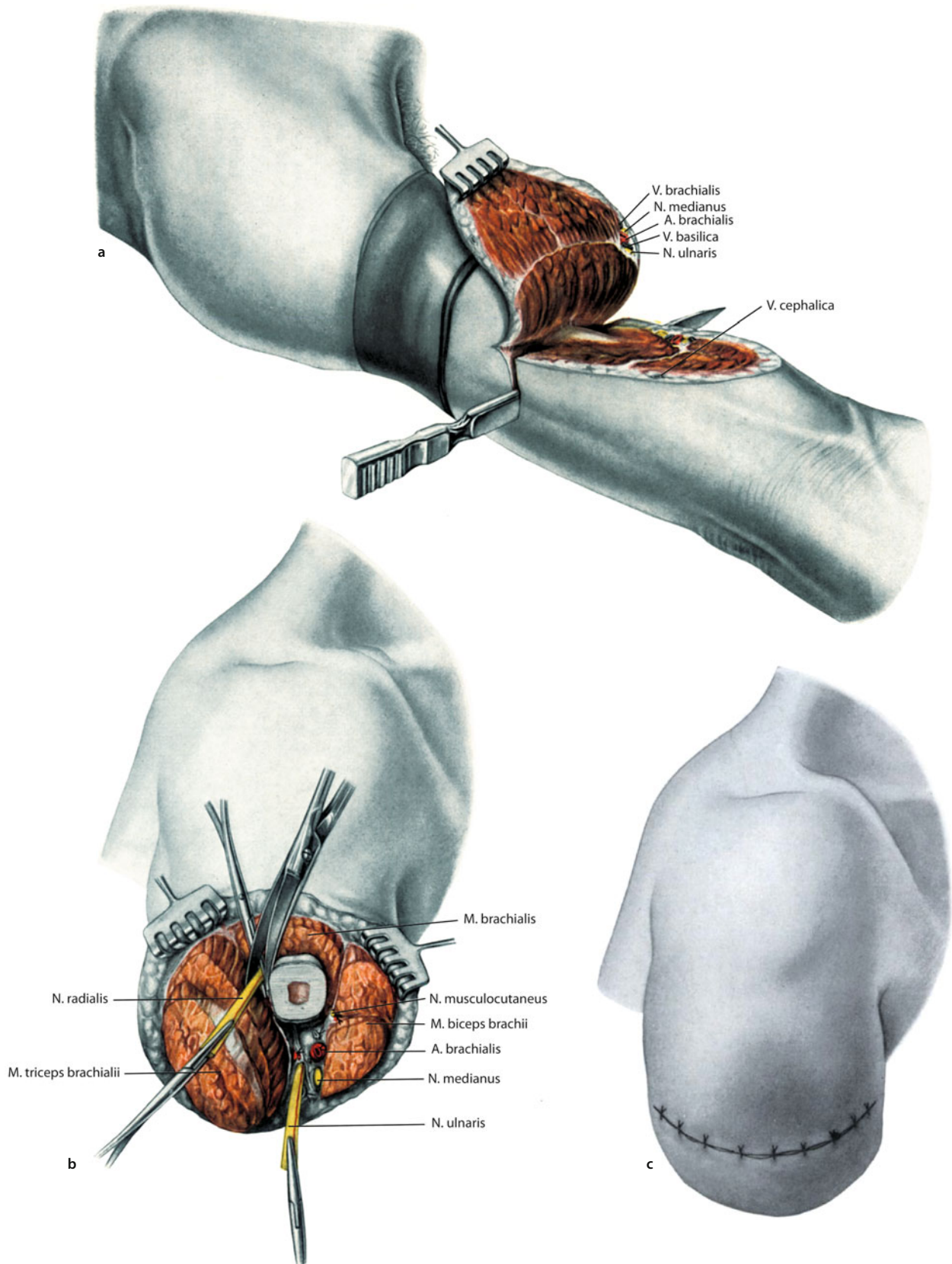


Abb. 41.29 Operative Schritte der transhumeralen Oberarmamputation. **a** Technik des Durchstichverfahrens: Das Amputationsmesser wird zunächst auf der Beugeseite vor dem Humerus durch die Weichteile gestochen und ein vertikaler großer Haut-Muskel-Lappen gebildet. Sodann wird das Messer an der ursprünglichen Durchstichstelle dorsal des Knochens durch die Weichteile geführt, das Messer gekantet und die Durchtrennung der Streckseite in einer Ebene vorgenommen. Es folgt die Osteotomie des Humerus. **b** Versorgung der Gefäß-Nerven-Strukturen. **c** Nach subtiler Blutstillung erfolgt eine lockere Adaptation der Muskelschicht und ein Wundschluss. (Aus Wachsmuth u. Wilhelm 1972)

der Klinge parallel zum Hautschnitt wird der Schnitt rasch und ohne Pause vollzogen. In gleicher Weise wird nach Versorgung der Gefäß-Nerven-Bündel und Durchtrennung des Humerus der dorsale Lappen gebildet. Im Anschluss an die Kürzung der Nerven und Konfektionierung der Knochenkanten wird die Myodese mit transossärer Verankerung vorgenommen. Das Schultergelenk muss dabei in Funktionsstellung sein. Die Antagonisten dürfen nicht aus ihrem Verbund herausgelöst werden (■ Abb. 41.29).

Subkapitale Amputation. Das nächste Amputationsniveau stellt die subkapitale Amputation (proximale 3–4 cm von Diaphyse und Collum chirurgicum). Diese Stumpfänge ist nicht mehr ausreichend für einen Oberarmprothesenschaft. Die Fläche ist zu klein, der Hebelarm zu kurz. Dennoch wäre es ein Fehler, gleich auf die Exartikulation des Glenohumeralgelenks überzugehen.

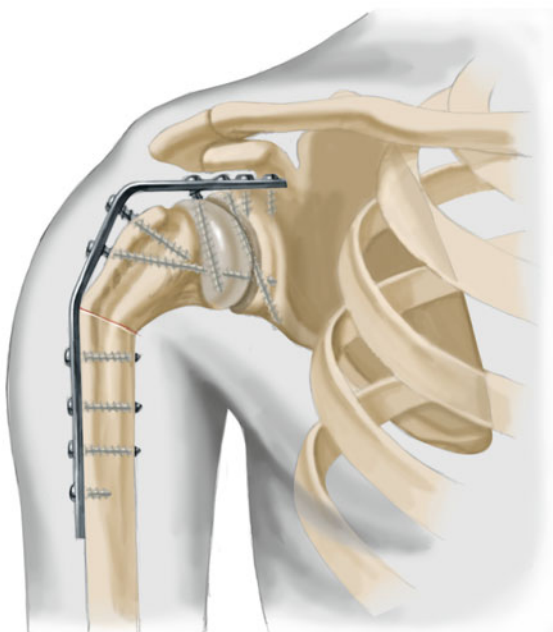
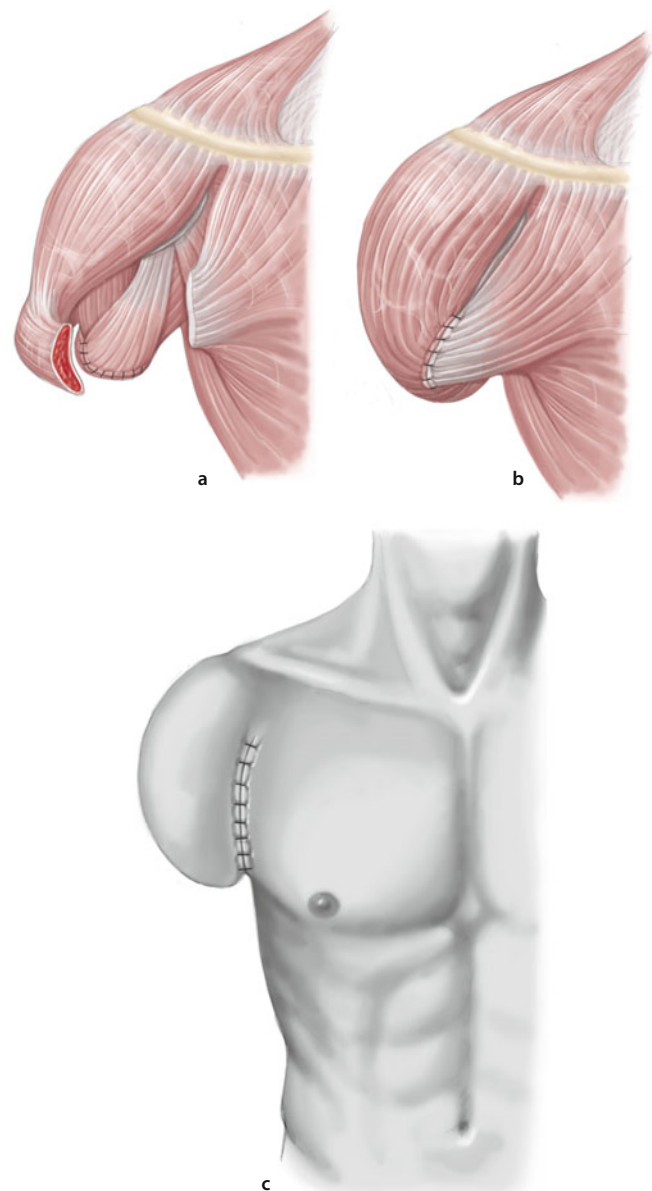
➤ **Lässt sich vom Humerus auch nur der Kopf erhalten, bedeckt vom M. deltoideus, bleibt die Symmetrie der Silhouette des Schultergürtels weit besser erhalten als nach Exartikulation oder gar Amputation des Schultergürtels. Noch sind keine Polster an Stumpf und Kleidung erforderlich, um die Symmetrie des Rumpfes zu verbessern.**

Die prothetischen Möglichkeiten allerdings sind gleich schlecht wie nach Exartikulation im Glenohumeralgelenk und damit noch bescheidener als die einer Oberarmprothese.

Wegen des gestörten Muskelgleichgewichts weicht der Humerusstumpf nach einer subkapitalen Amputation in Abduktion und Flexion ab. Bei ungenügender Weichteildeckung wird das Stumpfende druckempfindlich und behindert die prothetische Versorgung. In diesen Fällen haben sich zwei Therapieverfahren bewährt: Bereits bei der Amputation sollte immer versucht werden, durch eine myoplastische Deckung des Knochenstumpfes durch Refixierung des M. pectoralis major und Vernähung mit dem M. deltoideus, das Muskelungleichgewicht im Stumpfbereich auf ein Minimum zu reduzieren. Bei manifester Fehlstellung des subkapitalen Humerusstumpfes hat sich die Glenohumeralarthrodese

bewährt. Bei längeren Stümpfen hätte die Arthrodese alleine zur Folge, dass die Achselhöhle funktionell verkleinert wird und nicht mehr genügend Platz bleibt für den Prothesenschaft. In diesen Fällen hat sich die subkapitale Varisationsosteotomie nach Kuhn und Laumann (■ Abb. 41.30) bewährt.

Die Operation erfolgt in halb sitzender (Beach-chair-)Lagerung. Dadurch können lagerungsbedingte Verziehungen der Schulterkulisse am besten vermieden werden. Damit ist die Gefahr ungünstig gesetzter Hautinzisionen geringer. Die Schnittführung orientiert sich am Sulcus deltoideopectoralis und zieht an dessen vorderem und distalem Ende in die Axilla. Die Inzision sollte außerhalb des behaarten Hautareals verlaufen und mindestens 2 Querfinger distal der Kontur des M. deltoideus dieser folgen. Analog zur Exartikulation erfolgt das Absetzen des M. pectoralis und die Versorgung der Gefäße und Nerven mit unbedingter Scho-



■ Abb. 41.30 Varisationsosteotomie nach Kuhn und Laumann

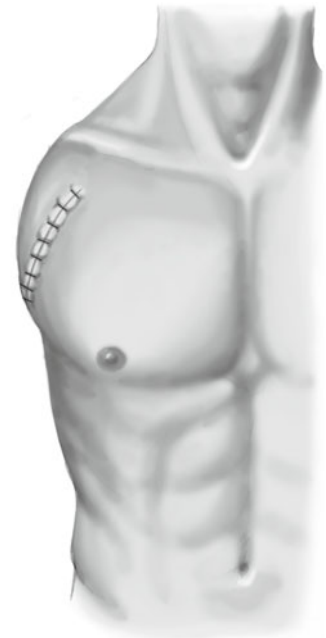
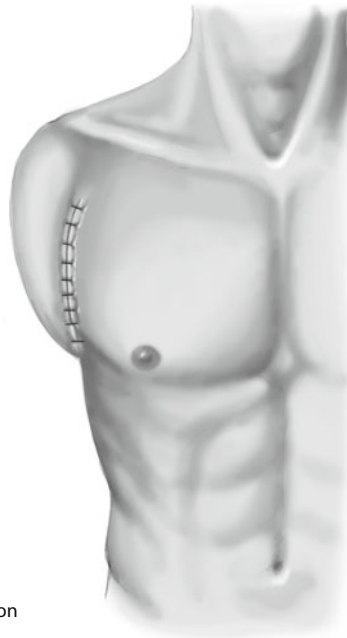
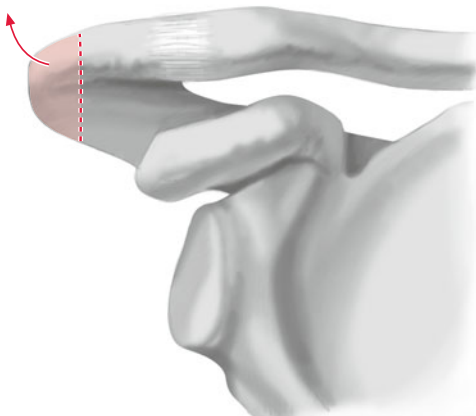
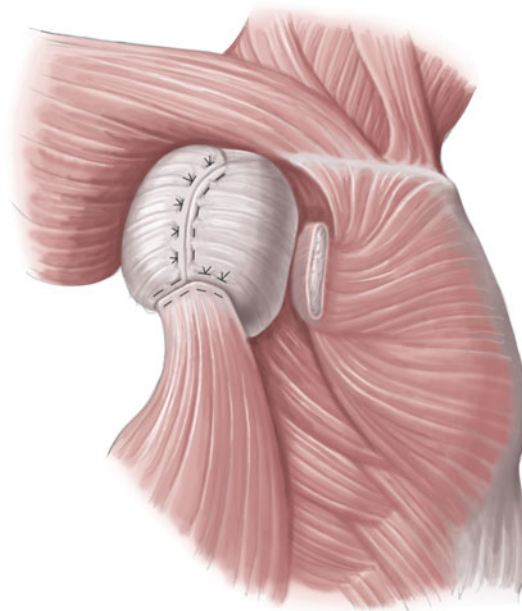
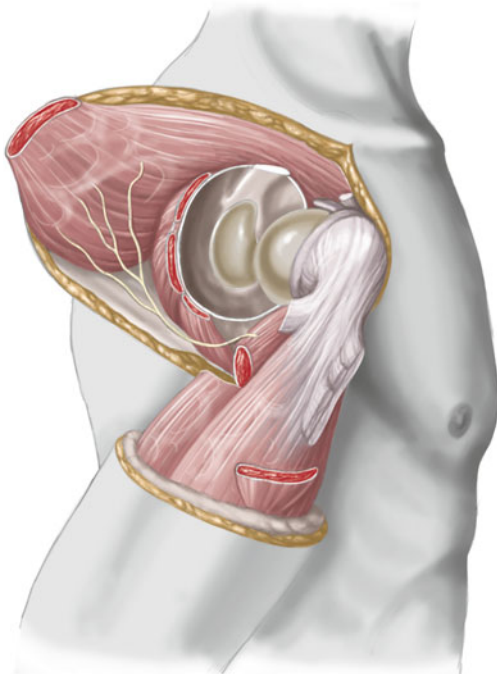
■ Abb. 41.31 Operative Schritte der subkapitalen Oberarmamputation. a Planung der Hautinzision, b Abpolsterung des Knochenstumpfes mithilfe der umliegenden Muskulatur, c klinischer Aspekt nach Hautschluss

nung des N. axillaris. Nach Abtrennung der ventralen Muskulatur wird der Humerus durchtrennt. Bedeutsam ist dabei wie bei allen Osteotomien, dass der Knochen nicht deperiostiert und unter atraumatischen Bedingungen durchtrennt wird. Durch Aufspannen des dorsalen Weichteilmantels wird unter Schonung des M. deltoideus der dorsale Hautlappen gebildet. Um fehlerhafte Inzisionen zu vermeiden und einen perfekten Weichteilmantel zu erhalten, sollte der Stumpf dazu in Funktionsstellung gebracht werden. Auch die myoplastische Deckung des knöchernen Stumpfes muss in Funktionsstellung erfolgen. Unter besonderer Beachtung dieser Forderung ist die antagonistische Verknüpfung von M. triceps mit Mm. biceps et coracobrachialis mit der halbsitzenden Lagerung der Patienten besonders gut zu bewerkstelligen (■ Abb. 41.31).

41.2.11 Technik der primären Stumpfbildung durch Exartikulation im Glenohumeralbereich

Die Exartikulation im Glenohumeralgelenk führt zu einer beträchtlichen Asymmetrie des Rumpfes mit Hochstand des Schulterblattes als Folge fehlender Muskelzüge und auch des Gewichtes des Armes. Die reine Exartikulation ergibt nach Wundheilung und Atrophie der Muskulatur eine unschöne druckempfindliche Prominenz des Akromions. Von der Muskulatur im Schultergelenk und Schulterblatt sollte daher so viel wie möglich erhalten bleiben, um die Gelenkpfanne damit auszufüllen.

Vorzugsweise wird die Operation in Rückenlagerung der Patienten mit erhöhtem Oberkörper (Beach-chair-Position) vorge-



■ Abb. 41.32 Technik der primären Stumpfbildung durch Exartikulation im Glenohumeralbereich

nommen. Die Inzisionslinie beginnt am Processus coracoideus und zieht möglichst lateral des Sulcus deltoideopectoralis in die Achselhöhle; der Schnitt verläuft tief durch die Achselhöhle, um die behaarten Hautanteile möglichst mitzunehmen. Er folgt dann dem Rand des M. deltoideus und trifft am Korakoid wieder auf den Beginn der Inzision. Die Absetzung der Muskulatur beginnt durch Desinsertion am M. pectoralis maior; bei allen weiteren Schritten muss das Augenmerk darauf gerichtet bleiben, später eine gute Füllung der Gelenkpfanne mit spannungsfreier Adaptation der Muskeln erreichen zu können. Zur Versorgung der Axillargefäße empfiehlt es sich, zunächst die Mm. coracobrachialis und biceps brevis abzusetzen; die Gefäße und Nerven werden mit Ausnahme des N. axillaris anschließend am lateralen Rand des M. pectoralis minor aufgesucht, nach medial präpariert und nach Separation abgesetzt; somit kommen die Stümpfe unter der Kulis des Muskels zu liegen. Ohne den N. axillaris zu gefährden wird der M. deltoideus möglichst nahe am Humerusschaft durchtrennt. Durch Rotationsmanöver im Schultergelenk kann nun die Kapsel inzidiert und das Schultergelenk zunächst von ventral aus seinem muskulären Verband gelöst werden. Bei der Präparation des M. latissimus dorsi ist der Erhalt des thorakodorsalen Gefäß-Nerven-Bündels zu beachten. Durch Ablösen der Rotatorenmanschette, der Bizeps- und Trizepsmuskulatur (**Cave:** N. axillaris) wird die Exartikulation beendet. Sinnvoll ist nun eine Verkürzungsosteotomie des lateralen Akromions, um abschließend den U-förmigen Hautlappen spannungsfrei einnähen zu können. Die Anteile der ventralen und dorsalen Muskulatur werden spannungsfrei über der Gelenkpfanne vernäht, der M. deltoideus kann dann die adaptierten Muskelstümpfe kappenförmig und spannungsfrei bedecken. Er wird distal an der unteren Kapsel und sparsam an die Mm. latissimus dorsi und pectoralis maior fixiert (■ Abb. 41.32).

41.2.12 Technik der interskapulothorakalen Amputation »forequater amputation«

Die Absetzung des ganzen Armes samt Schultergürtel (interskapulothorakale Amputation, forequater amputation) ist ein äußerst verstümmelnder Eingriff. Zudem lassen sich Funktion und Kosmetik durch Prothesen nur sehr mangelhaft wiederherstellen. Es ist daher mit allen Mitteln zu versuchen, diesen Eingriff zu ersparen.

Der Patient wird in Halbseitenlagerung (Rücken) gebracht. Der Zugang erfolgt von dorsal. Die befundabhängige Schnittführung berücksichtigt die Retraktionsfähigkeit der Haut am Schultergürtel. Sie orientiert sich am Sternoklavikulargelenk; die Inzision zieht zum Akromioklavikulargelenk von dem aus ein Schenkel über die Schulterkappe zum lateralen distalen Skapularand zieht. Der andere Schenkel läuft auf die vordere Axillarlinie zu und durch die Axilla hindurch um sich mit der ersten Inzisionslinie zu verbinden. Nach Präparation des ventralen und dorsalen Hautlappens werden von ventral die Mm. trapezius, pectoralis und latissimus abgesetzt; dabei sollte so viel muskuläres Gewebe wie möglich erhalten werden. Durch Osteotomie der Klavikula wird der Arm samt Schulterblatt nach lateral gehalten, das Bündel aus Subklaviagefäßen und Plexus separiert und amputiert. Die Amputation wird durch Ablösen der medialen Skapula samt Muskulatur (Mm. serratus, rhomboideus, levator) vom Rumpf vollendet (■ Abb. 41.33).

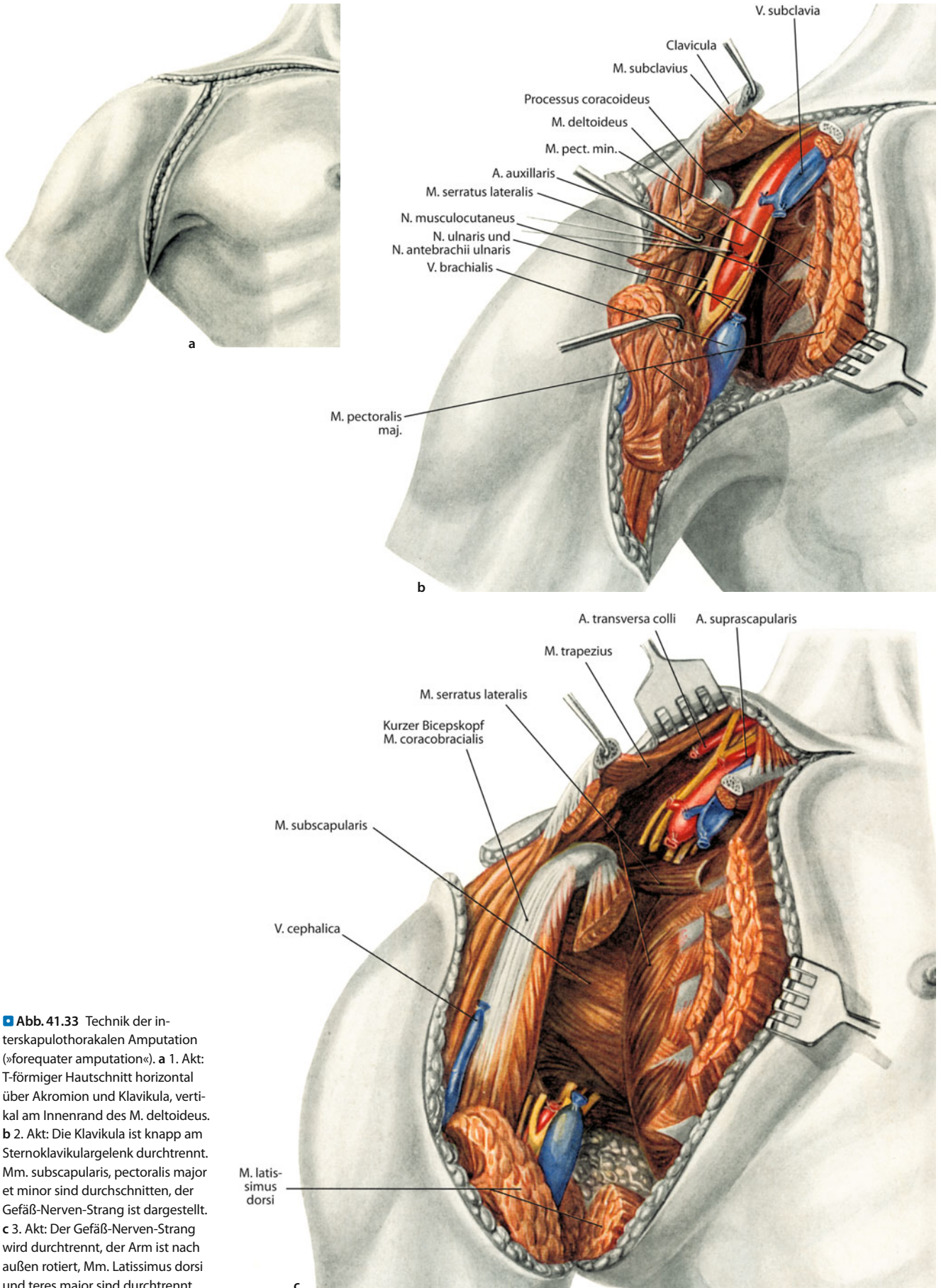
Eine besondere Variante bei tumorbedingter Indikation zur interskapulothorakalen Amputation stellt die Operation nach Tikhoff-Linberg mit ihren Modifikationen dar. Bei diesem Eingriff werden der Schultergürtel und der proximale Humerus unter Erhalt der armversorgenden Strukturen kompartmentgerecht am-

putiert; der Ersatz des proximalen Anteils des Humerus wird durch Fixation einer Prothese mit Knochenzement im distalen Humerus erreicht. Deren Fixation am Thorax erfolgt am belassenen Klavikulastummel. Damit lassen sich in vielen Fällen, ohne dass Kompromisse gegenüber der Radikalität eingegangen werden müssen, die mit der interskapulothorakalen Amputation verbundenen maximalen Entstellungen vermeiden. Darüber hinaus bewahrt der erhaltene Arm dem Patienten eine weitgehende Funktion des Unterarmes und der Hand; sogar Pendelbewegungen in der Schulter sind möglich (■ Abb. 41.34).

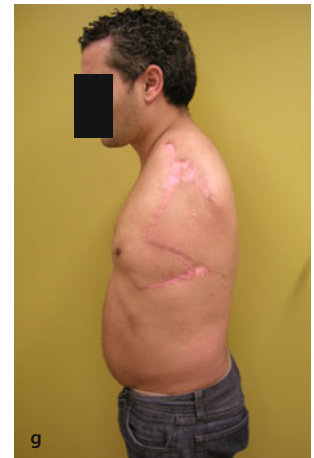
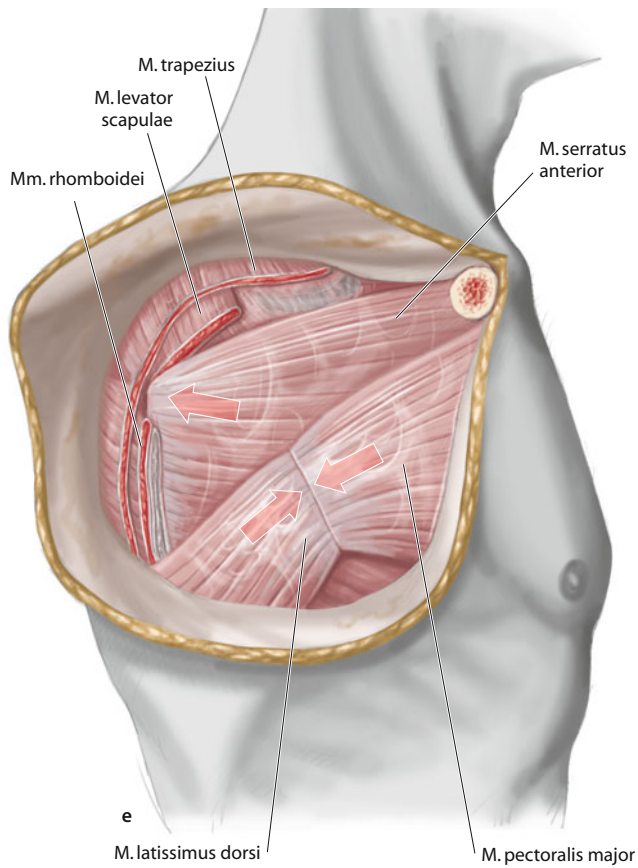
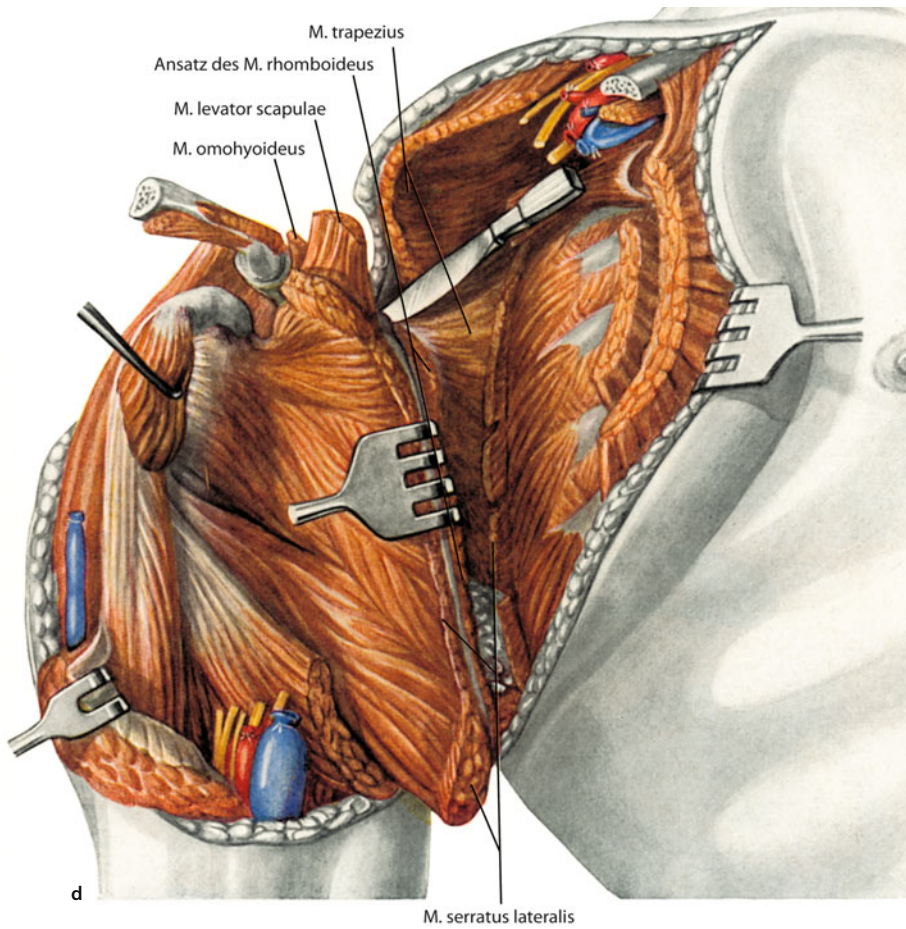
41.2.13 Technik der allogenen Extremitätentransplantation im Unterarmbereich

Hautinzisionen im Bereich des Empfängerstumpfes und der Fremdhand. Abhängig von der Amputationshöhe des Empfängers müssen weitreichende Inzisionen im Unterarmbereich vorgenommen werden, um die neurovaskulären Strukturen für die Dissektion zu exponieren. Hierbei werden die Inzisionen nicht direkt über den Gefäß- und Nervenstraßen angelegt, da durch das konsekutive Weichteilödem unter Umständen kein Primärverschluss erreicht werden kann. Um dies zu vermeiden und um die zirkumferenzielle Narbe zu verbreitern, müssen die Inzisionen im Sinne mehrerer großer Z-Plastiken geplant werden. Bei der Transplantation orientiert sich allerdings die Entscheidung, welche Technik angewendet wird, immer an dem bestehenden Narbenprofil und kann im Gegensatz zur Replantation optimal geplant werden. Eine Möglichkeit besteht dabei darin, mittig oberhalb der palmaren und dorsalen Kompartimente Inzisionen zu setzen und damit einen guten Zugang zu Knochen und Gefäß- bzw. Nervenstraßen zu erzielen bei gleichzeitig optimalen Durchblutungsverhältnissen der Hautlappen. Hierbei wird ein Lappen radial und der andere Lappen ulnar gestielt. Als zweite Option können radioulnare Hautinzisionen durchgeführt werden, wodurch ein dorsaler und ein palmarer Lappen gehoben werden können (■ Abb. 41.35). Entsprechend der durchgeführten Inzisionen im Allotransplantat müssen korrespondierend die Inzisionen im Empfängerstumpf geplant werden. Im Falle einer radioulnaren Schnittführung im Bereich des Empfängerstumpfes müssen dementsprechend die Inzisionen im Bereich der transplantierten Hand mittig palmar und dorsal gewählt werden, sodass eine Transposition mittels Z-Plastik durchgeführt werden kann. Durch diese Operationstechnik wird nicht nur eine zirkumferenzielle Narbenbildung verhindert, sondern gleichzeitig dem Auftreten von ausgeprägten Lappenödemen in der gesamten postoperativen Akutphase entgegengewirkt.

Dissektion und Identifizierung der neurovaskulären Strukturen. Die Dissektion und Identifizierung aller verfügbaren neurovaskulären Strukturen und Muskel-Sehnen-Stümpfe im Bereich des Empfängerstumpfes und der Fremdhand beginnt im Bereich des Subkutangewebes und wird kontinuierlich bis zu den Knochen fortgesetzt. Die exakte Markierung aller Gefäß- und Nervenstrukturen muss dabei unbedingt zu Beginn der Operation erfolgen und erweist sich zudem im weiteren Operationsverlauf als äußerst zeit- und nervensparend, da sich die markierten Strukturen auch in einem blutgetränkten Operationsfeld schnell auffinden lassen. Die Markierung mittels Klemmchen sollte allerdings vermieden werden, da sie im weiteren operativen Verlauf und durch Manipulation leicht verrutschen können. Zudem verursachen sie einen intimalen Schaden und könnten im Laufe der Operation vergessen werden.



■ **Abb. 41.33** Technik der interskapulothorakalen Amputation («forequarter amputation»). **a** 1. Akt: T-förmiger Hautschnitt horizontal über Akromion und Klavikula, vertikal am Innenrand des M. deltoideus. **b** 2. Akt: Die Klavikula ist knapp am Sternoklavikulargelenk durchtrennt. Mm. subscapularis, pectoralis major et minor sind durchschnitten, der Gefäß-Nerven-Strang ist dargestellt. **c** 3. Akt: Der Gefäß-Nerven-Strang wird durchtrennt, der Arm ist nach außen rotiert, Mm. Latissimus dorsi und teres major sind durchtrennt



■ **Abb. 41.33** Technik der interskapulothorakalen Amputation (»forequarter amputation«). **d** 4. Akt: Unter weiterer Außenrotation werden die Mm. levator scapulae, omohyoideus und serratus anterior durchgeschnitten. Der angespannte M. trapezius wird vom vertebralen Skapularand abgelöst. **e** 5. Akt: Rekonstruktion der Muskellappenschicht mit Adaptation der Mm. rhoimboidei an den M. serratus anterior und M. latissimus dorsi an den M. pectoralis major. **f** Klinischer Aspekt nach primärer Stumpfversorgung: Ansicht von ventral, **g** klinischer Aspekt nach primärer Stumpfversorgung: Ansicht von lateral. (Aus Wachsmuth u. Wilhelm 1972 [a–d])

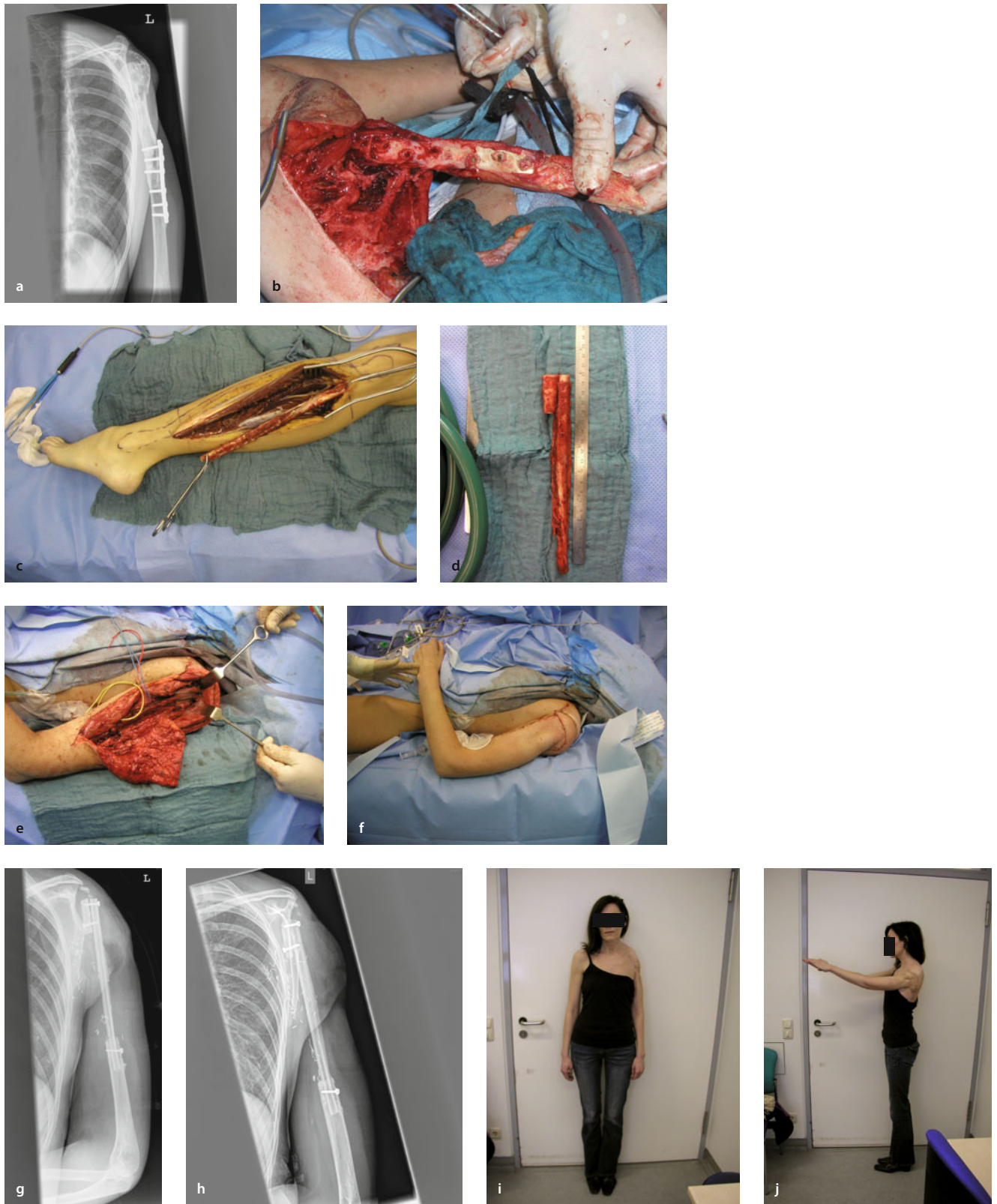
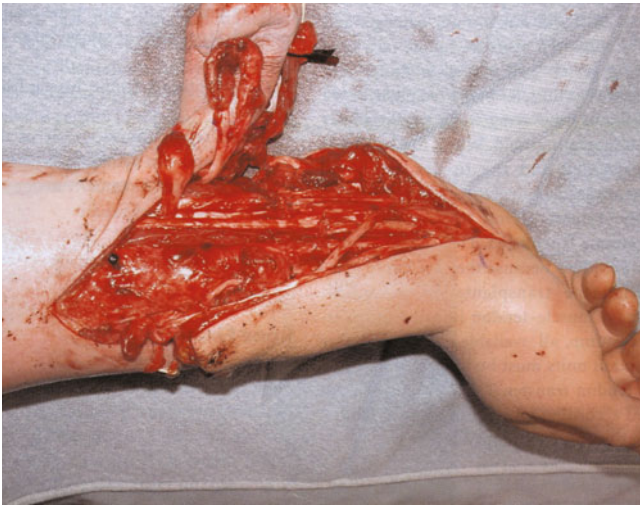


Abb. 41.34 Operation nach Tikhoff-Linberg. **a** Schematische Darstellung der Operation, **b** klinischer Aspekt 15 Jahre postoperativ, **c** radiologischer Aspekt 15 Jahre postoperativ: Das primäre eingebrachte allogene Knochentransplantat zum Humerusersatz ist gebrochen und aufgebraucht. **d** Intraoperativer Aspekt des aufgebrauchten allogenen Knochentransplantats, **e** intraoperativer Aspekt: gehobenes ipsilaterales vaskularisiertes Fibula-Diaphysen-Transplantat, **f** Rekonstruktion eines Humeruskopfäquivalents durch Segmentierung des proximalen Fibulaendes (»Double-Barell-Technik«), **g** Rekonstruktion eines Gelenkkapseläquivalents mithilfe eines nichtresorbierbaren Netzes. Ersatz des fehlendes laterokranialen Weichteilmantels mithilfe einer ipsilateral gestielten myokutanen Latissimus-Dorsi-Lappenplastik, **h** Aspekt am Ende der Operation, **i** radiologischer Aspekt postoperativ, **j** radiologischer Aspekt 1 Jahr postoperativ, **k** klinischer Aspekt 1 Jahr postoperativ: Ansicht von frontal, **l** klinischer Aspekt 1 Jahr postoperativ: Ansicht von lateral



■ **Abb. 41.35** Technik der allogenen Extremitätentransplantation im Unterarmbereich. Im Bereich der transplantierten Hand sind radioulnäre und korrespondierende palmare Inzisionen zu erkennen. Durch Verwendung der palmaren Lappens im Stumpfbereich und des radialen Lappens im Bereich der transplantierten Hand kann die zirkumferenzielle Narbe mittels Z-Plastik verlängert und ein lockerer Wundverschluss erreicht werden. Weiterhin sind die nach proximal oder distal zueinander verschobenen Nahtlinien im Bereich der Beugesehnen zu erkennen, wodurch das Auftreten narbiger Verwachsungen zwischen den Sehnen verhindert werden kann. Die Neuromata der Nn. medianus und ulnaris wurden bereits vollständig disseziert. (Aus Lanzetta u. Dubernard 2007)

Technik der Transplantation und Sequenz. Die Operationssequenz variiert geringfügig abhängig von der Amputationshöhe und der zugrunde liegenden Verletzung. Nachdem alle Strukturen präpariert und eine gute Hämostase erreicht wurde, muss die Hand mit »University-of-Wisconsin«-Lösung gespült werden. Der Zugang erfolgt über die A. brachialis. Zur Knochenosteo-synthese gelten die bereits in ► Abschn. 41.1.7 genannte Schritte. Hiernach folgt die Anastomosierung der Gefäße. Die Hauptgefäße mit A. ulnaris und radialis werden unter dem Mikroskop präpariert und zuerst eine Arterie (z. B. die A. ulnaris) End-zu-End anastomosiert und eine kurze Blutungsphase toleriert. Anschließend wird die V. cephalica anastomosiert. Hierdurch werden die funktionellen superfiziellen Venen gut dargestellt. Um den Blutverlust zu minimieren sollte zudem die V. basilica anastomosiert werden. Durch den venösen Rückfluss der transplantierten Hand und der konsekutiven Azidose empfiehlt sich die Gabe von Bikarbonatpufferlösung vor der Öffnung der Venen. Im weiteren Verlauf kann die Sehnen-Muskel-Rekonstruktion ohne Verlängerung der Ischämiezeit begonnen werden. Die Spendersehnen lassen sich hierbei leicht identifizieren. Entsprechend den

Verletzungen an den Muskel- und Sehnenstrukturen sowie der vorhandenen Vernarbungen müssen alle verfügbaren Muskeln und Sehnen funktionsgerecht adaptiert werden. Hierbei sollte wiederum auf eine ausreichende Vorspannung und Balance der Flexoren und Extensoren geachtet werden. Um Adhäsionen der Sehnen zu vermeiden, sollten diese auf verschiedener Höhe mit einer Distanz von distal nach proximal von mindestens 1,5–2 cm vernäht werden. Dies kann bei der Transplantation durch Zerschneiden der Sehnen in die gewünscht Länge erfolgen. Bei Fehlen von Extensoren oder Flexoren sollten Standardtechniken für den funktionellen Muskeltransfer angewendet werden. Nach Erreichen der optimalen Balance müssen die Anastomosen noch einmal auf möglichen Zug oder Kinking überprüft werden. Weiterhin muss die zweite noch nicht reanastomosierte Hauptarterie anastomosiert werden. Außerdem sollten mindestens 2 Vv. comitantes anastomosiert werden. Nun kann die Überlänge der ersten Hauptarterie reseziert und diese unter adäquater Spannung reanastomosiert werden. Insgesamt müssen 1 oder 2 tiefe Venen anastomosiert werden. Weitere superfizielle Venen sollten ebenfalls anastomosiert werden, da eine größere Anzahl großkalibriger Venen den Erfolg der Transplantation wesentlich erhöht. Somit müssen bei 2 reparierten Hauptgefäßen – wie bei der Replantation – insgesamt 4–6 Venen rekonstruiert werden, um einen adäquaten Rückfluss zu erlauben. Im Anschluss werden alle 3 Hauptnerven, der N. medianus, der N. ulnaris und der N. radialis bzw. R. superficialis ni. radialis, koaptiert. Die gesunden Nervenstrukturen werden proximal der Neurome aufgesucht und das jeweilige Neurom komplett disseziert. Hierbei muss speziell bei Avulsionsverletzungen weit nach proximal disseziert werden. Die Nerven-naht sollte mit einem 10/0 Monofilamentfaden erfolgen und spannungsfrei sein. Hierbei kann die Nerven-naht entweder epineural oder faszikulär ausgeführt werden. Faszikuläre Strukturen sollten allerdings durch wenigstens eine Naht koaptiert werden. Nach exakter Blutstillung müssen die vorgeschneittenen Hautlappen mittels Z-Plastik spannungsfrei eingenäht und die Perfusion hierbei strengstens beachtet werden. Die Verbandanlage erfolgt hierbei wie in ► Abschn. 41.1.7 bereits beschrieben. Bei jeglichem Verdacht auf eine venöse Abflussstörung muss die Naht eröffnet bzw. die Verbandanlage überprüft werden.

41.2.14 Technik der allogenen Extremitäten-transplantation im Oberarmbereich

Hier orientiert sich derzeit das technische Vorgehen an der bereits geschilderten Technik zur Oberarmreplantation.

41.3 Fehler Gefahren und Komplikationen

Eine inadäquate Patientenselektion und operative Primärversorgung sowie ungenügende postoperative Physiotherapie und Nachsorge sind die häufigsten Fehler bei Replantationen im Bereich der oberen Extremität. Durch ein standardisiertes Vorgehen bei der Patientenauswahl aufgrund möglichst objektiver Kriterien kann ein optimales Ergebnis erreicht werden. Die technisch einwandfrei durchgeführte Revaskularisation bzw. Replantation lohnt sich für den Patienten aus funktioneller (Reduktion der MdE) und ästhetischer Sicht. Durch den Einsatz von funktionsverbessernden Sekundäroperationen im Rahmen eines »integrativen Therapie-konzeptes« kann in vielen Fällen eine weitere signifikante Ergebnisverbesserung erreicht werden.

41.3.1 Replantation

Komplikationen nach Replantation können in lokale, das Replantat betreffende und systemische Komplikationen eingeteilt werden (■ Tab. 41.7).

Zu den lokalen Komplikationen zählt man den akut auftretenden (arteriellen und venösen) Gefäßverschluss, ferner die subakut auftretende lokale Infektion, sowie algodystrophische Syndrome als mögliche Spätkomplika­tion. Die schwerwiegendste lokale Komplikation stellt der akute arteriovenöse Gefäßverschluss dar. Vaskuläre Komplikationen aufgrund technischer Fehler treten meist innerhalb der ersten 6 postoperativen Tage auf. Spätere »Gefäßkomplikationen« sind verdächtig auf einen Infekt. Die vaskulär bedingte Verlustrate wird mit 5–29% angegeben. Die Häufigkeit von erfolgreich revidierten vaskulären Komplikationen liegt bei 6%. Die Rate von schwerwiegenden lokalen Infekten variiert zwischen 1,5–29%. Gründe für eine Reamputation zu einem späteren Zeitpunkt, meist nach Abschluss der Rehabilitationsphase, sind persistierende funktionelle Beeinträchtigung, Selbstverstümmelung bei fehlender Sensibilität, chronische Entzündungszustände (Osteitis: 4%) und therapieresistente Schmerzen im Bereich des Replantats. In einem ausführlichen Gespräch mit dem Patienten müssen Vor- und Nachteile einer prothetischen Versorgung gegenüber dem gegenwärtigen Zustand evaluiert werden. Erwähnenswert ist, dass Schmerzen im Bereich des Plexus brachialis nur selten durch eine Amputation beseitigt werden können und dass darüber hinaus amputationsbedingte Phantomschmerzen auftreten können. Wie bei der primären Amputation ist auch bei der späten Reamputation der »optimale Stumpf« das therapeutische Ziel. Die Rate der sekundären (späten) Reamputationen ist im Vergleich

zur unteren Extremität niedrig und wird mit 0,7–8% angegeben. Bei etwa 12% aller Patienten ist mit einer Frakturheilungsstörung zu rechnen. Die Häufigkeit von posttraumatischen Fehlstellungen nach subtotaler und totaler Makroreplantation im Bereich der oberen Extremität beträgt etwa 5%. Posttraumatische radiolunare Synostosierung mit Limitierung von Pronation und Supination sind beschrieben. Mit dem Auftreten von Schmerzzuständen im Rahmen eines »pain dysfunction syndrome« als chronisch lokale Komplikationsmöglichkeit nach Großreplantation muss zwischen 3–83,3% der Fälle gerechnet werden. Eine ängstliche Grundhaltung des Patienten führt regelhaft zu einer größeren Beeinträchtigung durch Schmerzen. Postoperative Schwellungszustände des replantierten bzw. revaskularisierten Anteils sind bekannt. Je besser allerdings der venöse Abfluss rekonstruiert wird, desto seltener und weniger ausgeprägt tritt diese lokale Spätkomplika­tion auf. Eine Kälteintoleranz im rekonstruierten Extremitätenanteil wird in 50–100% der Patienten beschrieben. Kälte scheint bei Kindern nicht zu einer größeren Beeinträchtigung zu führen. Dysästhesien resultierten in 7–56%. Eine als stark eingestufte Kälteintoleranz mit gleichzeitigen Dysästhesien beklagen jedoch nur 8–12% der Patienten. Zu den akuten systemischen Komplikationen zählt man die Crush-Syndrome und das Ischämie-Reperfusionssyndrom, welche zu Mono-, Oligo- und Multiorganversagen führen können. Die Symptome sind umso deutlicher, je mehr Knochen- und vor allem Muskelgewebe geschädigt ist. Schädigungen im distalen Unterarmbereich führen deshalb seltener zu systemischen Komplikationen als weiter proximal gelegene. Das Risiko eines postoperativen Mono-, Oligo- oder Multiorganversagens (Nieren, Lunge) nach Replantation wird mit 8,3–60% angegeben. Hauptgrund für diese großen Unterschiede dürften neben den unterschiedlich großen

■ **Tab. 41.7** Möglichkeiten der lokalen und systemischen Komplikationen nach Replantation im Bereich der oberen Extremität. (Aus Schmit-Neuerburg et al. 2001)

Lokal		Systemisch	
Amputationsrate	0,7–8%	Mortalität	0–11%
<i>Akut</i>			
1. Gefäßkomplikationen – Primäre (mechanische) Gefäßschädigung Hyperkoaguabilität (= Thrombose) – Sekundäre Gefäßschädigung Radikalgeneration (»no-flow-phenomenon«)	13–29%	1. Crush-Syndrome – Hyperkaliämie (Herzversagen) – Myoglobulinämie (Nierenversagen) – Fettembolie (Lungenversagen)	– ^a
		2. Ischämie-Reperfusionssyndrom (Radikalgeneration) – Mono-, Oligo-, Multiorganversagen	8,3%
<i>Subakut</i>			
2. Wundheilungsstörungen und lokale Infektionen	14–29%	3. Sepsis	8,3%
<i>Spätphase</i>			
3. Posttraumatische Fehlstellungen	5%		
4. Reflex-Dystrophie-Syndrome	3–83%		
5. Kälteintoleranz – Leichte Form – Starke Beeinträchtigung	50–100% 8–12%		
6. Schwellneigung	– ^a		
7. Späte Reamputation	2,5–8%		

^aKeine Angaben gefunden

Patientenkollektiven vor allem Unterschiede in der intensivmedizinischen Nachbehandlung bei den späteren Serien sein. Realistisch ist das Risiko eines Multiorganversagens nach Großreplantation mit etwa 10–16% anzugeben. Die Letalität nach Makroreplantation an der oberen Extremität wird in neueren Untersuchungen mit 0–11% angegeben.

41.3.2 Primäre Stumpfversorgung mit frühzeitiger prothetischer Versorgung

Nach Probst (2003) können die Komplikationen nach Stumpfversorgung in Frühkomplikationen und Spätkomplikationen eingeteilt werden:

Komplikationen nach Stumpfversorgung

- Frühkomplikationen
 - Wundheilungsstörungen
 - Wundinfektion
 - Thrombose
 - Deafferenzierungsschmerzen (»Phantomschmerzen«)
- Spätkomplikationen
 - Hautläsionen
 - Amputationsneurom
 - Kronensequester
 - Chronische Fisteln (Fistelkarzinom)
 - Kontrakturen
 - Stumpffrakturen

Systemische und lokale Komplikationen nach primärer Stumpfversorgung bzw. Nachamputation und frühzeitiger prothetischer Versorgung sind selten.

Wundheilungsstörungen sind hauptsächlich auf inadäquate Operationstechnik zurückzuführen. Hauptursachen sind das inadäquate Débridement von geschädigtem Gewebe und der Wundschluss unter Spannung. Eine Wundinfektion kann sich auf eine Wundheilungsstörung aufpfropfen. Die Thromboseprophylaxe ist auch beim Amputierten notwendig. An erster Stelle steht die sofortige Mobilisation. Phantomschmerzen nach Amputation treten in 5–10% der Fälle auf. Durch eine frühzeitig einsetzende adäquate multidisziplinäre (Physiotherapie, Neurologie, Anästhesie, Psychologie, Neurochirurgie) Schmerztherapie kann eine deutlich geringere Rate erreicht werden.

Verletzungen der Haut an einem Amputationsstumpf, insbesondere durch örtliche Druckeinwirkung, stellen ein Problem für die Prothetik dar. Auch können chronisch infizierte Talgzysten und Haarfollikel Hautläsionen bewirken. Diese Krankheitsherde sind zu exzidieren. Hauttransplantate an Amputationsstämpfen sind nicht voll belastbar. Kommt es im Laufe der Zeit zur Schrumpfung des Stumpfes, können die beschädigten Transplantatbezirke exziiert und durch benachbarte Haut ersetzt werden. Kronensequester entstehen am Ende eines Amputationsstumpfes bei fehlender oder nicht ausreichender Knochendurchblutung. Hautursache ist hier die Hitzeentwicklung beim Absägen des Knochens. Aufgrund der venösen Stauung in diesem Bereich verursacht der Kronensequester häufig Stumpfschmerzen. Die Therapie besteht in der Sequestrektomie bzw. der Nachamputation. Kontrakturen können an der oberen Extremität verschiedene Ursachen haben: Neben den kutan bedingten Kontrakturen (vor allem Verbrennungen) kommt es durch Muskelzug zu bestimmten Haltungen des Amputations-

stumpfes. Schaftfrakturen können auch an der oberen Extremität auftreten. Immer ist zu bedenken, dass der Amputationsstumpf in aller Regel bereits sowohl anatomisch als auch physiologisch-funktionell einen atrophischen Zustand angenommen hat. Schon jede kürzer dauernde Unterbrechung der Gebrauchsfähigkeit der amputierten Gliedmaße würde einer weiteren, später nicht mehr einholbaren Atrophie Vorschub leisten. Die Versorgung der Stumpffrakturen entspricht den allgemeinen Regeln der Osteosynthese. Betroffen sind sowohl Schulter als auch Ellenbogengelenk, nach partieller Handamputation auch die dislozierten Frakturen des Unterarmschaftes, die die Pronation bzw. Supination behindern. Da die verbleibenden Armgelenke stets die wegen der Amputation ausgefallenen Beweglichkeiten kompensieren müssen, stellt jede Einsteifung einen bleibenden Funktionsverlust dar. Da der Amputationsstumpf nicht statisch belastet wird und der Weichteilmantel auch eine größere Geschmeidigkeit als an der unteren Extremität besitzt, sind die Bedenken gegen Narben am Armstumpf von geringerer Bedeutung. Bei jeder Osteosynthese an Armstämpfen muss darauf geachtet werden, dass erschwerte Durchblutungsverhältnisse vorliegen, auch wenn diese nicht klinisch erkennbar sind. Dementsprechend ist stets von einer höheren Infektionsgefährdung auszugehen und die Behandlung der Weichteile darauf auszurichten.

41.3.3 Sekundäre prothetische Versorgung ▶ Kap. 42

Wegen der aufwendigen Steuerung der Einzelfunktionen bei Amputationen im Oberarm und Schulterbereich tragen von diesen Patienten nur wenige ihre Prothese.

41.3.4 Allogene Extremitätentransplantation

Die Gefahren und Komplikationen nach allogener Extremitätentransplantation sind in der Akutphase mit denen von replantierten Patienten vergleichbar, mit dem Unterschied, dass die Operation nicht im Rahmen einer Notversorgung, sondern nach ausführlicher Planung unter optimalen Bedingungen ausgeführt wird. Das Risiko besteht also vielmehr darin, dass das Transplantat jederzeit irreversibel abgestoßen werden kann und der Patient lebenslang hochdosiert Immunsuppressiva mit schweren potenziellen Nebenwirkungen einnehmen muss. Die Risiken durch Medikamenteneinnahme sind dabei vergleichbar mit dem Risiko anderer Organtransplantationen wie der Nierentransplantation durch Verwendung ähnlicher medikamentöser Regime (▶ Abschn. 41.1.7). Diese sind wie folgt:

- erhöhte Inzidenz von Malignomen,
- »post-transplantat diabetes mellitus« (PTDM),
- Nebenwirkungen durch Glukokortikoide (Katarakt, Osteoporose, Hypertension),
- opportunistische Infektionen,
- Neurotoxizität,
- Nephrotoxizität,
- gastrointestinale Nebenwirkungen.

Das Risiko, ein Malignom zu entwickeln, beträgt ca. 3% innerhalb der ersten 3 Jahre nach Transplantation und ist damit gegenüber der Normalbevölkerung deutlich erhöht. Zudem entwickeln Patienten nach der Transplantation häufig einen insulinabhängigen »post-transplantat diabetes mellitus« (PTDM). Neben den Nebenwirkungen durch die Glukokortikoideinnahme treten durch die

kontinuierliche Immunsuppression vermehrt opportunistische Infektionen bei den Patienten auf. Häufig beobachtete neuro-, nephrotoxische und gastrointestinale Nebenwirkungen sind meist Folge der spezifischen immunsuppressiven Therapie.

Weiterführende Literatur

- Battiston B, Tos P, Clemente A, Pontini, I. (2007) Actualities in big segments replantation surgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 60(7): 849–855
- Baumgartner R (1981) Management of bilateral upper limb amputees. *Orthop Clin North Am* 12: 971–976
- Baumgartner R, Botta P (2008) Amputation und Prothesenversorgung, 3. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Beasley RW (1990) Upper limb prostheses. In: McCarthy JG (Hrsg) *Plastic surgery, vol. 7: the hand*. Saunders, Philadelphia, S 4384–4408
- Belsky MB, Ruby LK (1986) Double level amputation: Should it be replanted? *J. Reconstr Microsurg* 2: 159–162
- Berger A, Hierner R (Hrsg) (2009) *Plastische Chirurgie, Band IV: Extremitäten*. Springer, Heidelberg
- Berger A, Kolacny M, Passl R, Piza H (1980) Die Replantation ganzer Extremitäten – Pro und Contra. *Hefte Unfallheilkunde* 148: 557–564
- Berger A, Meissl G, Walzer R (1981) Bemerkungen und Gedanken zur Bewertung der Ergebnisse in der Replantationschirurgie. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 13: 70–74
- Brandacher G, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H (2009) The innsbruck hand transplant program: update at 8 years after the 1st transplant. *Transplant Proc* 41(2): 491–494
- Braun C, Ollinger A, Bühren V (1992) »Makroreplantationen« an der oberen Extremität. *Hefte Unfallheilkunde* 218: 10–15
- Brenner P, Reichert B, Berger A (1994) Kriterien zur frühen Reamputation von Großreplantaten. (inkl. Eingeladene Kommentare von G. Pirer und M. Frey) *Acta Chir Austriaca* 26: 99–108
- Brunelli G (1981) Ischemia and Replantation. Liviana, Padua
- Brunelli G, Vigasio A, Brunelli F (1985) L'élémentarisation musculaire dans les réimplantations et les revascularisations »LIMITE« de l'avant-bras. *Ann Chir Main* 4:337–339
- Celoria G, Zarfós K, Berman J (1990) Effects of acute lower limb ischemia on femoral venous flow. *Angiology* 41(6) : 439–444
- Chen ZW, Meyer VE, Kleinert HE, Beasley RW (1981) Present indications and contraindications for replantation as reflected by long-term functional results. *Orthop Clin N Amer* 12:849–870
- Chen ZW, Han YL (1987) Major limb replantation. In: Urbaniak JR (Hrsg) *Microsurgery for major limb reconstruction*. Mosby, St. Louis, S 22–26
- Chernofsky MA, Sauer PF (1990) Temporary ectopic implantation. *J Hand Surg* 15A: 910–914
- Chuang, DC, Lai JB, Cheng SL, Jain V, Lin CH et al. (2001) Traction avulsion amputation of the major upper limb: a proposed new classification, guidelines for acute management, and strategies for secondary reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 108: 1624–1638
- Colen SR, Romita MC, Godfrey NY, Shaw WW (1983) Salvage replantation. *Clin Plast Surg* 10: 125
- Daigle JP, Kleinert JM (1991) Major limb replantation in children. *Microsurgery* 12: 221
- Flurry M, Melissinos EG, Livingston CK (2008) Composite forearm free flaps to preserve stump length following traumatic amputations of the upper extremity. *Ann Plast Surg* 60: 391–394
- Gallico GG (1990) Replantation and revascularization of the upper extremity. In: McCarthy JG (Hrsg) *Plastic surgery, vol 7: the hand*, Saunders, Philadelphia, S 4355–4383
- Godina M, Bajec J, Baraga A (1986) Salvage of the mutilated upper extremity with temporary ectopic implantation of the undamaged part. *Plast Reconstr Surg* 78: 295–299
- Gold AH, Lee GW (1991) Upper extremity replantation: current concepts and patient selection. *J Trauma* 21(7): 551–557
- Goldner RD, Fitch RD, Nunley JA, Aitken MS, Urbaniak JR (1987) Demographics and replantation. *J Hand Surg Am* 12(5): 961–965
- Goldner RD, Nunley J A (1992) Replantation proximal to the wrist. *HandClin* 8(3): 413–425
- Graham B, Adkins P, Tsai TM, Firrell J, Breidenbach WC (1998) Major replantation versus revision amputation and prosthetic fitting in the upper extremity: a late functional outcomes study. *J Hand Surg Am* 23(5): 783–791
- Grieb NJ, Axmann HD, Bargmann HJG (1993) Primäre Rekonstruktion der linken Hand durch heterotope Replantation der rechten Mittelhand. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 25: 85
- Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN (1984) Problems in the Management of Type III (Severe) Open fractures: a new classification of type III open fractures. *J. Trauma* 24: 742
- Hanel DP, Chin SH (2007). Wrist level and proximal-upper extremity replantation. *Hand Clin* 23(1) 13–21
- Haws MJ, Erdmann D, Brown RE (1996) Above-elbow arm replantation during pregnancy. *Ann Plast Surg* 36(1): 939–936.
- Hidalgo DA, Shaw W W, Colen SR (1987) Upper limb replantation. In: Shaw WW, Hidalgo DA (Hrsg) *Microsurgery in trauma*. Futura Publishing Company: Mount Kisco, New York, S 71–88
- Hierner R, Berger A, Brenner P (1998) Überlegungen zum Management von subtotalen und totalen Makroamputationen an der oberen Extremität – Rechtfertigt das Ergebnis den therapeutischen Aufwand? *Unfallchirurg* 101: 184–192
- Hierner R, Berger A (2005) Long-term results after total and subtotal macroamputation at the upper extremity. *Eur J Plast Surg* 28 119–130
- Hovius S E, Hofman A, van Urk H, van der Meulen JC (1991) Acute management of traumatic forequarter amputations: case reports. *J Trauma* 31(10): 1415–1419
- Ipsen T, Lundkvist L, Barfred T, Pless J (1990) Principles of evaluation in microsurgical treatment of major limb amputations – A follow-up study of 26 consecutive cases 1978–1987. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 24: 75–80
- Jäger SH, Tsai TM, Kleinert HE (1981) Upper extremity replantation in children. *Orthop Clin N Amer* 12: 897–907
- Jones NF, Schneeberger S (2009) Arm transplantation: prospects and visions. *Transplant Proc* 41(2): 476–480
- Khalil AA, Aziz FA, Hall JC (2006). Reperfusion injury. *Plast Reconstr Surg* 117(3): 1024–1033
- Kerrigan CL, Stotland MA (1993) Ischemia reperfusion injury: a review. *Microsurg* 14: 165–175
- Kleinert JM, Graham B (1990) Macroreplantation: an overview. *Microsurgery* 11(3): 229–233
- Koul AR, Cyriac A, Khaleel VM, Vinodan K (2004) Bilateral high upper limb replantation in a child. *Plast Reconstr Surg* 113(6): 1734–1738
- Kutz JE, Sinclair SW, Rao VK, Calier A (1982) Cross-hand replantation: preliminary case report. *J Microsurg* 3: 4–6
- Kutz JE, Ames EL (1987) Major limb replantation in the upper extremity. In: Urbaniak JR (Hrsg) *Microsurgery for major limb reconstruction*. Mosby, St. Louis, S 27–29
- Littler JW (1976) On making a thumb: one hundred years of surgical effort. *J Hand Surg Am* 1(1): 35–51
- Lanzetta M, Dubernard JM (2007) *Hand transplantation*. Springer, Berlin
- Malcolm OP (1988) Compartment syndromes and reperfusion injury. *Surg Clin N Amer* 68: 853–864
- Malt RA, McKahnn CF (1964) Replantation of severed arms. *JAMA* 189: 716
- Mantkelow RT (1993) Functioning Free Muscle Transfer. In Green DP (Hrsg) *Operative hand surgery*. Churchill Livingstone, New York, S 1159–1177
- Marquardt E (1972) Steigerung der Effektivität von Oberarmprothesen durch Winkelosteotomie. *Rehabilitation* 11: 244–248
- Marzi I, Bühren V (1992) Pathophysiologische Mechanismen des Ischämie-, bzw. Reperfusionssyndroms nach Replantation- lokale und systemische Auswirkungen. *Hefte Unfallheilkunde* 218: 5–10
- Matsuda M, Shibara H, Kato N (1978) Long-term results of replantation of 10 upper extremities. *World J Surg* 2: 603–612
- Matsuda M, Kato N, Hosoi M (1981) Problems in replantation of limbs amputated through the upper arm region. *J Trauma* 21: 403
- Maurer PC, Pflugbeil G, Sommoggy v S, Graf PR (1993) Langzeitergebnisse nach Replantation von Extremitätenteilen. *Langenbecks Arch Chir Suppl* (Kongreßbericht)

- Meyer VE (1985) Upper extremity replantation – Basic principles, surgical technique, and strategy. Churchill Livingstone, New York
- Mitz V, Lemerle JP, Leviet D, Vilain R (1990) Réimplantation et dévascularisation: Urgence V.O.P (vaisseau-os-peau). *Chirurgie* 116: 639–647
- Nast-Kolb D, Jochum M, Waydhas C, Schweiberer L (1991) Die klinische Wertigkeit biochemischer Faktoren beim Polytrauma. *Hefte Unfallheilkde* 215
- Neglén P, Jabs CM, Eklöf B (1989). Plasma metabolic disturbances and reperfusion injury following partial limb ischaemia in man. *Eur J Vasc Surg* 3(2): 165–172
- Ninkovic M, Sucur D, Starovic B, Markovic S (1992) Arteriovenous fistulae after free flap in a replanted hand. *J Hand Surg [Br]* 17(6): 657–659
- Ninkovic M, Deetjen H, Öhler K, Anderl H (1995) Emergency free tissue transfer for severe upper extremity injuries. *J Hand Surg [Br]* 20(1): 53–58
- Ninkovic M, Hussl H, Hefel L, Anderl H (1995) Zeitpunkt der Versorgung schwerer Verletzungen der oberen Extremität durch freie Lappen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 27(6): 297–306
- Ninkovic M, Schöller T, Wechselberger G, Otto A, Sperner G, Anderl H (1997) Primary flap closure in complex limb injuries. *J Reconstr Microsurg* 13(8): 575–583
- Ninkovic M, Mooney EK, Ninkovic M, Klestil T, Anderl A (1999) A new classification for the standardization of nomenclature in free flap wound closure. *Plast Reconstr Surg* 03(3): 903–914
- Oestern HJ, Tscherne H, Sturm J, Nerlich M (1985) Klassifizierung der Verletzungsschwere. *Unfallchirurg* 88: 465–472
- Oliveira IC, Barbosa RF, Ferreira PC, Silva PN, Choupina MP (2009) The use of forearm free _let _ap in traumatic upper extremity amputations. *Microsurgery* 29(1): 8–15
- Pang CY, Forrest CR, Mounsey R (1993) Pharmacology intervention in ischemia-induced perfusion injury in the skeletal muscle. *Microsurg.* 14 176–182
- Peacock K, Tsai TM (1987) Comparison of functional results of replantation versus prosthesis in a patient with bilateral arm amputation. *Clin Orthop Relat Res*, S 153–159
- Pellegrini VD Jr, McCollister EC (1990) The fat embolism syndrome. In: McCollister EC (Hrsg) *Surgery of the Musculoskeletal System*, vol I. Churchill Livingstone, New York, 37–54
- Pillet J (1987) Digital and hand prosthetic fitting. In: Urbaniak JR (Hrsg) *Microsurgery for major limb reconstruction*. Mosby, St. Louis, S 46–50
- Piza-Katzer H, Partsch H, Urbanek A, Wenzel-Hora BI, Walzer RL (1987) Zur Frage der Lymphgefäßregeneration nach Replantation und freier mikrovasculärer Lappenplastik. *Vasa* 16: 60–66
- Piza-Katzer H, Ninkovic M, Pechlaner S, Gabl M, Ninkovic M, Hussl H (2002) Double hand transplantation: functional outcome after 18 months. *J Hand Surg [Br]* 27(4): 385–390
- Piza-Katzer H, Hussl H, Ninkovic M, Pechlaner S, Gabl M, Ninkovic M, Schneeberger S, Margreiter R (2002) Bilateral hand transplantation. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 34(2): 75–83
- Rohrich RJ, Ehrlichman RJ, May Jr JW (1991). Sensate palm of hand free flap for forearm length preservation in nonreplantable forearm amputation: long-term follow-up. *Ann Plast Surg* 26(5): 469–473
- Russel RC, O'Brien B, Morrison WA, Pamamull G, McLeod A (1984) The late functional results of upper-limb revascularization and replantation. *J Hand* 9A 623–633
- Santha E, Szarvas J, Varga G, Varga M (1988) Autotransplantation einer oberen Extremität an die Gegenseite. *Handchir* 20: 259–262
- Scharnagel E (1986) Extremitätenreplantation unter besonderer Berücksichtigung flankierender Maßnahmen. *Handchir* 18: 275–288
- Schmit-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (Hrsg) (2001) *Tscherne Unfallchirurgie*, Band VIII/2: Hand. Springer, Berlin
- Schneeberger S, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, Loescher W, Zelger B, Brandacher G, Ninkovic M, Bonatti H, Boesmueller C, Mark W, Margreiter R (2006) Status 5 years after bilateral hand transplantation *Am J Transplant* 6(4): 834–841
- Sears HH, Jacobsen SC (1987) Upper extremity prosthetics with emphasize on the utah artificial arm. in: Urbaniak JR (Hrsg) *Microsurgery for major limb reconstruction*. Mosby, St. Louis, S 51–53
- Shenaq SM, Krouskop MT, Stal S, Spira M (1987) Salvage of amputation stumps by secondary reconstruction utilizing microsurgical free-tissue transfer. *Plast Reconstr Surg* 79: 861–870
- Smith RJ, Malt RA, Harris WH, Remensnyder JP (1987) Long-term results of upper-limb replantation. In: Urbaniak JR (Hrsg) *Microsurgery for major limb reconstruction*. Mosby, St. Louis, S 30–37
- Steinau HU (1988) Major limb replantation and postischemia syndrome. investigation of acute ischemia-induced myopathy and reperfusion injury. Springer, Berlin, Heidelberg
- Südkamp N, Haas N, Flory PJ, Tscherne H, Berger A (1989) Kriterien der Amputation, Rekonstruktion und Replantation bei Mehrfachverletzten. *Chirurg* 60 774–781
- Täger G, Nast-Kolb D (2000). Amputationen und Prothesenversorgung der oberen Extremität. *Chirurg* 71: 727–742
- Tamai S (1982) Twenty years' experience of limb replantation—review of 293 upper extremity replants. *J Hand Surg* 7: 549–556
- Tubiana R (1981) Krukenberg's Operation. *Orthop Clin N Amer* 12: 819–826
- Van der Wilde RS, Wood MB, Zu ZG (1992) Hand replantation after 54 hours of cold ischemia: a case report. *J Hand Surg Am*, 17(2): 217220
- Wachsmuth W, Wilhelm A (Hrsg) (1972) *Allgemeine und spezielle chirurgische Operationslehre*, 10. Band, Teil 3: Operationen an der Hand. Springer, Berlin
- Waikakul S, Vanadurongwan V, Unnanuntana A (1998) Prognostic factors for major limb re-implantation at both immediate and long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 80(6): 1024–1030
- Wang SH, Young KF, Wei JN (1981) Replantation of severed limbs clinical analysis of 91 cases. *J Hand Surg Am* 6(4): 311–318
- Wiberg M, Hazari A, Ljungberg C, Pettersson K, Backman C et al. (2003) Sensory recovery after hand reimplantation: a clinical, morphological, and neurophysiological study in humans. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 37(3): 163–173
- Wijayaratna S BT, Suraweera HJ, Lamawansa MD, Mudalige SP, Esufali ST (2008) Post-operative critical care and outcomes of limb replantation: experience in a developing country. *Injury* 39(2): 203–208
- Wood MB, Cooney WP (1986) Above elbow limb replantation: functional results. *J Hand Surg* 11A: 682–687
- Wynn Parry CB (1973) *Rehabilitation of the Hand*. Butterworths, London
- Yang KF (1984) Autotransplantation of severed Limbs. A case report. *J Reconstr Microsurg* 1: 21–24