

Angioarchitektur von Ulna und Radius und ihre praktische Relevanz

J. Menck¹, H. W. Schreiber², T. Hertz¹, N. Bürgel¹

¹ Abteilung für Neuroanatomie (ehemal. Direktor: Prof. Dr. W. Lierse), Anatomisches Institut der Universität Hamburg

² Abteilung für Allgemeinchirurgie (emerit. Direktor: Prof. Dr. H. W. Schreiber), Chirurgische Universitätsklinik und Poliklinik Hamburg

Eingegangen: 11. Januar 1993

Arterial angioarchitecture of the human ulna and radius and its clinical importance

Abstract. The periosteal and endosteal blood supply of the human ulna and radius was investigated by anatomical dissection. The main artery concerned is the anterior interosseous artery. It supplies the diaphysis of ulna and radius; its branches feed the distal one-fourths of both the ulna and the radius. The proximal one-fourth of the ulna is supplied by the ulnar artery, the ulnar recurrent artery and the recurrent interosseous artery. Periosteal branches of the common interosseous artery, the ulnar artery and the recurrent interosseous artery supply the proximal one-fourth of the radius. In both bones the main branch of the nutrient artery has an ascending course. The anterior interosseous artery, as the main artery of the periosteal and endosteal supply of the human ulna and radius, is important in transplantation and reconstruction, especially with a view to reducing the rate of pseudarthrosis. When osteosynthesis is planned so-called LC-DC plates should be chosen to preserve the periosteal branches. When a vascularized bone graft is taken from the forearm the vascularization of the remaining bones has to be considered. The vascularity of this area allows various options in grafting.

Key words: Ulna – Radius – Blood vessels – Bone graft – Pseudarthrosis

Zusammenfassung. Ulna und Radius haben ein zusammenhängendes arterielles Versorgungssystem. Das proximale Viertel der Ulna erhält Zuflüsse aus der A. ulnaris, der A. recurrens ulnaris und der A. interossea recurrens. Ihre Diaphyse wird hauptsächlich aus der A. interossea anterior versorgt. Die arterielle Versorgung des distalen Fünftels erfolgt durch Endäste der A. interossea anterior mit Unterstützung durch die A. ulnaris. Die A. nutricia

stammt meist aus der A. interossea anterior, tritt oberhalb der Ulnamitte in die Corticalis und zieht nach proximal. Intramedullär hat sie einen aufsteigenden und einen schwächeren absteigenden Ast. Das proximale Radiusviertel wird durch einen R. periostalis versorgt, der zumeist aus der A. interossea communis stammt. Weiterhin wird das proximale Fünftel durch Rr. periostales aus der A. ulnaris und der A. interossea recurrens versorgt. Die Diaphyse erhält Zuflüsse aus der A. interossea anterior. Das distale Fünftel wird hauptsächlich durch Endäste der A. interossea anterior versorgt, unterstützt durch die A. radialis und die A. ulnaris. Die A. nutricia aus der A. interossea anterior zieht ab knapp 40% der Radiuslänge in der Corticalis nach proximal und hat einen stärkeren aufsteigenden und einen schwächeren absteigenden Ast. Die A. interossea anterior ist das Hauptgefäß für die Versorgung beider Unterarmknochen. Sie gilt es sowohl bei der Transplantation als auch bei der operativen Rekonstruktion zu beachten. Zur Schonung der Rr. periostales sind bei der Osteosynthese sog. LC-DC-Platten empfehlenswert. Beim Heben eines vaskularisierten Knochentransplantates ist auch auf die arterielle Versorgung der verbleibenden Knochenanteile zu achten; gleichwohl sind durch die Angioarchitektur verschiedene Möglichkeiten der Transplantation gegeben.

Die arterielle Versorgung der Unterarmknochen ist von chirurgischer Bedeutung bei der Frakturheilung und der Knochentransplantation, hier v.a. beim vaskularisierten Transfer. Ein wichtiger Faktor zur Verminderung der Pseudarthrosenrate und zur Vermeidung der verzögerten Bruchheilung nach Unterarmfrakturen ist neben der Beachtung der Stabilität und Sterilität die arterielle Durchblutung [4, 6]. Die Vaskularität ist von entscheidender Bedeutung für eine komplikationslose Frakturheilung [16]. Entsprechendes gilt in besonderer Weise für den vaskularisierten Knochentransfer [8, 18]. Dabei ist einerseits ein geeignetes vaskularisiertes Transplantat zu heben, andererseits auch auf eine ausreichende arterielle Versor-

Herrn Professor Dr. W. Lierse in Dankbarkeit gewidmet
Korrespondenz an: Dr. J. Menck, Alte Landstraße 72, D-22941 Bargtheide

gung der verbleibenden Donatorregion zu achten. In der vorliegenden Arbeit wird die arterielle Angioarchitektur von Ulna und Radius mit Hinweisen zur chirurgisch-klinischen Anatomie dargestellt.

Material und Methode

Die Untersuchungen zur periostalen Versorgung von Ulna und Radius erfolgten an 26 Armen von Leichen beiderlei Geschlechts im Alter von 65 bis 85 Jahren. Zur Darstellung der arteriellen Gefäße kam bei 24 Präparaten Berliner-Blau-Gelatine zur Anwendung und bei 2 Präparaten rot gefärbtes PlastogenG®. Dabei wurden 20 Präparate (18 mit Berliner-Blau-Gelatine und 2 mit PlastogenG®) über die A. brachialis injiziert. Die selektive Injektion erfolgte bei den restlichen 6 Präparaten mit Berliner-Blau-Gelatine in je 2 Fällen über die A. radialis, die A. ulnaris und die A. interossea anterior. Nach Aushärtung der Injektionsmasse wurde der Weichteilmantel präparatorisch entfernt und die periostalen Gefäße dargestellt und dokumentiert.

Zur Untersuchung der intraossären Gefäßversorgung wurden 6 Präparate mit einer guten Füllung der eintretenden A. nutricia longitudinal gesägt. Die Freilegung der endostalen Gefäße im Markraum gelang mit einer hyperbaren Wasserspülung. Die Bestimmung von Lokalisation und Anzahl der Foramina nutricia erfolgte an 100 Ulnae und an 100 Radii (jeweils 50 linke und 50 rechte) aus dem Ossarium des Anatomischen Instituts der Universität Hamburg.

Befunde

Für die periostalen und intraossären Gefäße zur Versorgung von Ulna und Radius zeigen sich regelhafte Befunde (Abb. 1). Die Sektoren der Knochen sind nach der Angioarchitektur ausgerichtet.

Ulna

Das proximale Viertel der Ulna wird auf ihrer ventralen Fläche von einem R. periostalis der A. ulnaris versorgt. Dieser Ast entspringt dem Anfangsteil der A. ulnaris, zieht aufsteigend nach proximal und teilt sich. Der Hauptteil versorgt die ventrale Fläche des proximalen Viertels unterhalb des Processus coronoideus, ein anderer Ast zieht nach radial zum Collum radii (Abb. 2).

Die mediale Fläche des proximalen Viertels wird von der A. recurrens ulnaris versorgt. Sie entspringt der A. ulnaris in Höhe der Tuberositas ulnae. Die A. recurrens ulnaris teilt sich in 2 Äste. Ihr R. anterior verläuft auf dem M. brachialis und anastomosiert mit der A. collateralis ulnaris inferior. Der R. posterior, der den N. ulnaris begleitet, steigt mediodorsal des Processus coronoideus und am medialen Rand des Olecranon im Sulcus nervi ulnaris nach proximal auf, um dann mit der A. collateralis ulnaris superior zu anastomosieren. Während seines Verlaufs gibt er Rr. periostales ab; auf dem proximal-dorsalen Teil vom Olecranon anastomosieren einige dieser Rr. periostales mit Ästen der A. interossea recurrens.

Die dorsolaterale Fläche des proximalen Viertels wird durch die A. interossea recurrens versorgt. Sie entspringt der A. interossea posterior bei den untersuchten Präparaten häufig vor ihrem Durchtritt durch die Membrana

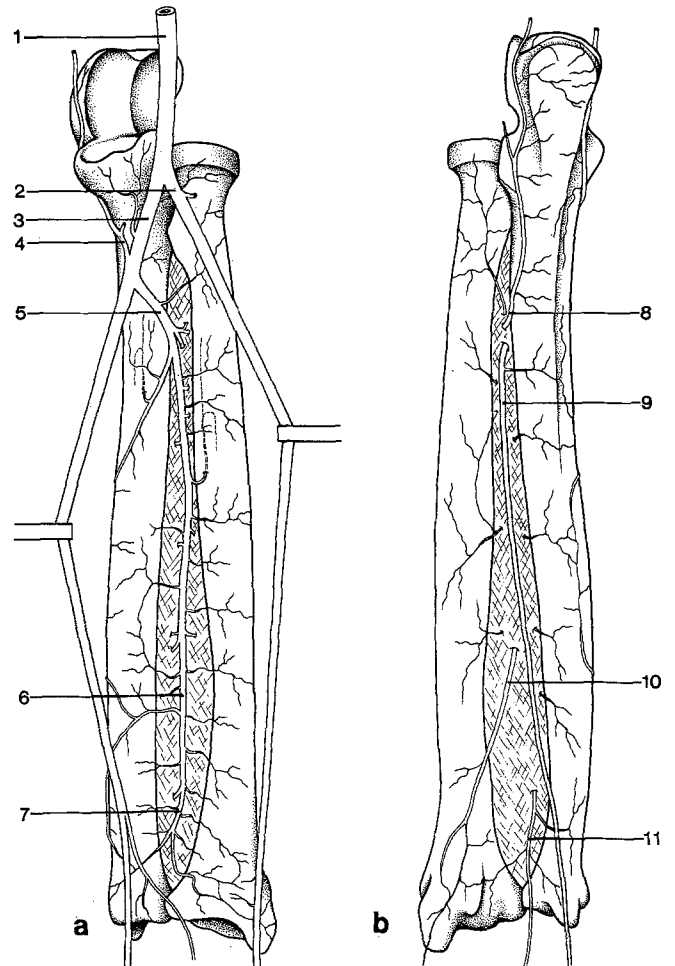


Abb. 1 a, b. Schematische Darstellung der arteriellen Versorgung von Ulna und Radius: **a** Ventralansicht; **b** Dorsalansicht; 1. A. brachialis; 2. A. radialis; 3. A. ulnaris; 4. A. recurrens ulnaris (mit R. anterior und R. posterior); 5. A. interossea communis; 6. A. interossea anterior; 7. R. anterior a. interossee anterioris; 8. A. interossea recurrens; 9. A. interossea posterior; 10. R. perforans a. interossee anterioris; 11. R. posterior a. interossee anterioris. Die A. interossea anterior ist das Hauptgefäß zur Versorgung der langen Röhrenknochen des Unterarms. Sie ist sowohl bei der Transplantation als auch bei der Rekonstruktion zu beachten

interossea. Die A. interossea recurrens zieht aufsteigend dorsal der Incisura radialis und der Incisura trochlearis zum Olekranon, um dann ins Rete articulare cubiti einzustrahlen. Während ihres Verlaufs gibt sie mehrere Äste ab. Sie versorgen die dorsolaterale Fläche des proximalen Viertels. Auf dem proximal-dorsalen Olekranon anastomosieren ihre Rr. periostales mit den Ästen des R. posterior der A. recurrens ulnaris.

Die Facies anterior der Ulnadiaphyse wird in ihrer proximalen Diaphysenhälfte hauptsächlich von einem kaliberstarken R. periostalis versorgt. Dieser Ramus hat 3 verschiedene Ursprünge: In 80% der Fälle entspringt er aus der A. interossea anterior, in 12% aus der A. interossea communis und in 8% aus der A. interossea posterior vor ihrem Durchtritt durch die Membrana interossea. Dieser kaliberstarke R. periostalis verläuft absteigend auf der Facies anterior ulnae nach medial und anastomo-

siert schließlich auf der Facies medialis mit anderen Rr. periostales. Er gibt während seines Verlaufs mehrere Seitenäste ab, die teilweise den Margo anterior überschreiten. Die distale Diaphysenhälfte der Facies anterior erhält Rr. periostales aus der A. interossea anterior; sie ziehen über die Membrana interossea zum Margo anterior. Sie spalten sich auf, anastomosieren untereinander und reichen teilweise auf die Facies medialis. Häufig sind auch Anastomosen zwischen dem kaliberstarken R. periostalis der proximalen Diaphyse und einem gut ausgeprägten R. periostalis der distalen Diaphyse ausgebildet. Diese Anastomose liegt meist auf der Facies medialis. Die Facies medialis wird durch Rr. periostales versorgt; sie kommen sowohl von der Facies anterior als auch von der Facies posterior. Bei einem Präparat gibt es eine weitere Versorgung durch die A. ulnaris. Sie gibt dabei zusätzlich 3 direkte Äste zur Versorgung der Facies anterior und der Facies medialis ab. Zwei dieser Rami anastomosieren auf der Facies medialis nahe am Margo posterior (Abb. 3).

Ein kleiner, proximaler Teil der Facies posterior bis etwas unterhalb der Perforationsstelle der A. interossea posterior durch die Membrana interossea wird von Rr. periostales aus der A. interossea recurrens und der A. interossea posterior versorgt. Der Hauptteil der Facies posterior wird von der A. interossea anterior versorgt. Sie gibt während ihres Verlaufs ventral der Membrana interossea mehrere periostale Gefäße ab; sie perforieren die Membrana interossea und ziehen zum Margo interosseus. Auf der Facies posterior teilen sie sich in aufsteigende, absteigende und horizontale Ästchen; sie erreichen teilweise den Margo posterior und überschreiten ihn.

Das distale Fünftel der Ulna wird vorwiegend von den Endästen der A. interossea anterior versorgt. Die obere ventrale Fläche wird von Ästchen aus dem R. anterior gespeist; er teilt sich dann in einen radialen und einen ulnaren Anteil. Der ulnare Anteil zieht zur medialen Fläche. Es sind auch Anastomosen mit proximalen Rr. periostales aus der A. interossea anterior ausgebildet. Im distalen Bereich bekommt die Versorgung der ventralen Fläche durch die A. interossea anterior eine Unterstützung von Rr. periostales aus der A. ulnaris. Die dorsale Fläche des distalen Fünftels erhält einen arteriellen Zufluß durch Rr. periostales aus dem R. posterior a. interossee anterioris, der nach distal zum Rete carpalae dorsale zieht. Teilweise erreichen seine Rami die mediale Ulnafläche.

Die A. nutricia entspringt bei den untersuchten Fällen meistens aus dem kaliberstarken R. periostalis, der auf der Facies anterior nach distal zieht und in 80% aus der A. interossea anterior, in 12% aus der A. interossea communis und in 8% aus der A. interossea posterior stammt (s. oben). Nur bei einem Präparat kommt die A. nutricia aus dem R. periostalis der A. ulnaris für das ventrale proximale Viertel. Die A. nutricia zieht zu über 90% medial des kaliberstarken R. periostalis mit einem dorsal konvexen Bogen in die Kompakta (Abb. 4).

Bei 94 von 100 untersuchten Ulnae aus dem Ossarium liegt ein Foramen nutricium vor in der durchschnittlichen Höhe von 42,3% der Ulnalänge im ventralen Bereich, 5° von der vorderen Sagittalebene nach lateral. Der Canalis nutricius hat bei allen Präparaten einen aufsteigenden

Verlauf. In der Kompakta steigt die A. nutricia bei den injizierten Präparaten nach proximal auf. Während ihres intrakompaktären Verlaufs werden auch kleine Rami abgegeben; sie ziehen zentralwärts in den Markraum und spalten sich an seiner Innenfläche auf. Die A. nutricia verläuft 2–4 cm intrakompaktär und wird ab der Hälfte ihres intrakompaktären Verlaufs nur noch von einer dünnen Kompaktalamelle bedeckt. Der Hauptteil der A. nutricia zieht einige cm nach proximal bis zum Markraumrand. Der absteigende Ast ist zarter ausgebildet und zieht nach dem Eintritt der A. nutricia in dem Markraum bogenförmig nach distal. Dann verläuft er geschlängelt im zentralen Bereich, teilweise endostal, teilweise mitten im Markraum. Er ist fast bis zum distalen Markraumrand aufzufinden.

Radius

Das proximale Viertel des Radius wird auf der ventralen Fläche von einem rückläufigen Ast versorgt; er stammt zu über 90% aus der A. interossea communis und jeweils in einem Fall aus der A. interossea posterior bzw. A. ulnaris. Er zieht schräg aufsteigend nach lateral und gibt mehrere Ästchen ab. Im Bereich des ventralen Collum radii erhält diese Versorgung eine Unterstützung durch einen R. periostalis, der von dem periostalen Versorgungsast der A. ulnaris für das proximale Viertel der Ulna abgeht (vgl. Abb. 2). Zwischen Ulna und Radius ist er schlauffig in Fettgewebe gebettet und zieht dann am Collum radii von medial nach lateral.

Die dorsale Fläche des proximalen Radiusviertels wird durch einen R. periostalis versorgt, der aus der A. interossea recurrens abgeht. Bei den untersuchten Präparaten entsprang dieser R. periostalis meist noch vor der Membrana interossea aus der A. interossea recurrens. Er zieht schräg aufsteigend zum Collum radii, gibt während seines Verlaufs allseitig Ästchen ab und anastomosiert auf der lateralen Seite mit den von ventral kommenden Rr. periostales.

Die Facies anterior der Diaphyse wird durch mehrere Rr. periostales aus der A. interossea anterior versorgt. Sie ziehen über die Membrana interossea, zweigen sich auf der Facies anterior in ascendierende, descendierende und horizontale Äste auf. Diese breiten sich über die Facies anterior bis zum Margo anterior aus, den sie teilweise überschreiten (Abb. 5).

Die Facies posterior wird ebenfalls durch Rr. periostales aus der A. interossea anterior versorgt; sie perforieren die Membrana interossea, verzweigen sich und anastomosieren miteinander. Vereinzelt erstrecken sich auch Rr. periostales über den Margo posterior zur Facies lateralis.

Die Facies lateralis radii erhält meistens keine direkten periostalen Gefäße; sie wird aus den Rr. periostales der A. interossea anterior versorgt, die von der Facies anterior über den Margo anterior bzw. von der Facies posterior über den Margo posterior zur Facies lateralis laufen und dort teilweise miteinander anastomosieren. Bei einem Präparat erhält die Facies lateralis eine Verstärkung der arteriellen Versorgung durch einen direkten Zufluß aus der A. radialis (Abb. 6).

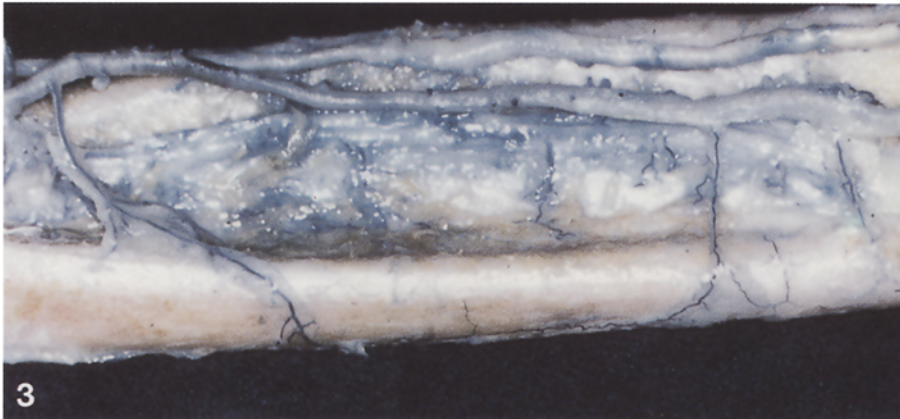
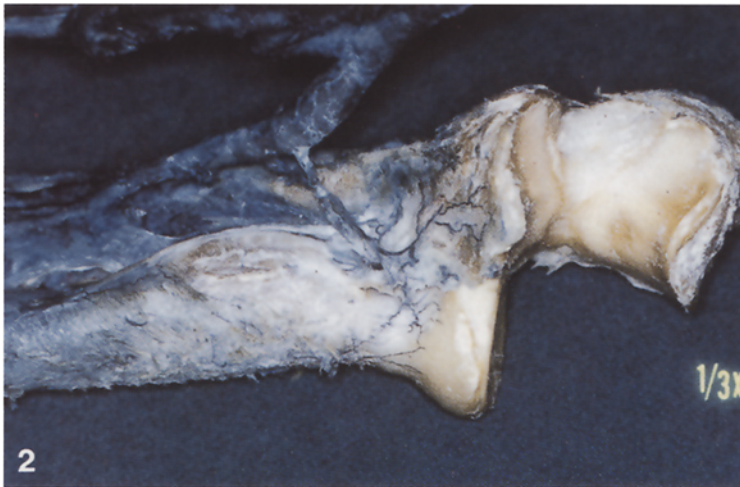


Abb. 2. Ein R. periostalis aus der A. ulnaris versorgt proximal sowohl die mediale Ulnafläche als auch das Collum radii (Ventralansicht auf das proximale Viertel von Ulna und Radius)

Abb. 3. Im Einzelfall kann die A. ulnaris zusätzlich Rr. periostales zur Ulnadiaphyse abgeben, die miteinander eine langgestreckte Anastomose bilden (Ansicht auf Facies anterior und Facies medialis einer linken Ulna; linker Bildrand=proximal)

Abb. 4. Die A. nutricia ulnae zieht medial des kaliberstarken R. periostalis der proximalen Diaphyse bogenförmig in die Kompakta (Ventralansicht auf den proximalen Diaphysenabschnitt einer linken Ulna)

Abb. 5. Rr. periostales aus der A. interossea anterior versorgen die Diaphysen von Ulna und Radius (Ventralansicht auf einen distalen Diaphysenabschnitt von Radius (*links*) und Ulna (*rechts*) mit A. interossea anterior)

Abb. 6. Die Facies lateralis radii kann im Einzelfall zusätzlich durch einen R. periostalis der A. radialis versorgt werden (Ansicht auf Facies lateralis eines rechten Radius; linker Bildrand=proximal)

Tabelle 1. Schematische Übersicht der periostalen Gefäßversorgung

	Ulna	Radius
proximales Viertel	A. ulnaris A. recurrens ulnaris A. interossea recurrens	A. interossea communis A. ulnaris A. interossea recurrens
Diaphyse	hauptsächlich: A. interossea anterior	A. interossea anterior
distales Fünftel	Endäste der A. interossea anterior (Unterstützung durch A. ulnaris)	Endäste der A. interossea anterior (Unterstützung durch A. radialis)

Das distale Fünftel des Radius wird hauptsächlich durch die Endäste der A. interossea anterior versorgt. Die Einteilung des distalen Fünftels ist gemittelt, so beginnt auf der dorsalen Fläche die Versorgung durch die Endäste etwas höher, dafür auf der ventralen Fläche etwas weiter distal.

Der R. anterior a. interossee anterioris gibt Ästchen zur Versorgung der ventralen Fläche des Abschnitts ab. Nach der Teilung in einen ulnaren und einen radialen Anteil zieht der radiale Anteil zum Radius und bildet mit seinen Rr. periostales auf der distalen Ventralfläche ein horizontal ausgerichtetes Anastomosennetz, das mit seinen Ausläufern bis zum Processus styloideus reicht. Einzelne Äste können in das Rete carpi ventrale einstrahlen. Unterstützt wird die Versorgung durch Rr. periostales aus der A. radialis, die oberhalb des Processus styloideus zum lateralen Teil der Ventralfläche ziehen. Häufig wird der mediale Teil der Ventralfläche in Höhe der Incisura ulnaris von Rr. periostales der A. ulnaris mitversorgt.

Auf der dorsalen Seite wird etwas mehr als das distale Fünftel hauptsächlich durch den R. perforans a. interossee anterioris versorgt. Er durchbricht die Membrana interossea, zieht nach laterodistal und erreicht das Radiusperiost bei ca. 75% der Radiushöhe. Der R. perforans verläuft über den Radius in Richtung Processus styloideus und gibt während seines Verlaufes Rr. periostales ab, die untereinander anastomosieren. Weitere Anastomosen sind mit Rr. periostales aus dem R. posterior a. interossee anterioris auf dem mediodistalen Teil dieses Radiusabschnitts ausgebildet. Der R. posterior a. interossee anterioris beteiligt sich, wie der R. perforans, an der Bildung des Rete carpale dorsale. Er gibt während seines Verlaufes auch Rr. periostales zum Radiusperiost ab.

Die A. nutricia entstammt bei den untersuchten Präparaten immer aus der A. interossea anterior. Sie zieht häufig mit einem nach distal konvexen Bogen in das Foramen nutricium, manchmal ist ihr Verlauf auch ascendierend oder horizontal.

Bei 95 von 100 untersuchten Radii aus dem Ossarium ist ein Foramen nutricium ausgebildet in Höhe von 37,7% der Radiuslänge im ventralen Bereich, gut 30° von der vorderen Sagittalebene nach medial. Der Canalis nutricius zieht bei allen untersuchten Radii nach proximal.

Die A. nutricia hat bei den Präparaten im Canalis nutricius einen kurzen (1–2 cm) proximalen Verlauf. In seinem letzten Teil wird sie nur von einer dünnen Kompaktalamelle bedeckt. Kleine Rr. periostales können

während dieses Verlaufs abgehen. Nach Eintritt in die Markhöhle teilt sich die A. nutricia, der Hauptteil zieht nach proximal bis zum Markraumrand; der schwächer ausgebildete, jedoch deutlich längere absteigende Teil zieht mit einem nach proximal konvexen Bogen nach dorsal und im medialen-zentralen Bereich geschlängelt zum distalen Markraumrand. Während dieses Verlaufs kann dieser Ramus zentral im Markraum und v.a. im medialen Bereich endostal verlaufen.

Diskussion

Für die arterielle Versorgung von Ulna und Radius läßt sich ein allgemeingültiges Schema aufstellen; das Hauptgefäß ist dabei die A. interossea anterior (Tabelle 1). Das proximale Viertel der Ulna erhält Zuflüsse aus der A. ulnaris für die ventrale Fläche, der A. recurrens ulnaris (R. posterior) für die mediale Fläche und der A. interossea recurrens für die dorsale Fläche. Die Diaphyse wird hauptsächlich aus der A. interossea anterior versorgt. Penteado et al. [15] und Pagliei et al. [14] beschreiben eine Hauptversorgung durch die A. interossea anterior; die A. interossea posterior trägt nach Pagliei et al. [14] nur im proximalen Drittel zur Ernährung bei. Bei den untersuchten Präparaten zeigen sich ähnliche Befunde, so wird gut ein Viertel der dorsalen Fläche durch die A. interossea recurrens aus der A. interossea posterior versorgt, weiter distal findet sich ein R. periostalis direkt aus der A. interossea posterior. Der Abgang der A. interossea recurrens aus der A. interossea posterior liegt bei den untersuchten Präparaten häufig vor dem Durchtritt durch die Membrana interossea, sonst wird er dorsal der Membrana interossea dargestellt [14]. Die arterielle Versorgung des distalen Fünftels der Ulna erfolgt durch Endäste der A. interossea anterior: R. anterior versorgt die ventrale Fläche, R. posterior die dorsale Fläche und Ramuli von beiden die mediale Fläche. Unterstützt wird die Versorgung der ventralen Fläche durch Rr. periostales aus der A. ulnaris.

Das proximale Radiusviertel wird auf der ventralen Fläche durch einen kaliberstarken R. periostalis versorgt, der zumeist aus der A. interossea communis stammt, selten aus der A. interossea posterior oder der A. ulnaris. Zum Collum radii zieht ein R. periostalis aus der A. ulnaris. Dorsal wird das proximale Radiusviertel durch einen R. periostalis der A. interossea recurrens versorgt. Nach Penteado et al. [15] wird das proximale Radiusviertel durch einen Ast der A. interossea communis oder der A. interossea recurrens gespeist. Die Diaphyse erhält Zuflüsse aus der A. interossea anterior, übereinstimmend mit Penteado et al. [15] und Pagliei et al. [14]. Bei einem Präparat ist eine Verstärkung durch die A. radialis vorhanden. Das distale Fünftel des Radius wird hauptsächlich durch Endäste der A. interossea anterior versorgt: R. perforans und auch R. posterior für die dorsale Fläche, R. anterior für die ventrale Fläche. Eine Unterstützung erhält diese Versorgung durch Rr. periostales aus der A. radialis und der A. ulnaris. Pagliei et al. [14] beschreiben ein Netzwerk auf der dorsalen Fläche der distalen Epiphyse aus dem R. perforans oder dem R. posterior der A. interossea anterior.

Die A. interossea anterior ist nicht nur für die periostale, sondern auch für die intraossäre Versorgung von Bedeutung, von ihr stammt in den meisten Fällen die A. nutricia ulnae und bei allen untersuchten Präparaten die A. nutricia radii.

Bei 94% der Ulnae und 95% der Radii liegt nur ein Foramen nutricium vor. Dies stimmt mit Untersuchungen von Ajmani [1], Cormack et al. [3] und Longia et al. [11] überein. Forriol Campos et al. [5] beschreiben für die Ulna ähnliche Ergebnisse, für den Radius allerdings immer nur ein Foramen. Bei den untersuchten Präparaten liegt das Foramen nutricium von der Ulna bei 42,3% der Länge auf der ventralen Seite und vom Radius bei 37,7% der Länge auch auf der ventromedialen Seite. Nach Shulman [17] liegen die Foramina in der proximalen Hälfte; nach Ajmani [1] und Longia et al. [11] befindet sich das Foramen für die Ulna meist im oberen Drittel, für den Radius stimmen die Ergebnisse überein. Forriol Campos et al. [5] haben mit den beschriebenen Befunden vergleichbare Daten erhoben. In Übereinstimmung mit von Lanz und Wachsmuth [10] hat der Canalis nutricius bei beiden Knochen immer einen aufsteigenden Verlauf. Sie beschreiben die Richtung der A. nutricia in der Corticalis zu derjenigen Epiphyse, die als erste verknöchert. Die A. nutricia hat 2 Äste, einen aufsteigenden und einen absteigenden. Der aufsteigende Ast ist stärker ausgebildet und setzt den Verlauf der A. nutricia nach proximal fort. Nach Gremigni et al. [7] gibt es Anastomosen zwischen dem aufsteigenden Ast und den oberen Epiphysenarterien. Auch bei den untersuchten Präparaten ziehen Rami zur proximalen Epiphyse. Die Hauptversorgungsquelle für die arterielle Versorgung von Ulna und Radius ist also die A. interossea anterior. Bedeutsam für einen guten postoperativen Heilungsverlauf ist die Vaskularisation. Hierbei bilden im diaphysären Bereich die periostalen und die intraossären Gefäße ein sich ergänzendes Versorgungssystem [16]. So ist bei der operativen Versorgung von Traumata die A. interossea anterior besonders zu beachten. Sie ist sowohl für die periostale als auch für die intraossäre Vaskularisation die Hauptversorgungsquelle.

Bei der Osteosynthese am Unterarm sind die anatomische Rekonstruktion und übungstabile Instrumentationen zu empfehlen. Zur Schonung der Rr. periostales bieten sich dabei die sog. LC-DC-Platten an.

Beim vaskularisierten Transfer eines Unterarmknochens bzw. eines Knochenteils muß auch auf die arterielle Versorgung der verbleibenden Knochen geachtet werden; die Angioarchitektur von Ulna und Radius hängen eng zusammen. Wird beispielsweise ein Teil des Radius mit A. interossea anterior entnommen, muß das Restgebiet durch einen retrograden Zufluß über distale Anastomosen erfolgen [14]. Ausnahmen sind vaskularisierte Knochentransplantationen, bei denen die A. interossea anterior erhalten bleibt, wie die ipsilaterale Ulnatransplantation zum Radius [15] und die Entnahme eines Radius- oder Ulnatransplantats zur Deckung eines ipsilateralen Defekts [13]. Hier ist ein Kontinuitätserhalt gut möglich.

Ohne größere Störungen der arteriellen Versorgung ist eine Teilresektion des dorsalen Radiusteils möglich, wenn der R. perforans der A. interossea anterior und seine von ihm versorgte Region transplantiert werden [14]. Vom anatomischen Aufbau her kann bei einer Hebung des

Transplantates am R. perforans der verbleibende distale Radiusteil durch den R. posterior, den R. anterior und periostale Ramuli der A. interossea anterior arteriell versorgt werden. Vor jedem Transfer ist eine Angiographie wegen der Variationen der großen Hauptgefäße indiziert [10]. Boorman et al. [2] weisen auf mögliche pathologische Frakturen der Entnahmeseite nach Radiustransfer hin. Größere Transplantate sind daher am Unterarm nicht zu entnehmen im Gegensatz zum vaskularisierten Fibulatransfer. Die Fibula bietet auch aufgrund ihrer Angioarchitektur Vorteile für eine Transplantation (keine Störung der Vaskularisation des verbleibenden zweiten Knochens) [12]. Eine Teilresektion der Fibula zur autoplastischen Knochentransplantation hat außerdem keine funktionelle Einbuße beim Erwachsenen zur Folge [9]. Sowohl bei der Transplantation als auch bei der Rekonstruktion der Unterarmknochen ist auf die A. interossea anterior zu achten, als das Hauptgefäß für ihre periostale und intraossäre Versorgung.

Literatur

1. Ajmani ML (1982) A study of diaphyseal nutrient foramen in human long bones. *Anat Anz* 151:305–314
2. Boorman JG, Brown JA, Sykes PJ (1987) Morbidity in the forearm flap donor arm. *Br J Plast Surg* 40:207–212
3. Cormack GC, Duncan MJ, Lamberty BGH (1986) The blood supply of the bone component of the compound osteo-cutaneous radial artery forearm flap – an anatomical study. *Br J Plast Surg* 39:173–175
4. Finkbeiner GF (1980) Pseudarthrosen und verzögerte Heilung nach Unterarmbrüchen. *Unfallheilkunde* 83:353–359
5. Forriol Campos F, Gomez Pellico L, Gianonatti Alias M, Fernandez-Valencia R (1987) A study of the nutrient foramina in human long bones. *Surg Radiol Anat* 9:251–255
6. Friedrich B, Krone JR (1973) Zur Ätiologie von Pseudarthrosen. *Unfallheilkunde* 76:308–325
7. Gremigni D, Faveri Tron M de, Faccendi S (1977) La vascolarizzazione arteriosa dell'ulna e del radio nell'Uomo. *Arch Ital Anat Embriol* 82:179–188
8. Hierner R, Stock W, Wood MB, Schweiberer L (1992) Der vaskularisierte Fibulatransfer. *Unfallchirurg* 95:152–159
9. Lang J, Wachsmuth W (1972) *Praktische Anatomie* 14, Bein und Statik, 2. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
10. Lanz T von, Wachsmuth W (1959) *Praktische Anatomie* I3, Arm, 2. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg
11. Longia GS, Ajmani ML, Saxena SK, Thomas RJ (1980) Study of diaphyseal nutrient foramina in human long bones. *Acta Anat (Basel)* 107:399–406
12. Menck, J, Sander A (1992) Periostale und intraossäre Versorgungsstrukturen der Fibula und ihre klinische Bedeutung. *Acta Anat (Basel)* 145:400–405
13. Olekas J, Guobys A (1991) Vascularised bone transfer for defects and pseudarthrosis of forearm bone. *J Hand Surg [Br]* 16:406–408
14. Pagliei A, Brunelli F, Gilbert A (1991) Anterior interosseous artery: anatomic basis of pedicled bone-grafts. *Surg Radiol Anat* 13:152–154
15. Penteado CV, Masquelet AC, Romana MC, Chevrel JP (1990) Periosteal flaps: anatomical bases of sites of elevation. *Surg Radiol Anat* 12:3–7
16. Rhinelander FW (1968) The normal microcirculation of diaphyseal corte and its response to fracture. *J Bone Joint Surg [Am]* 50:784–800
17. Shulman SS (1959) Observations of the nutrient foramina of the human radius and ulna. *Anat Rec* 134:685–697
18. Soutar DS, Scheker LR, Tanner NSB, McGregor IA (1983) The radial forearm flap: a versatile method for intra-oral reconstruction. *Br J Plast Surg* 36:1–8