

Ultraschall peripherer Nerven

Der Ultraschall ist inzwischen eine verbreitete und akzeptierte Methode zur Untersuchung peripherer Nerven, dank verbesserter Breitbandschallsonden mit Sendefrequenzen bis zu 15 MHz und Fokussierung im Nahbereich, und Techniken zur Erstellung sonographischer Panoramabilder [17, 27, 35, 36, 37, 40, 60]. Hinsichtlich der Auflösung kleiner anatomischer Details ist die Sonographie der MRT in Verbindung mit Oberflächensonden ebenbürtig, teilweise sogar überlegen. Es lässt sich eine Vielzahl pathologischer Veränderungen darstellen, z. B. Nervenkompressions- bzw. Tunnelsyn-drome, traumatische oder infektiöse Läsionen oder auch Tumoren. Dass neben den technischen Voraussetzungen vom Untersucher eingehende anatomische Kenntnisse und eine synoptische Würdigung der sonographischen, klinischen und elektrophysiologischen Befunde gefordert sind, versteht sich. Unter diesen Bedingungen aber stellt die Sonographie eine kostengünstige, nichtinvasive und schnelle Untersuchungstechnik mit wichtigen Vorteilen gegenüber der MRT dar: Höhere Ortsauflösung, Erfassung großer anatomischer Abschnitte in einem Untersuchungsgang sowie, neben der „statischen“ Bildgebung, die Darstellung von Bewegungen in Echtzeit. In dieser Übersichtsarbeit wird auf die Sonomorphologie normaler Nerven und wichtige sonographische Merkmale deren häufigster pathologischer Veränderungen eingegangen.

Ultraschallanatomie und Untersuchungstechnik

Mit hochauflösender Sonographie können Nerven direkt dargestellt werden, einschließlich ihrer Binnenstruktur. Diese ist komplex und besteht aus echoarmen Strukturen (den Faszikeln, die die Axone enthalten), die in echoreichem Material eingebettet sind, dem Epineurium (■ **Abb. 1**) [57], zumindest, sofern sehr hohe Sendefrequenzen eingesetzt werden (bis zu 15 MHz). Mit niedrigeren Frequenzen oder bei falscher Ausrichtung des Schallkopfes werden weniger Faszikel aufgelöst, da insbesondere dünnere Fasern im Bild verschmelzen [57]. Nerven sind verformbar und können im Querschnitt je nach ihrer unmittelbaren Umgebung rund oder oval sein. Über Gelenken werden sie durch enge, osteofibröse Tunnel umgelenkt und können dort homogen echoarm erscheinen, da die Faszikel hier dichter gepackt sind [56, 61]. Da Nerven nur in geringem Maße anisotrop sind, muss der Schallkopf für eine adäquate Darstellung nicht streng senkrecht gehalten werden. Um einen Nerven entlang einer Extremität zu verfolgen, hält man am besten den Schallkopf quer zu seiner Verlaufsrichtung. Verwechslungen mit quer geschnittenen Gefäßen lassen sich im Zweifelsfall mit Hilfe des Farbdopplers ausräumen.

Entlang der Extremitäten sind periphere Nerven in der Regel leicht aufzufinden, da sie häufig oberflächlich liegen und nicht von Knochen verdeckt werden.

Hirnnerven, lumbale oder sakrale Nervenwurzeln, der sympathische Grenzstrang und die Nn. planchnici hingegen sind der Sonographie nicht zugänglich.

Einige anatomische Varianten oder angeborene Anomalien der Nerven sind aufgrund ihres charakteristischen Bildes mit dem Ultraschall nachweisbar, z. B. eine proximale Bifurkation des N. medianus am Handgelenk, ein fibrolipomatöses Hamartom (eine spindelförmige Auftreibung des distalen N. medianus durch Fett- und Bindegewebe) oder die eindrückliche Hypertrophie peripherer Nerven beim Morbus Charcot-Marie-Tooth (■ **Abb. 2**) [10, 31, 41].

Nervenkompressions- und Tunnelsyn-drome

Eine Schädigung eines Nerven durch Druckeinwirkung von außen tritt typischerweise dort auf, wo er durch einen osteofibrösen Tunnel oder einen Muskel verläuft und daher nicht ausweichen kann. Neben einer habituellen Prädisposition spielen in der Pathogenese vermutlich Extrem- und Zwangshaltungen, repetitive Bewegungen und ggf. zusätzlich vorliegende, systemische, prädisponierende Faktoren (z. B. Polyneuropathien) eine Rolle. Infolge der Druckeinwirkung kommt es zur Demyelinisierung, Axondegeneration, einem Aufstau intranervaler Venen und Ödem. Diese können nach Entlastung reversibel sein oder auch zu einer intraneuralen Fibrose mit irrever-

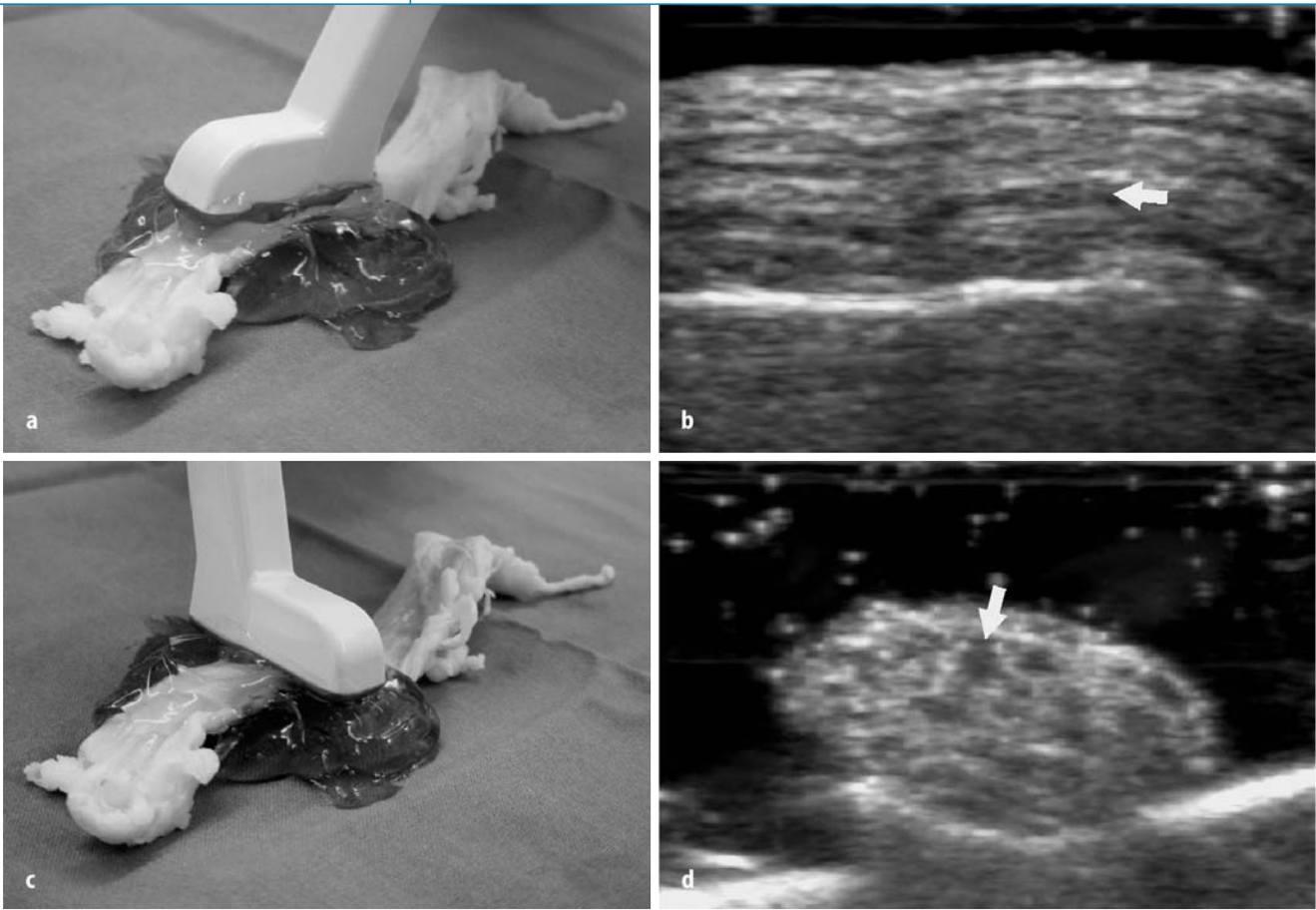


Abb. 1a-d ▲ **Echostruktur eines Nerven. Sonographie des Ischiasnerven eines Rindes in vitro mit einer 15–7-MHz-Sonde im Längsschnitt (a und b) und Querschnitt (c und d). Im Längsschnitt besteht die Echostruktur aus parallel angeordneten, echoarmen Arealen (Pfeil), die von echoreichen Bändern getrennt werden. Der Querschnitt zeigt ein Honigwabenmuster mit runden, echoarmen Arealen (Pfeil)**

siblem Funktionsverlust und Atrophie des innervierten Muskels fortschreiten.

In frühen Stadien der Druckschädigung sind sonographisch keine typischen Zeichen nachweisbar; richtungsweisend sind hier v. a. klinische und elektrophysiologische Befunde. Bei Fortschreiten der Erkrankung findet man sonographisch Veränderungen der Form und Echostruktur des Nerven: An der Kompressionsstelle eine fokale Verschmälerung („notch sign“) mit messbarer Reduktion der Querschnittsfläche des Nerven, und proximal eine Schwellung (■ Abb. 3). Diese Auftreibung ist meist spindelförmig, ca. 2–4 cm lang und ist direkt vor der Kompressionsstelle am stärksten, sodass die abrupt folgende Abflachung augenfällig wird. Anhand dieser Befunde lässt sich der Ort der Kompression zuverlässig lokalisieren. Als wichtigstes Zeichen gilt die Abflachung des Nerven, doch sollte die proximale Verdickung quantitativ durch Messung der

Querschnittsfläche anhand der Ellipsenformel belegt werden [(maximaler AP-Durchmesser) x (maximaler Querdurchmesser) x ($\pi/4$)]. Dies ist in verschiedenen Lokalisationen das verlässlichste Kriterium.

Zusätzlich findet man bei Tunnelsyndromen, dass die Echostruktur des Nerven an und proximal der Stelle der Kompression homogen echoarm wird, mit Verlust des faszikulären Musters. Die Echoarmut des Epineuriums tritt graduell auf und nimmt in unmittelbarer Nachbarschaft der Kompression zu. Auch dies ist zur Diagnose und zur Lokalisation des Ortes der Kompression hilfreich. Die Störung des Blutflusses im geschädigten Segment lässt sich mit Hilfe der Farb- oder Powerdopplersonographie anhand einer Vermehrung der Flusssignale nachweisen, insbesondere in geschwollenen, echoarmen Nerven bei Patienten mit einer chronischen Schädigung.

Die wichtigsten, sonographisch zugänglichen Orte einer Nervenkompression im Bereich der Extremitäten sind:

- die Fossae supraspinata und spino-glenoidea der dorsalen Schulterregion (N. suprascapularis),
- das Spatium axillare laterale (N. axillaris),
- der Sulcus nervi radialis des Humerus,
- die Supinatorloge des Ellbogens (N. interosseus posterior),
- das Handgelenk (N. radialis),
- der Kubital- und Guyon-Tunnel (N. ulnaris),
- der mittlere Unterarm (N. interosseus anterior),
- der Karpaltunnel (N. medianus),
- Gesäß und Rückfläche des Oberschenkels (N. ischiadicus),
- das Fibulaköpfchen bzw. der Fibulakopf (N. peroneus communis) und
- der Tarsaltunnel (N. tibialis).

Im Folgenden ein kurzer Überblick über diese Syndrome. An der Rückfläche der Schulter kann der N. suprascapularis durch Ganglionzysten gegen den Boden der Fossae supraspinata und spinoglenoidea gedrückt werden, die sich infolge eines Risses des dorsalen Labrums des Schultergelenks und des Austretens von Synovialflüssigkeit nach dorsal vorwölben. Man kann sonographisch den N. suprascapularis in der Fossa supraspinata neben der A. suprascapularis darstellen [39] und ggf. den Zysteninhalt unter sonographischer Führung punktieren [13].

Eine weitere kritische Stelle ist das Spatium axillare laterale, das von der äußeren Schultermuskulatur bedeckt wird und in dem der N. axillaris verläuft. Mögliche Mechanismen der Schädigung sind Überstreckungstraumata oder fibröse Bänder im Spatium. Der N. axillaris selbst ist zu dünn, um sonographisch dargestellt zu werden, jedoch ist eine isolierte Atrophie der innervierten Muskulatur bei Fehlen einer Sehnenruptur ein indirekter Hinweis [39, 58].

Am Oberarm verläuft der N. radialis spiralförmig um den Humerusschaft im Sulcus nervi radialis, der zwischen den beiden Köpfen des M. triceps liegt. Wichtige Ursachen einer Kompression an dieser Stelle sind eine dislozierte Humerusschaftfraktur, ein hypertrophischer Kallus oder Osteosynthesematerial [3, 6, 48]. Mit dem Ultraschall lassen sich eine Dehnung und Verlagerung des Nerven darstellen, ebenso eine Schwellung und Echoarmut. Am seitlichen Ellbogen teilt sich der N. radialis in einen sensiblen Hautast (R. superficialis) und den tiefen, motorischen R. profundus, der in den N. interosseus posterior übergeht. Sonographisch kann man die Äste darstellen und den R. profundus nervi radialis verfolgen, der zwischen den oberflächlichen und tiefen Anteilen des M. supinator verläuft. An dieser Stelle kann der Nerv durch raumfordernde Prozesse oder fibröse Bänder komprimiert werden. Auch der R. superficialis kann komprimiert werden, und zwar typischerweise am Handgelenk (Wartenberg-Syndrom), mit einer Symptomatik, die dem Morbus de Quervain ähnelt. Auch hier ist eine Abklärung mit Hilfe des Ultraschalls möglich [4, 11].

An der Medialseite des Ellbogens verläuft der N. ulnaris in einem osteofibrösen Tunnel (Fossa condylaris) zwischen Olekranon und dem medialen Epikondylus, der vom Osborn-Retinakulum bedeckt wird, und danach im Kubitaltunnel, d. h. unter der Aponeurose, die von den ulnaren und humoralen Köpfen des M. flexor carpi ulnaris gebildet wird. Mögliche Stellen der Kompression sind die Fossa condylaris und der Rand der Aponeurose, infolge von Knochenspornen, einer Verdickung des Lig. collaterale mediale, Muskelanomalien, Ganglien, oder posttraumatischen Deformitäten des Ellbogens [45, 50]. Eine Querschnittsfläche des Nerven von mehr als 7,5 mm² am Epikondylus ist pathologisch [12, 37]. Am Handgelenk verläuft der N. ulnaris zwischen dem Erbsenbein und dem Hamulus ossis hamati durch den Guyon-Tunnel. Häufige Ursachen einer Kompression an dieser Stelle sind Ganglien, akzessorische Muskeln oder Pseudoaneurysmen der A. ulnaris [37].

Da der N. medianus zusammen mit der A. brachialis verläuft, kann der durch Hämatome oder Pseudoaneurysmen komprimiert werden, z. B. nach penetrierenden Verletzungen oder Katheterisierung. Hier bietet sich die Sonographie an, um nicht nur die Läsion zu verifizieren, sondern auch eine Entlastungspunktion zu führen [14]. Weiter distal können fibröse Bänder im Bereich der Pronatoren oder aberrante Muskelbäuche zu einer Kompression des N. interosseus anterior führen, eines Astes des N. medianus. Sonographisch findet man bei diesem eher seltenen Kiloh-Nevin-Syndrom Zeichen der Atrophie der innervierten Muskeln [22].

Das häufigste Nervenkompressionsyndrom ist das Karpaltunnelsyndrom mit Kompression des N. medianus. Neben habituellen Faktoren (enger Karpaltunnel, Vorhandensein einer A. mediana, Anomalien von Sehnen und Muskeln, akzessorische Muskeln) spielen eine erhöhte Vulnerabilität des Nerven (Diabetes, Neuropathien), systemische und endokrine Faktoren (Schwangerschaft, Hypothyreose, Amyloidose) und Raumforderung innerhalb des Tunnels eine Rolle. Eine Querschnittsfläche des N. medianus von ≥ 9 –10 mm² auf Höhe des proximalen Karpaltunnels (Höhe des Os pisiforme und des Os naviculare) wird von den meisten

Radiologe 2003 · 43:841–849
DOI 10.1007/s00117-003-0963-y
© Springer-Verlag 2003

L. Bacigalupo · S. Bianchi · M. Valle · C. Martinoli

Ultraschall peripherer Nerven

Zusammenfassung

Aufgrund von Fortschritten der Breitbandschallkopftechnologie und der damit verbundenen Verfeinerung der Untersuchungstechnik lassen sich in zunehmendem Maße periphere Nerven und deren Erkrankungen sonographisch darstellen. Die hochauflösende Sonographie stellt eine Ergänzung der klinischen und elektrophysiologischen Untersuchungen bei einer Vielzahl von Nervenläsionen dar, wie z. B. Tunnelsyndromen, Traumata, Infektionen oder Tumoren. Weiterhin ist die Sonographie eine wertvolle Führungshilfe bei Regionalanästhesien oder perkutanen Behandlungen schmerzhafter Neurome. In diesem Artikel wird auf die Sonomorphologie der peripheren Nerven und die mögliche Rolle der Sonographie in der Diagnostik von Nervenerkrankungen eingegangen.

Schlüsselwörter

Sonographie · Nerven

Ultrasonography of peripheral nerves

Abstract

With the recent advances in broadband transducer technology and refinements in scanning technique, an increasing number of nerves and related pathologic conditions are identified with sonography. High-resolution sonography can support clinical and electrophysiological testing for detection of a variety of nerve abnormalities, including entrapment neuropathies, traumas, infectious disorders, and tumors. In addition, procedures of regional anesthesia and percutaneous treatment of painful neuromas can be effectively guided by sonography in real time. This article addresses the normal US appearance of peripheral nerves and discusses the potential role of this technique to image nerve disorders in specific clinical settings.

Keywords

Ultrasonography · Nerves

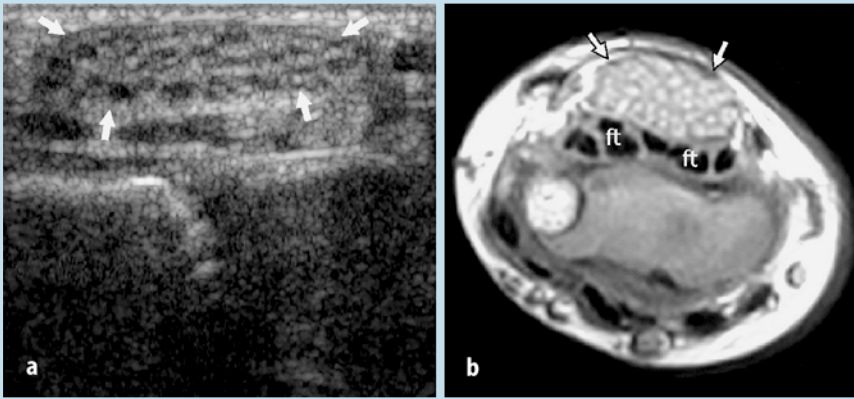


Abb. 2a, b ◀ **Fibrolipomatöses Hamartom des N. medianus.** a Querschnitt mit 12–5 MHz bei einem Kind mit diffuser Schwellung und Schmerzhaftigkeit der Vorderfläche des Handgelenks, verglichen mit b, einem T1w-SE-MRT: Spindelförmige Auftreibung des N. medianus (Pfeile). Die Faszikel sind echoarm aufgetrieben und von vermehrtem interfaszikulärem Fettgewebe umgeben. ft Beugesehnen

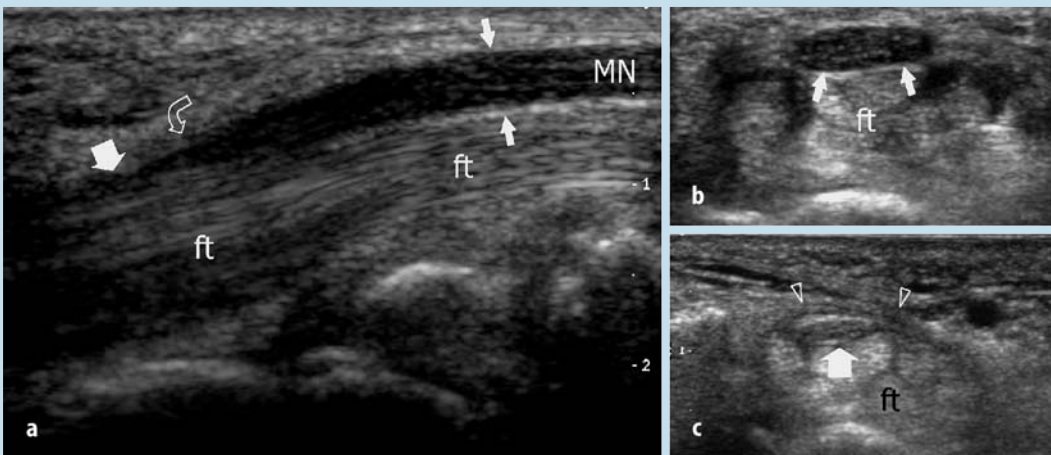


Abb. 3a-c ▲ **Karpaltunnelsyndrom.** a 12–5-MHz-Längsschnitt des Handgelenks mit abrupter Abflachung (großer Pfeil) des N. medianus (MN) im Karpaltunnel. Zusätzlich erkennt man eine Schwellung (Pfeile) des Nerven proximal der eigentlichen Stelle der Kompression (gebogener Pfeil). Querschnitt auf Höhe des distalen Radius (b) und über dem Karpaltunnel (c): Abrupte Änderung der Querschnittsfläche des N. medianus (Pfeile), wo er unter das Lig. carpale transversale (Pfeilspitzen) taucht. ft Beugesehnen

Autoren als das beste diagnostische Kriterium angegeben [7, 8, 9]; anderen Auffassungen zufolge liegt der Grenzwert eher bei 15 mm² [32]. Bei Beugung und Streckung der Finger lässt sich auch eine verminderte Verschieblichkeit des Nerven unter den Retinakulum nachweisen [9, 44]. Zusätzlich ist u. U. auch die Ursache der Kompression nachweisbar (z. B. Tendosynovitis der Beuger, Ganglien, Amyloidablagerungen, Muskel- und Sehnenanomalien oder Luxationen im Handgelenk) [2, 15, 37].

Eine Kompression des N. ischiadicus liegt am häufigsten dorsal des Hüftgelenks und an der Rückfläche des proximalen Oberschenkels vor. Mögliche Ursachen sind z. B. Hämatome (nach Frakturen und Luxationen, Einsatz von Endoprothesen, oder unter antikoagulativer Therapie)

oder Lipome [20]. In der Kniekehle teilt sich der N. ischiadicus in den N. tibialis und den N. peroneus. Eine Kompression des N. peroneus liegt am häufigsten im Fibularistunnel vor, wo sich der Nerv um das Fibulaköpfchen windet und sich in den tiefen und oberflächlichen Ast teilt. Als Ursachen kommen v. a. raumfordernde Läsionen (z. B. Ganglien des proximalen tibiofibularen Gelenks), Traumata (Frakturen und Luxationen der Fibula) und iatrogene Faktoren in Frage, z. B. Traction nach Frakturen und Gipsverbände.

Läsionen des proximalen N. tibialis sind seltener. Dorsal des Innenknöchels verläuft der Nerv durch den Tarsaltunnel zwischen dem Malleolus medialis und dem Kalkaneus, der durch das Retinakulum flexorum bedeckt wird. Unter dem Malleolus teilt sich der Nerv in die me-

dialen und lateralen Plantaräste und die dünnen Rr. calcanei. Bei Kompressionen des Hauptstammes liegen die Ursachen meist retromalleolär, bei Läsionen der Äste im distalen Tarsaltunnel: Tendosynovitis der Beuger, Ganglien des talokalkanearen Gelenks, Faszienzüge, Anomalien von Muskeln und Sehnen sowie Residuen von Frakturen [37]. Sonographisch ist der gesamte Verlauf des Nerven zugänglich. Zeichen sind auch hier Echoarmut und Schwellung des Nerven (unterschiedliche Dicke von medialem und lateralem Ast). Zusätzlich ist u. U. die Ursache der Kompression nachweisbar.

Verletzungen

Verletzungen der Nerven sind meist auf Zug, Kontusion und scharfe Traumata zu-

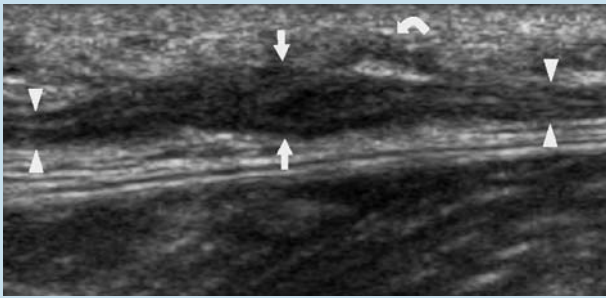


Abb. 4 ◀ Partielle Ruptur eines N. suralis durch eine Messerverletzung. Im Längsschnitt mit 12–5 MHz findet sich eine spindelförmige, echoarme Auftreibung des verletzten Nerven, ein Spindelneurom. Direkt an den Befund angrenzend findet sich echoarmes Material im subkutanen Gewebe (*gebogener Pfeil*), welches Narbengewebe entspricht

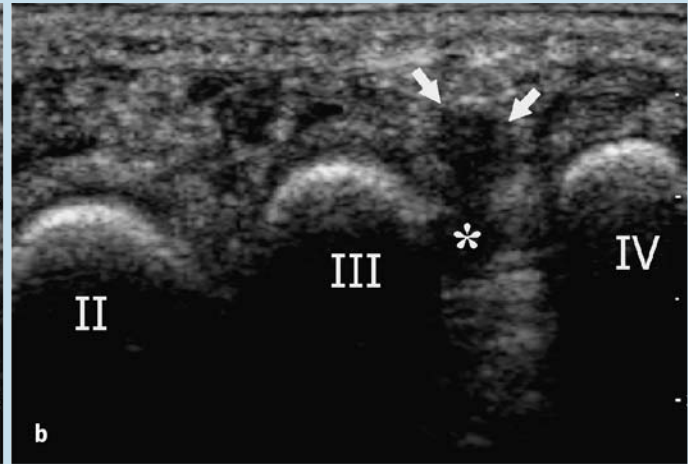
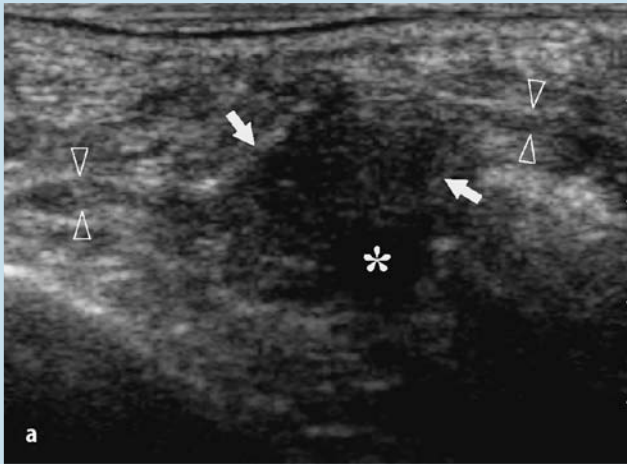


Abb. 5a,b ▲ Morton-Neurom. a Längsschnitt und b Querschnitt in 127–5 MHz über der plantaren Fläche der Metatarsalköpfchen. Raumforderung gemischter Echogenität zwischen den Metatarsalia 3 (II) und 4 (III). Innerhalb der Läsion (*Pfeil*) finden sich ventrale, solide (*Pfeile*) und dorsal gelegene, liquide Anteile (*Sternchen*). Hier liegen zugleich ein Morton-Neurom und eine vergrößerte, intermetatarsale Bursa vor. Beachte den anatomischen Bezug des Neuroms zum Interdigitalnerv (*Pfeilspitzen*)

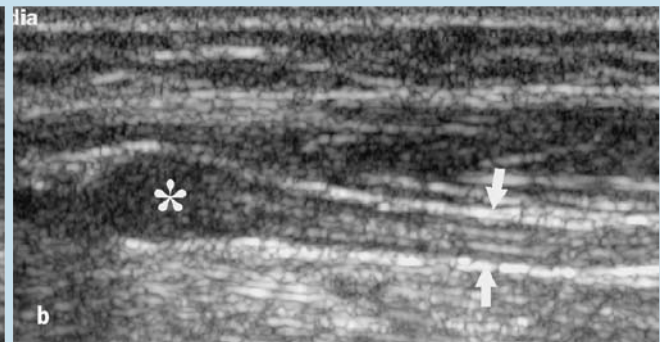
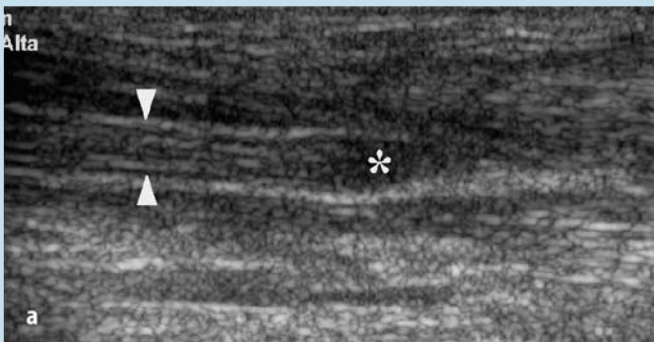


Abb. 6 ▲ Vollständige Durchtrennung des N. medianus durch eine penetrierende Verletzung. Im Längsschnitt mit 12–5 MHz über dem ventralen Unterarm sieht man den durchtrennten Nerv (*Pfeilspitzen*) mit echoarmen Auftreibungen (*Sternchen*) am proximalen (*Pfeile*) und distalen (*Pfeilspitzen*) Stumpf

rückzuführen. Es folgt ein kurzer Überblick über Nerventraumata und mögliche Mechanismen und Ursachen. Häufig liegen allerdings kombinierte Verletzungsmechanismen vor.

Bei Überdehnungen liegen häufig repetitive Traumata vor, oder auch eine chronische Überbeanspruchung. Eine typische, akute Dehnungsverletzung ist die des Plexus brachialis, die auftritt, wenn Schulter

und Kopf heftig in entgegengesetzte Richtungen überstreckt werden. Ein komplette Nervenruptur ist sonographisch anhand einer Unterbrechung der Kontinuität, Retraktion und welliger Aufknäuelung der Enden des Nerven nachweisbar [48, 55]. Bei Wurzelausrissen ist u. U. zusätzlich eine „Pseudomenigozele“ nachweisbar, eine extradurale Flüssigkeitsansammlung durch Austritt von Liquor. Bei partiellen Ruptu-

ren können sich spindelförmige Neurome entwickeln, die sonographisch als echoarme, irreguläre Schwellungen entlang des Verlaufs des betroffenen Nerven imponieren (Abb. 4) [55].

Kontusionen entstehen v. a. dort, wo ein Nerv dicht einer knöchernen Oberfläche aufliegt und damit durch externe Schlag- oder Druckeinwirkung besonders gefährdet ist. Meist heilt diese Art

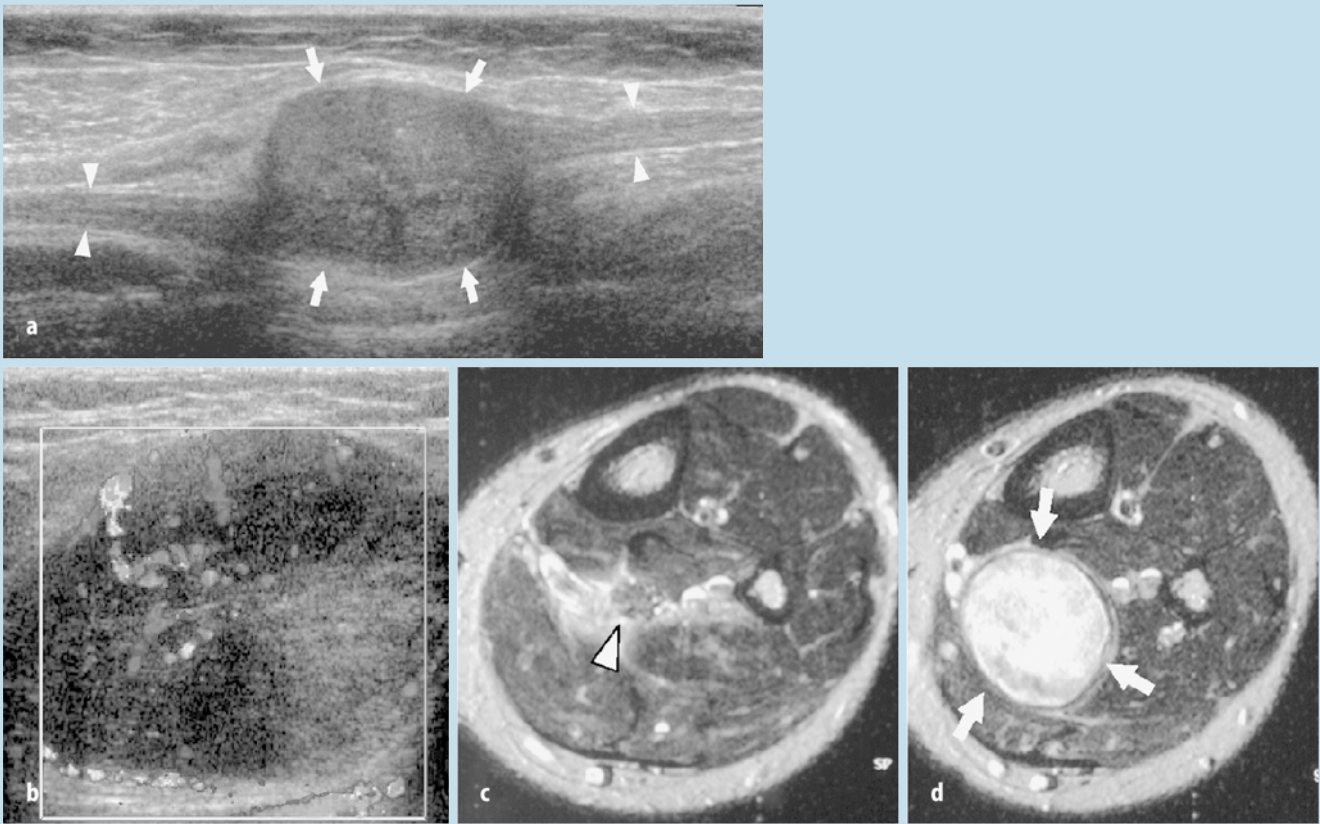


Abb. 7a-d ▲ Schwannom des N. tibialis an der Rückfläche des Beines. Längsschnitt mit 12–5 MHz in B-Bild- (a) und Farbdopplertechnik (b). Der Tumor ist eine exzentrisch gelegene, echoarme Raumforderung (Pfeile) in direkter Kontinuität mit dem Nerven selbst (Pfeilspitzen). Der Tumor erscheint hypervaskularisiert, mit zentralen und peripheren Farbdopplersignalen. In der vergleichenden, fettsupprimierten T2w-MRT direkt proximal des Tumors (c) und auf Höhe des Tumors selbst (d) erkennt man den direkten anatomischen Bezug zwischen Tumor (Pfeile) und Nerv (Pfeilspitzen).

● Abbildung in Farbe siehe Seite 898

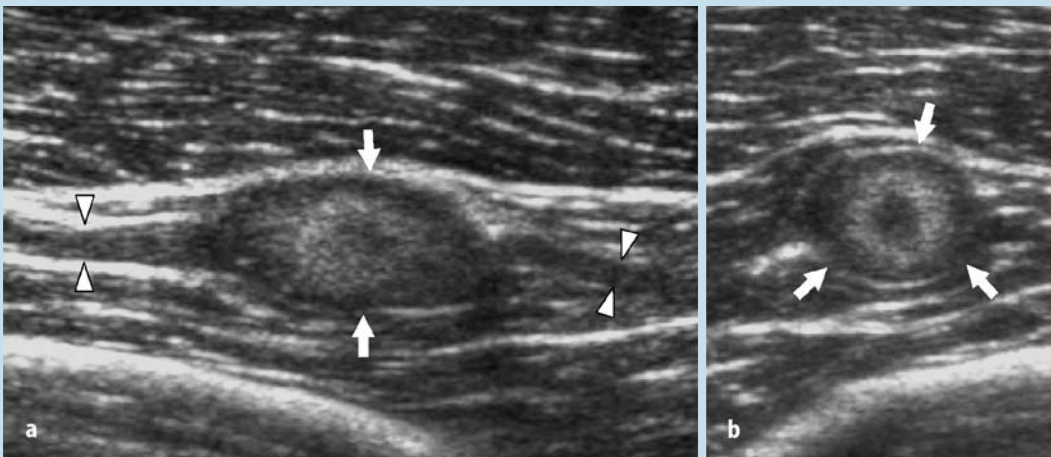


Abb. 8a, b ◀ Neurofibrom. Längsschnitt (a) und Querschnitt (b) mit 12–5 MHz am Oberschenkel zeigen eine scharf begrenzte, ovale Raumforderung (Pfeile) in Kontinuität mit dem N. cutaneous femoris posterior (Pfeilspitzen). Beachte das konzentrische Muster aus echoarmen und echoreichen Schichten („target sign“)

des Traumas von selbst folgenlos aus, ohne typische sonographische Befunde. Diese findet man eher bei wiederholten, kleineren Kontusionen, die zu Veränderungen innerhalb des Nervs führen. Ein typisches Beispiel ist eine Schädigung des N. ulnaris am medialen Epikondylus, bei Aplasie des Osborn-Retinakulums,

die dadurch entsteht, dass bei Beugung des Ellbogens der Nerv über den Epikondylus gleitet. Der Nerv ist geschwollen und infolge einer Fibrose echoarm [25]. Beim Beugen des Ellbogens kann man mit dem Ultraschall nachvollziehen, wie der Nerv über den Epikondylus schnappt [46].

Ein weiteres Beispiel ist die Schädigung der interdigitalen Nerven auf Höhe der Metatarsalköpfchen (meist im 2. oder 3. Zwischenraum), bei denen sich spindelförmige, echoarme Auftreibungen bilden, sog. Morton-Neurome [53, 54, 59]. Die Sensitivität der Sonographie für den Nachweis Morton-Neurome beträgt nach der Lite-

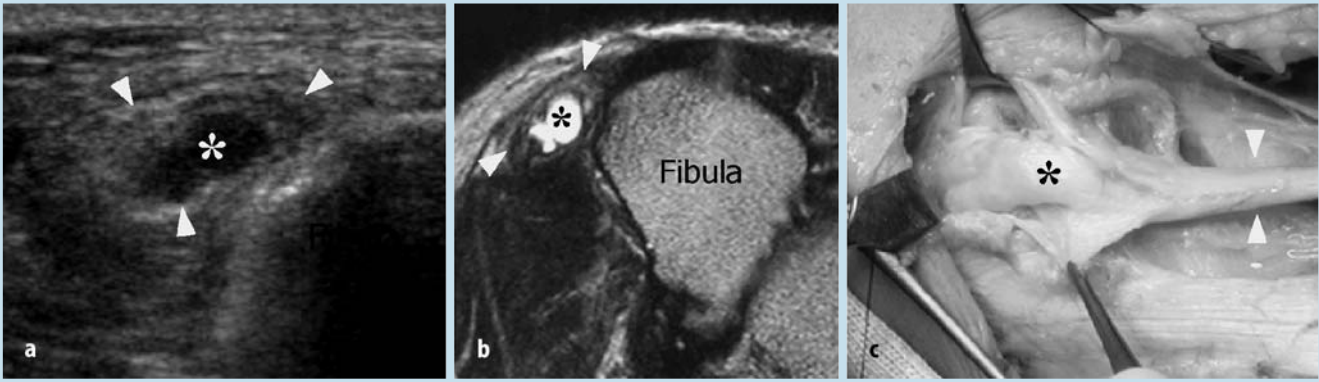


Abb. 9a, b ▲ Ganglion der Nervenscheide des N. peroneus. a Querschnitt mit 12–5 MHz dorsolateral auf Höhe des Knies, b T2w-MRT auf gleicher Höhe. Ganglion (Sternchen) zwischen Nervenscheide und Nervenfazikeln des N. peroneus communis (Pfeilspitzen). Aufgrund seines liquiden Inhalts hebt sich das Ganglion echofrei vom Nerven selbst ab. c Intraoperativer Situs mit Ganglion (Sternchen) innerhalb des Nerven (Pfeilspitzen)

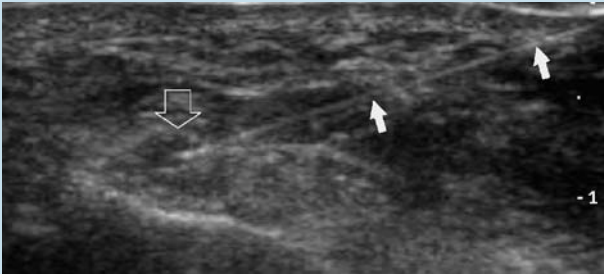


Abb. 10 ◀ Perkutane Behandlung eines Neuoms. Im Querschnitt mit 12–5 MHz erkennt man ein kleines Neurom nach Fußamputation (offener Pfeil) mit der Nadel (weiße Pfeile) in Position, vor Injektion von Kortikosteroiden. Das injizierte Material imponiert sonographisch als kleine echoreiche Punkte (nicht abgebildet)

ratur 95–100%, die Spezifität 83%, die Treffsicherheit 95% [51]. Der anatomische Bezug zum Nerven lässt sich am besten im Längsschnitt nachweisen. Entgangene Befunde sind teils auf mangelnde Erfahrung des Untersuchers zurückzuführen, teilweise sind die Neurome für den Nachweis einfach zu klein. Manche Befunde sind echokomplex oder echofrei, insbesondere, wenn zugleich eine vergrößerte intermetatarsale Bursa vorliegt, die sich nach dorsal vorwölbt (■ Abb. 5) [51].

Bei scharfen Verletzungen können die Nervenfazikeln teilweise oder ganz durchtrennt sein. Im Rahmen der Regeneration können Schwann-Zellen und Axone bei dem Versuch, die Kontinuität wieder herzustellen, am Ort der Traumas wild wuchern. In der Regel ist aber der Abstand zwischen den getrennten Enden zu groß, sodass dieser Versuch frustan bleibt. Es resultiert eine echoarme, bindegeweberiche Auftreibung. Bei komplett durchtrennten Nerven erscheinen Stumpfneurome (terminale Neurome) als kleine, echoarme Raumforderungen an den gegenüberliegenden Enden des Nerven, die wenig dicker als der eigentliche Nerv sind

(■ Abb. 6) [20, 58]. Meist sind sie scharf begrenzt, sofern nicht Adhäsionen und überschießendes Narbengewebe vorliegen. Die Sonographie ist präoperativ hilfreich, die retrahierten Enden des Nerven aufzuspüren. In der Literatur finden sich Berichte zu sonographischen Befunden bei unbeabsichtigten, iatrogenen Verletzungen peripherer Nerven, z. B. der Nn. radialis, femoralis, accessorius oder ischiadicus [5, 20, 21, 48].

Infektionen

Hier ist insbesondere die Lepra zu nennen, deren Nervenerkrankung ausgesprochen vielfältig ist. Im Rahmen der Erkrankung treten Schübe mit akuter Neuritis (sog. Umkehrungsreaktionen) auf, die mit massiver entzündlicher Infiltration und Bildung von epitheloidzelligen Granulomen in den Nerven einhergehen und bleibende Schäden hinterlassen können. Der betroffene Nerv ist geschwollen und druckempfindlich [18]. Am meisten gefährdet sind die Nerven im Bereich anatomischer Engen, ebenso wie bei den Nervenkompressionssyndromen, insbesondere am

Epicondylus medialis (N. ulnaris) und am Fibulaköpfchen (N. peroneus communis). Meist ist aber eine längere Strecke geschwollen als bei den Nervenkompressionssyndromen [40].

Raumfordernde Prozesse

Bei Tumoren der Nerven unterscheidet man 2 gutartige Formen, Schwannome (Syn: Neurinome, Neurilemmome) und Neurofibrome und den malignen, peripheren Nervenscheidentumor. Wichtigstes sonographisches Zeichen ist eine solide, echoarme Raumforderung mit direktem Bezug zu einem peripheren Nerven [1, 23, 24]. Wichtig ist eine klare Darstellung des Übergangs zwischen Tumor und Nerv, da dieser am Tumor verlagert oder gedehnt werden kann. Die sonographischen Befunde sind zwischen den histologischen Typen ähnlich. Meist findet man bei Schwannomen eine ovale oder runde Raumforderung mit homogen echoarmer Binnenstruktur, die sich *exzentrisch* aus dem Nerven hervorwölbt (■ Abb. 7) [34]. Dopplersonographisch erscheinen die Läsionen meist hypervaskularisiert [28].

Neurofibrome hingegen sind *im Nerven selbst* gelegen und fasn die Faszikel im Inneren spindelförmig auf [34]. Im Querschnitt zeigt sich mitunter ein „target sign“ mit einer zentralen, echodichten Zone. Im Unterschied zu Schwannomen sind sie im Farbdoppler eher gefäßarm (■ Abb.8) [33]. Bei der Neurofibromatose Typ 1 sind Hautäste betroffen, sodass sich Knötchen im Hautniveau bilden, und auch Neurofibrome in tiefer gelegenen Nerven. Bei der „plexiformen“ Neurofibromatose liegen unzählige Neurofibrome entlang eines langen Abschnitts eines Nerven und seiner Äste vor (sog. „Bag-of-worms-Bild“) [43].

In Einzelfällen können extraneurale Tumoren, z. B. Weichteilhämangiome oder Lymphome, innerhalb eines Nerven vorwachsen, die Faszikel aufzweigen und sich in das Nervengewebe ausdehnen. Wenn auch selten, können diese Tumoren zu Funktionsverlust und Schmerzen führen und sollten nicht mit den häufigeren Nervenscheidentumoren verwechselt werden.

Ganglien der Nervenscheiden können, ähnlich wie neurogene Tumoren, als spindelförmige Pseudozysten erscheinen, die im Bindegewebe zwischen Nervenscheide und Faszikeln gelegen sind und aus einem myxoiden Inhalt und einer fibrösen Kapsel bestehen [43]. Typischerweise sind große Nerven auf Höhe des Knies betroffen, insbesondere der N. peroneus communis (■ Abb.9). Sie können vom Nerven selbst ausgehen, oder von einem benachbarten tibiofibularen Gelenk, von wo sie entlang eines kleinen Nervenastes bis zum eigentlichen Nerven selbst vordringen. Ganglien der Nervenscheiden sind typischerweise echoarm, enthalten Septen und können mit der Zeit hinsichtlich Form und Größe variieren.

Sonographisch geführte Interventionen

In den vergangenen Jahren ist die Sonographie in zunehmendem Maße als Führungshilfe bei Regionalanästhesien der Extremitäten eingesetzt worden. Sie ermöglicht es, das Vorschieben der Kanüle zu verfolgen und eine Schädigung des Nerven zu vermeiden. Hinzu kommen vielfältige Techniken zur sonographisch

geführten Blockade des Plexus brachialis oder lumbalis, des Psoaskompartments sowie der Nn. inguinales und pudendi [26, 30, 47]. Vielversprechende Ansätze zur Behandlung schmerzender Neurome (z. B. Stumpf- oder Morton-Neurome) durch sonographisch geführte Injektionen von Kortikosteroiden, Phenol oder Alkohol in die Läsion zeigen eine hohe Erfolgsquote und eine rasche Besserung der Beschwerden (■ Abb. 10) [16, 52].

Korrespondierender Autor

Dr. C. Martinoli

Cattedra „R“ di Radiologia – DICMI,
Università di Genova,
Largo Rosanna Benzi 8, I-16132 Genova, Italy
E-Mail: martinoli@zeus.newnetworks.it

Literatur

- Beggs I (1999) Sonographic appearances of nerve tumors. *J Clin Ultrasound* 27:363–368
- Bertolotto M, Rosenberg I, Parodi RC et al. (1996) Case report: fibroma of tendon sheath in the distal forearm with associated median nerve neuropathy: US, CT and MR appearance. *Clin Radiol* 51:370–372
- Bodner G, Buchberger W, Schocke M et al. (2001) Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture: evaluation with US: initial experience. *Radiology* 219:811–816
- Bodner G, Harpf C, Meirer R et al. (2002) Ultrasonographic appearance of supinator syndrome. *J Ultrasound Med* 21:1289–1293
- Bodner G, Harpf C, Garetto A et al. (2002) Ultrasonography of the accessory nerve: normal and pathologic findings in cadavers and patients with iatrogenic accessory nerve palsy. *J Ultrasound Med* 21:1159–1163
- Bodner G, Huber B, Schwabegger A, Lutz M et al. (1999) Sonographic detection of radial nerve entrapment within a humerus fracture. *J Ultrasound Med* 20:131–136
- Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G et al. (1992) Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *AJR* 159:793–798
- Buchberger W, Schon G, Strasser K et al. (1991) High-resolution ultrasonography of the carpal tunnel. *J Ultrasound Med* 10:531–537
- Chen P, Maklad N, Redwine M et al. (1997) Dynamic high-resolution sonography of the carpal tunnel. *AJR* 168:533–537
- Chen P, Massengill A, Maklad N et al. (1996) Nerve territory-oriented macrodactyly: unusual cause of carpal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med* 15:661–664
- Chien AJ, Jamadar DA, Jacobson JA et al. (2003) Sonography and MR imaging of posterior interosseous nerve syndrome with surgical correlation. *AJR* 181:219–221
- Chiou HJ, Chou YH, Cheng SP et al. (1998) Cubital tunnel syndrome: diagnosis by high-resolution ultrasonography. *J Ultrasound Med* 17:643–648
- Chiou HJ, Chou YH, Wu JJ et al. (1999) Alternative and effective treatment of shoulder ganglion cyst: ultrasonographically guided aspiration. *J Ultrasound Med* 18:531–535
- Chuang YM, Luo CB, Chou YH et al. (2002) Sonographic diagnosis and treatment of a median nerve epineural hematoma caused by brachial artery catheterization. *J Ultrasound Med* 21:705–708

- Duncan I, Sullivan P, Lomas F (1999) Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *AJR* 173:681–683
- Ernberg LA, Adler RS, Lane J (2002) Ultrasound in the detection and treatment of a painful stump neuroma. *Skeletal Radiol* 32:306–209
- Fornage BD (1988) Peripheral nerves of the extremities: imaging with US. *Radiology* 167:179–182
- Fornage BD, Nerot C (1987) Sonographic diagnosis of tuberculoid leprosy. *J Ultrasound Med* 6:105–107
- Gassner EM, Schocke M, Peer S et al. (2002) Persistent median artery in the carpal tunnel: color Doppler ultrasonographic findings. *J Ultrasound Med* 21:455–461
- Graif M, Seton A, Nerubali J et al. (1991) Sciatic nerve: sonographic evaluation and anatomic-pathologic considerations. *Radiology* 18:405–408
- Gruber H, Peer S, Kovacs P et al. (2003) The ultrasonographic appearance of the femoral nerve and cases of iatrogenic impairment. *J Ultrasound Med* 22:163–172
- Hide IG, Grainger AJ, Naisby GP et al. (1999) Sonographic findings in the anterior interosseous nerve syndrome. *J Clin Ultrasound* 27:459–464
- Hoddick WK, Callen PW, Filly RA et al. (1984) Ultrasound evaluation of benign sciatic nerve sheath tumors. *J Ultrasound Med* 3:505–507
- Hughes DG, Wilson DJ (1986) Ultrasound appearances of peripheral nerve tumors. *BJR* 59:1041–1043
- Jacobson JA, Jebson PJL, Jeffers AW et al. (2001) Ulnar nerve dislocation and snapping triceps syndrome: diagnosis with dynamic sonography – report of three cases. *Radiology* 220:601–605
- Kapral S, Krafft P, Eibenberger K et al. (1994) Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg* 78:507–513
- Keberle M, Jennett M, Kenn W et al. (2000) Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 10:1043–1050
- King AD, Ahuja AT, King W et al. (1997) Sonography of peripheral nerve tumors of the neck. *AJR* 169:1695–1698
- Kirchmair L, Entner T, Kapral S et al. (2002) Ultrasound guidance for the psoas compartment block: an imaging study. *Anesth Analg* 94:706–710
- Kovacs P, Gruber H, Piegger J et al. (2001) New, simple ultrasound-guided infiltration of the pudendal nerve: ultrasonographic technique. *Dis Colon Rectum* 44:1381–1385
- Iannicelli E, Chianta GA, Salvini V et al. (2000) Evaluation of bifid median nerve with sonography and MR imaging. *J Ultrasound Med* 19:481–485
- Lee D, van Holsbeeck MT, Janevski PK et al. (1999) Diagnosis of carpal tunnel syndrome. Ultrasound versus electromyography. *Radiol Clin North Am* 37:859–872
- Lin J, Jacobson JA, Hayes CW (1999) Sonographic target sign in neurofibromas. *J Ultrasound Med* 18:513–517
- Lin J, Martel W (2001) Cross-sectional imaging of peripheral nerve sheath tumors: characteristic signs on CT, MR imaging, and sonography. *AJR* 176:75–82
- Martinoli C, Bianchi S, Derchi LE (1999) Tendon and nerve sonography. *Radiol Clin North Am* 37:691–711
- Martinoli C, Bianchi S, Derchi LE (2000) Ultrasonography of peripheral nerves. *Seminars US CT MR* 21:205–213
- Martinoli C, Bianchi S, Gandolfo N et al. (2000) US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs. *RadioGraphics* 20:199–217
- Martinoli C, Bianchi S, Santacroce E et al. (2002) Brachial plexus sonography: a technique for assessing the root level. *AJR* 179:699–702
- Martinoli C, Bianchi S, Prato N et al. (2003) US of the shoulder: non-rotator cuff disorders. *RadioGraphics* 23:381–401
- Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M et al. (2000) US and MR imaging of peripheral nerves in leprosy. *Skeletal Radiol* 29:142–150

41. Martinoli C, Schenone A, Bianchi S et al. (2002) Sonography of median nerve in Charcot-Marie-Tooth disease. *AJR* 178:1553–1556
42. Martinoli C, Serafini G, Bianchi S et al. (1996) Ultrasonography of peripheral nerves. *J Periph Nerv Syst* 1:169–178
43. Murphey MD, Smith WS, Smith SE et al. (1999) Imaging of musculoskeletal neurogenic tumors: radiologic-pathologic correlation. *RadioGraphics* 19:1253–1280
44. Nakamichi K, Tachibana S (1995) Restricted motion of the median nerve in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg [Br]* 20:460–464
45. Nakamichi K, Tachibana S, Kitajima I (2000) Ultrasonography in the diagnosis of ulnar tunnel syndrome caused by an occult ganglion. *J Hand Surg [Br]* 25:503–504
46. Okamoto M, Abe M, Shirai H et al. (2000) Morphology and dynamics of the ulnar nerve in the cubital tunnel: observation by ultrasonography. *J Hand Surg [Br]* 25:85–89
47. Ootaki C, Hayashi H, Amano M (2000) Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block: an alternative technique to landmark-guided approaches. *Reg Anesth Pain Med* 25:600–604
48. Peer S, Bodner G, Mairer R et al. (2001) Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *AJR* 177:415–419
49. Propeck T, Quinn TJ, Jacobson JA et al. (2000) Sonography and MR imaging of bifid median nerve with anatomic and histologic correlation. *AJR* 175:1721–1725
50. Puig S, Turkof E, Sedivy R et al. (1999) Sonographic diagnosis of recurrent ulnar nerve compression by ganglion cysts. *J Ultrasound Med* 18:433–436
51. Quinn TJ, Jacobson JA, Craig JG, van Holsbeeck MT (2000) Sonography of Morton's neuromas. *AJR* 174:1723–1728
52. Rasmussen MR, Kitaoka HB, Patzer GL (1996) Nonoperative treatment of plantar interdigital neuroma with a single corticosteroid injection. *Clin Orthop* 326:188–193
53. Read JW, Noakes JB, Kerr D et al. (1999) Morton's metatarsalgia: sonographic findings and correlated histopathology. *Foot Ankle Int* 20:153–161
54. Redd RA, Peters VJ, Emery SF et al. (1989) Morton neuroma: sonographic evaluation. *Radiology* 171:415–417
55. Shafiqhi M, Guranluoglu R, Ninkovic M et al. (2003) Ultrasonography for depiction of brachial plexus injury. *J Ultrasound Med* 22:631–634
56. Sheppard DG, Iyer RB, Fenstermacher MJ (1998) Brachial plexus: demonstration at US. *Radiology* 208:402–406
57. Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE et al. (1995) Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology* 197:291–296
58. Simonetti S, Bianchi S, Martinoli C (1999) Neurophysiological and ultrasound findings in sural nerve lesions following stripping of the small saphenous vein. *Muscle Nerve* 22:1724–1726
59. Sobieski GA, Wertheimer SJ, Schulz R et al. (1997) Sonographic evaluation of interdigital neuromas. *J Foot Ankle Surg* 36:364–366
60. Thain LMF, Downey DB (2002) Sonography of peripheral nerves: technique, anatomy, and pathology. *Ultrasound Quarterly* 18:225–245
61. Yang WT, Chui PT, Metreweli C (1998) Anatomy of the normal brachial plexus revealed by sonography and the role of sonographic guidance in anesthesia of the brachial plexus. *AJR* 171:1631–1636

Beate Bahner

Das neue Werberecht für Ärzte

Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2003, 247 S., (ISBN 3540412972), 39,95 EUR



Der Deutsche Ärztetag hat das ärztliche Werbeverbot aufgehoben. Ärzte dürfen somit für ihre Leistungen sachlich werben und zu ihren Kollegen in Konkurrenz treten. Untersagt ist lediglich eine berufswidrige Werbung.

Der Band ist durchgehend von der Forderung gekennzeichnet, die nach wie vor bestehenden restriktiven Vorschriften weiter zu lockern. Die Verfasserin vertritt dabei diese Forderung von der ersten bis zur letzten Seite außerordentlich engagiert. An manchen Stellen des Bandes wünscht sich der Leser vielleicht ein wenig mehr Distanz und objektive Darstellung. Zugleich macht aber diese persönliche Stellungnahme auch den besonderen Reiz des Buches aus. Bahner versteht es lebhaft zu schreiben, ihr Stil ist locker, ihre Sprache leicht verständlich. Sie scheut keine klaren Worte.

Einführend klärt Bahner zunächst, was unter den Begriffen "Werbung" und "Wettbewerb" zu verstehen ist. Schon hier zeigt sich, dass die Autorin nicht nur den juristisch Vorgebildeten als Zielgruppe anvisiert, sondern insbesondere die Betroffenen: Die Ärzteschaft.

Es schließt sich eine kurze zeitgeschichtliche Abhandlung über die Entwicklung vom ursprünglich uneingeschränkten Werbeverbot zum Status Quo an. Die Autorin arbeitet anhand der jahrzehntelangen Rechtsprechung des BVerfG anschaulich heraus, dass es sich um ein weitgehend verfassungswidriges Werbeverbot handelte. Auch hinsichtlich der Verfassungsmäßigkeit der neuen Regelungen bestehen erhebliche Bedenken. Aufhorchen lassen einen vor allem zwei Tatsachen. Erstens, dass die Berufsbeschränkungen nicht durch den Bundes- oder Landesgesetzgeber (wie z.B. bei Rechtsanwälten) vorgenommen werden, sondern durch die Berufsordnungen der jeweiligen Landesärztekammern. Und zweitens, dass Werbevorschriften von anderen freien Berufen mit relativ geringen Regelungen auskommen, während diejenigen der Ärzte weitaus umfangreicher sind.

Dann beschäftigt sich Bahner mit den rechtlichen Grundlagen der ärztlichen Werbung. Sie geht dabei von der verfassungsrechtlich ge-

schützten freien Berufswahl aus. Dem schließt sich das detaillierte und umfangreiche Kapitel der erlaubten bzw. unerlaubten Werbung an. Hier werden sämtliche in der Praxis wichtigen Fragen angesprochen: Praxisschild, Anzeigen/Inserate, Praxisbroschüren/Patienteninformationen, Internet/Homepage, Briefkopf/Stempel, Verzeichnisse/Gelbe Seiten, Medienauftritte/Publikationen, Presseberichte, besondere Dienstleistungen und sonstige Werbemaßnahmen. Dank der gelungenen Gliederung findet sich der Leser innerhalb kürzester Zeit zurecht und weiß immer genau, wo er ist. Gerade dieser Teil ist ideal zum späteren Nachschlagen geeignet.

In einem gesonderten Kapitel geht die Autorin dann dezidiert auf die Grenzen der ärztlichen Werbung ein. Neben der Beschränkung durch die Musterberufsbeordnung sind hier vor allem das UWG und das Heilmittelwerbegesetz zu nennen. Ausführlich wird sich mit der berufswidrigen Werbung (irreführend, anpreisend, vergleichend) auseinandergesetzt. Gerade der Nichtjurist wird der Verfasserin für diese Erläuterungen danken, handelt es sich doch um ein relativ komplexes Spezialgebiet. Die wichtigsten Punkte werden noch einmal kurz zusammengefasst und grafisch hervorgehoben werden. Auf Dauer etwas nervig ist hier einzig das Layout: Anstatt der Zentrieren-Funktion hätte es der Übersichtlichkeit weitaus mehr gedient, wenn die Texte im üblichen Blocksatz formatiert worden wären. Das jetzige Format stört leider erheblich den Lesefluss.

Im vorletzten Teil werden kurz die Rechtsfolgen und der prozessuale Teil (Abmahnung, Schutzschrift, einstweilige Verfügung) erwähnt. In einem Exkurs wird speziell auf Klinik- und Institutswerbung eingegangen, da hier die Rahmenbedingungen von den allgemeinen ärztlichen Vorschriften doch erheblich abweichen, da diese Träger weitaus weniger restriktiven Vorschriften unterliegen.

Im Anhang finden sich neben den wichtigsten gesetzlichen Vorschriften ein ausführliches Literatur- und Stichwortverzeichnis. Weitere Informationen, aktuelle Urteile und Anmerkungen erhält der Leser auf der Homepage der Autorin: <http://www.beatebahner.de>

Das Werk ist eine ausgezeichnete, aktuelle Abhandlung über das Werberecht bei Ärzten. Nicht nur spezialisierten Rechtsanwälten ist dieser Band ans Herz zu legen; auch für den juristisch nicht vorgebildeten Arzt ist er eine ideale Einführung.

Martin Bahr ()