

Nervensonografie

Dr. Böhm, Berlin

Wofür ist die Nervensonografie geeignet?

Ultraschallgeräte mit hochauflösenden Linearschallköpfen und verbesserten Bildverarbeitungsverfahren werden weltweit zunehmend für die bildgebende Diagnostik bei peripheren Nervenerkrankungen eingesetzt. Die Nervensonografie ermöglicht den Nachweis struktureller Veränderungen der peripheren Nerven bei einer Reihe von pathologischen Prozessen und erhöht als komplementäre Methode zur Elektrophysiologie die diagnostische Treffsicherheit in der täglichen Routinediagnostik peripherer Nervenerkrankungen. Die hohe Auflösung ermöglicht die Abbildung des Epineuriums, von einzelnen Faszikeln und des Perineuriums. Die zusätzliche Farbduplexfunktion hilft bei der Darstellung von Gefäßen, was zur Beurteilung der Vaskularisation eines Nervs oder zum Aufsuchen von Gefäßen als anatomische Orientierungshilfe zum Aufsuchen von Nerven hilfreich sein kann. Bei Nervenkompressionssyndromen können neben der Kompressionsstelle die Ursache der Kompression identifiziert und operationsrelevante anatomische Varianten dargestellt werden. Ursachen postoperativer Restbeschwerden oder von Rezidiven lassen sich ermitteln. Hochgradige Nervenverletzungen, die immer einer chirurgischen Therapie bedürfen, können mit der Nervensonografie sehr frühzeitig erkannt werden. Außerdem ermöglicht die Sonografie eine genaue Aussage über Lokalisation, Ausmaß und Ursache einer traumatischen Nervenläsion. Intraoperativ hilft die Sonografie neben der Elektrophysiologie zur Therapieplanung bei Nervenrekonstruktionen, einschließlich beim sog. fascicular repair. Benigne und maligne periphere Nervenscheidentumore sowie andere Raumforderungen mesenchymalen Ursprungs im Nerven sind nachweisbar. Die Sonografie liefert bei Polyneuropathien teilweise Zusatzinformationen zur Ätiologie (z.B. immunvermittelt, hereditär) und zum Muster der Nervenläsionen (generalisiert, fokal, faszikulär) und kann pathologische Veränderungen an elektrophysiologisch unauffälligen Stellen nachweisen. Ultraschallgestützte Nervenblockaden erhöhen die Trefferquote und helfen gleichzeitig Komplikationen zu vermeiden. Die Zielgenauigkeit wird bei sonografiegesteuerten Interventionen erhöht (z.B. bei Meralgia parästhetica, Karpaltunnelsyndrom, Botulinumtoxinapplikation). Bezüglich der sonografiegesteuerten Regiolanalanästhesie wird auf die diesbezügliche spezielle Literatur verwiesen.

Sonografisch können verschiedene Muskelpathologien erkannt werden. Durch die Musteranalyse der pathologisch veränderten Muskeln können u.a. Rückschlüsse auf den Läsionsort bei neurogenen Schädigungen gezogen werden. Durch die dynamische Untersuchung können lageabhängige Veränderungen der Nerven nachgewiesen werden.

Wegen der niedrigen Zeit- und Kostenintensivität im Vergleich zur 3-T-MR-Neurographie und der Möglichkeit der bewegungsabhängigen, dynamisch-funktionellen Untersuchung (z.B. Luxation des N. ulnaris im Sulcus ulnaris, Fixierung der Nerven durch eine Narbenplatte) mit kontinuierlicher Beurteilung des gesamten Nervenverlaufs (auch bedside) stellt die Nervensonographie die Methode der ersten Wahl bei der routinemäßigen Bildgebung der meisten peripheren Nerven dar.

Welche sind die technischen Voraussetzungen der Nervensonografie?

Voraussetzungen für eine sachgerechte nervensonographische Diagnostik sind neben sehr guten Kenntnisse der sonographischen Schnittbildanatomie sowie der peripher-neurologischen Krankheitsbilder leistungsfähige Ultraschallgeräte mit entsprechenden hochauflösenden Linearschallköpfen. Als technische Mindestausstattung werden hochauflösende Breitbandlinearschallköpfe mit einer Maximalfrequenz zwischen 12-18 MHz empfohlen, womit sich die meisten oberflächlich liegenden Nerven untersuchen lassen. Bei einer Sendefrequenz von 18 MHz erreicht man z.B. in einer Untersuchungstiefe von 1-2 cm eine axiale Auflösung von 550 µm und eine laterale Auflösung von 800 µm. Dadurch wird die Darstellung einzelner Faszikel sowie des umhüllenden Bindegewebes (Perineurium, Epineurium) möglich. Mit Hilfe der Farbduplexfunktion kann zusätzlich eine Beurteilung der Vaskularisation des Epineuriums erfolgen und größere Gefäße lassen sich als anatomische Landmarken leicht auffinden. Noch höherfrequenterer (20-22 MHz) Linearschallköpfe erlauben eine genauere Darstellung sehr kleiner Nerven, einschl. kleiner digitaler und kutaner Äste und auch genauere Beurteilung faszikulärer Läsionen. Für die Untersuchung des tiefer liegenden N. ischiadicus im mittleren und proximalen Bereich des Oberschenkels und gluteal kann die Verwendung niedrigerfrequenterer Sonden und ggf. von Konvexschallköpfen notwendig werden.

Der Einsatz spezieller Bildbearbeitungsverfahren (z.B. Compound Imaging, Tissue Harmonic Imaging, High Resolution Imaging) verbessert die Bildqualität und trägt zur besseren Darstellung der Gewebegrenzen und zur Artefaktunterdrückung bei. Mit Hilfe des sog. 'extended field-of-view' oder „panorama-view“ können durch Rekonstruktion mehrerer longitudinaler Bilder längere Abschnitte des Nervs zusammenhängend dargestellt werden.

Wie werden die Nerven untersucht?

Das Auffinden peripherer Nerven gelingt am einfachsten mit der sog. Landmarkentechnik. Dabei sucht man zunächst im Querschnitt nach leicht identifizierbaren anatomischen Strukturen (Knochen, Gefäße, Muskeln) in deren Nähe sich der betreffende Nerv befindet. Danach werden die Nerven distal und proximal in ihrem Verlauf verfolgt. Zusätzlich werden die Nerven auch im Längsschnitt untersucht, um z.B. fokale Kaliberschwankungen, Kontinuitätsunterbrechungen oder äußere Kompressionsursachen besser zu erkennen. Pathologische Befunde sollten stets in 2 Ebenen dokumentiert werden. Videosequenzen können zum besseren Verständnis der Befunde, insbesondere bei bewegungsabhängigen Pathologien (z.B. Luxation des N. ulnaris, Thoracic outlet Syndrom) von Vorteil sein. Bedingt durch die Anisotropie peripherer Nerven und Sehnen wird eine optimale Echogenität nur bei streng senkrechter Beschallung erreicht. Da periphere Nerven außerdem in ihrem Verlauf häufig die Tiefe ändern, ist eine kontinuierliche Anpassung des elektronischen Fokus und ggf. der Sendefrequenz notwendig. Gelvorlaufstrecken erhöhen die Bildqualität durch eine verbesserte Ankopplung und sind besonders in Regionen mit unebener Körperoberfläche oder bei sehr oberflächlich liegenden Strukturen von Vorteil.

Im Querschnitt stellt sich ein normaler peripherer Nerv mit einem bienenwabenartigen Echomuster („honey comb“) dar, bei dem die einzelnen Faszikel echoarm und das umgebende Perineurium echoreich erscheinen. Im Längsschnitt weist der periphere Nerv eher ein kabelartiges Aussehen auf, ganz im Gegensatz zur fibrillären Echotextur der Sehnen, die außerdem immer in einen Muskelbauch übergehen. Die sonographisch abgebildete

Faszikelzahl variiert abhängig von der Auflösung von der tatsächlichen Anzahl. Wichtigster quantitativer Untersuchungsparameter ist die Bestimmung der Nervenquerschnittsfläche (CSA – cross sectional area). Die Messung erfolgt innerhalb der Grenze zwischen echoarmen Faszikeln und echoreichem Epineurium durch Umfahren mit dem Cursor.

Welche Indikationen gibt es?

Häufige Einsatzgebiete sind Nervenkompressionssyndrome, postoperative Komplikationen, traumatische Nervenläsionen, verschiedene Mononeuropathien ungeklärter Ätiologie, Polyneuropathien, periphere Nervenscheidentumoren und ultraschallgestützte Interventionen.

Bei Kompressionsneuropathien findet sich sonographisch ein Kalibersprung des betroffenen Nervs an der Stelle der Kompression mit einer dadurch bedingten Verminderung der Nervenquerschnittsfläche („cross sectional area“, CSA) bei transversaler und des Kalibers bei longitudinaler Beschallung. Zusätzlich ist der Bereich proximal der Kompression durch eine fokale Nervenschwellung mit einer Zunahme von Nervenquerschnittsfläche bzw. Kaliber charakterisiert.

Beim Karpaltunnelsyndrom (KTS) ist ein einfacher und schnell durchführbarer sonographischer Test zur Diagnosebestätigung eines KTS die Messung der Nervenquerschnittsfläche (CSA) am Karpaltunneleingang. Entsprechend den evidenzbasierten Leitlinien der „American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine“ (AANEM) besitzt die Sonographie hierfür den Empfehlungsgrad A. Durch die zusätzliche Messung der Nervenquerschnittsfläche (CSA) am Karpaltunneleausgang sowie der Anwendung von Nervenquerschnittsverhältnissen (sog. wrist-to-forearm-ratio (WFR) und palm-to-forearm ratio (PFR) (Aranyi et al., noch nicht publiziert) kann die Sensitivität zur Diagnosesicherung weiter erhöht werden. Trotz der guten Sensitivität und Spezifität der Sonographie zur Diagnostik eines KTS bleibt die Elektrophysiologie zum Ausschluss anderer peripherer Erkrankungen, zur Quantifizierung der Nervenschädigung und zur Verlaufsuntersuchung unter Therapie unverzichtbar. Allerdings kann die Sonographie in Einzelfällen die Elektrodiagnostik bei stromempfindlichen Patienten (v. a. Kindern) oder bei Patienten mit Defibrillator ersetzen. Darüber hinaus liefert sie als komplementäres Untersuchungsverfahren präoperativ Informationen über die Ätiologie einer Nervenkompression und über operationsrelevante anatomische Varianten. Im Gegensatz zu den evidenzbasierten Leitlinien der „American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine“ (AANEM) sieht die aktuelle deutsche S3-Leitlinie 06/12 bei „starker Untersucherabhängigkeit der sonographischen Diagnostik des KTS“ nur den „Evidenzgrad O/Empfehlung offen“ vor.

Beim Kubitaltunnelsyndrom (KUTS) kann analog zum KTS durch die Messung der Nervenquerschnittsfläche (CSA) an der Stelle der maximalen Erweiterung (Cut-off $\geq 10 \text{ mm}^2$, Sensitivität 88 %, Spezifität 88 %) oder durch die Berechnung des CSA-Quotienten („cubital-to-humeral nerve area ratio“, CHR mit einem pathologischem Wert $> 1,4$, Sensitivität 86 %, Spezifität 87 %) die Diagnose gesichert werden. Beim KUTS erhöht zusätzlich die Kombination von Nervensonographie und Elektrodiagnostik die diagnostische Treffsicherheit. Analog zum KTS liefert die Sonographie zusätzliche Informationen über sekundäre Kompressionsursachen wie z. B. posttraumatische knöcherne Veränderungen und Weichteilverdickungen, Ganglienzysten sowie einen akzessorischen M. anconaeus epitrochlearis. Ein verdicktes, hyperechogenes Epineurium des N. ulnaris im Sulcus ulnaris kann auf dessen Luxation hinweisen, was durch die ergänzende dynamische Untersuchung in

Extensions- und Flexionsstellung bewiesen werden sollte. Auch bei den seltenen Entrapmentsyndromen (z. B. Loge de Guyon-Syndrom, Supinatorlogensyndrom, Tarsaltunnelsyndrom, Incisura scapulae, Meralgia parästhetica) lassen sich die Lokalisation und oft die Ursachen der Nervenkompression sonographisch nachweisen. Sogar beim schwierig zu diagnostizierendem Thoracic outlet Syndrom lassen sich typische Befunde, wie z.B. die Kompression der unteren Plexusanteile durch die hyperechogene verdickte mediale Kante des M. scalenus medius, aber auch komprimierende fibröse Bänder oder Knochenanomalien nachweisen.

Zunehmende Bedeutung kommt der Nervensonographie bei postoperativ persistierenden Beschwerden, insbesondere wegen der Häufigkeit der Eingriffe nach Dekompression eines KTS oder KUTS zu, weil sich dadurch in der Mehrzahl der Fälle die Ursache der fortbestehenden Nervenkompression darstellen lässt, wie z. B. ein inkomplett gespaltenes Retinaculum flexorum, komprimierendes Narbengewebe, iatrogene Nervenverletzungen mit z.B. partieller Faszikelläsion, Neuombildung oder Durchtrennung, aber auch Hämatome, Infektionen, Tenosynovitiden sowie Raumforderungen im Nervenverlauf.

Traumatische Nervenläsion sind zwar vergleichsweise selten (Inzidenz 1,6–2,0 %, Prävalenz 5,8 %), aber besonders die iatrogenen Nervenläsionen bilden mit 17,0–25,7 % einen nicht zu unterschätzenden Anteil und verursachen außerdem überdurchschnittlich hohe Kosten. Bei offenen Traumen oder im Falle einer osteosynthetischen Versorgung erfolgt routinemäßig die intraoperative Darstellung und Inspektion der involvierten Nerven, so dass hier im Falle einer hochgradigen Schädigung (Sunderland IV oder V) direkt chirurgisch eingegriffen werden kann. Ein neurologisches Defizit, insbesondere eine komplette Lähmung ohne erhaltene Restmotorik, nach einem stumpfen Trauma oder einem chirurgischen Eingriff ist hingegen ein Problem, da sich hier stets die Frage stellt, ob eine konservative Behandlung ausreicht (Sunderland I–II, teilweise III) oder ob eine operative Versorgung (Sunderland IV und V) indiziert ist. Die Elektrodiagnostik kann diese Frage erst nach mehreren Monaten indirekt durch den Nachweis der Reinnervation beantworten. Zwischenzeitlich kann sich die Prognose hinsichtlich einer vollständigen Restitution der Muskelfunktion durch einen irreversiblen bindegewebigen Umbau der Muskulatur oder durch eine reinnervationsbehindernde perineurale Fibrose deutlich verschlechtern. Die Sonographie ermöglicht mit hoher Treffsicherheit (93 %) die frühzeitige Detektion von hochgradigen Nervenverletzungen (Sunderland IV und V) durch den Nachweis des Verlusts der Nervenkontinuität bzw. des hypoechogenen Stumpf- oder Kontinuitätsneuroms, so dass Patienten von einer schnelleren nervenchirurgischen Versorgung profitieren.

Im Gegensatz zur Elektrodiagnostik ermöglicht der hochauflösende Ultraschall darüber hinaus die sehr exakte, millimetergenaue Lokalisation der Nervendurchtrennung bzw. des Neuroms. Weiterhin lassen sich mehrere, hintereinander gelegene Verletzungen (Mehretagenläsion) aufdecken sowie Aussagen über die Ätiologie (z. B. Kompression durch Hämatome, Kallus oder Osteosynthesematerial) treffen. Auch intraoperativ gewinnt die Neurosonographie durch die genaue Identifikation von intakten und lädierten Faszikeln zunehmend an Bedeutung.

Periphere Nervenscheidentumoren sind insgesamt selten (10 % aller gutartigen Weichteiltumoren) und manifestieren sich häufig an den Nervenwurzeln, am Plexus brachialis sowie an den großen Nervenstämmen. Die häufigsten benigne Nerventumore sind Neurinome (Schwannome) oder Neurofibrome. Das klassische sonographische Merkmal eines solitären Nervenscheidentumors ist der Ein- und Austritt eines peripheren Nervs in die

bzw. aus der fusiformen, ovoiden, rundlichen oder irregulären Raumforderung. Duplexsonografisch kann eine evtl. Vaskularisierung untersucht werden. Eine sichere sonographische Differenzierung zwischen den einzelnen Tumorarten ist bisher nicht möglich. Bezüglich der Tumore wird auf die spezielle Literatur verwiesen.

Sonographisch können bei Polyneuropathien generalisierte oder multifokale Zunahmen der Nervenquerschnittsflächen und ggf. der einzelnen Faszikeldiameter bei transversaler Beschallung und diffuse oder fokale Kalibererweiterungen bei longitudinaler Beschallung dargestellt werden. Diese Veränderungen wurden schwerpunktmäßig an der oberen Extremität und dort an proximal gelegenen Nervenabschnitten (zervikale Wurzeln, Plexus brachialis und proximaler Oberarmbereich) vorwiegend bei demyelinisierenden und immunvermittelten Polyneuropathien sowie bei hereditären Polyneuropathien (insbesondere CMT 1a, HNPP) beschrieben. An den genannten Lokalisationen ist es häufig elektrodiagnostisch schwierig, die Nervenbeteiligung nachzuweisen. Es gibt zunehmend Literatur zu verschiedenen Polyneuropathien(z.B. axonal und infektiös) und zu Veränderungen der Nervenmorphologie unter Therapie (z.B. bei CIDP). Diesbezüglich wird auf die aktuelle Literatur verwiesen. Der Nachweis von Nervenhypertrophien kann bei der differenzialdiagnostischen Abgrenzung behandelbarer Immunneuropathien (multifokale motorische Neuropathie, MMN) gegenüber anderen neurodegenerativen Erkrankungen mit infauster Prognose (amyotrophen Lateralsklerose, ALS) hilfreich sein.

Die Sonografie eignet sich sehr gut zur Untersuchung seltener Neuropathien. Exemplarisch zu erwähnen sind Nerventorsionen, die einzeln oder mehrfach hintereinander auftreten und den ganzen Nerv oder nur einzelne Faszikel betreffen können oder die neuralgische Schultermyotrophie, die fokale, segmentale oder nur faszikuläre Läsionen aufweist.

Wie wird die Nervensonografie abgerechnet?

Die Nervensonografie gehört nicht zum Leistungskatalog der gesetzlichen Krankenkassen. Daher wird sie bei den gesetzlich versicherten Patienten gemäß der Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ) als sog. IGeL (Individuelle Gesundheitsleistung) abgerechnet.