

Radiologie 2017 · 57:166–175
DOI 10.1007/s00117-016-0203-x
Online publiziert: 4. Januar 2017
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.



A. Loizides¹ · L. Gruber¹ · S. Peer² · M. Plaikner¹ · H. Gruber¹

¹ Department Radiologie, Medizinische Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich

² CTI GesmbH und Roentgeninstitut B7, Innsbruck, Österreich

Ultraschallgesteuerte Interventionen am peripheren Nervensystem

Hintergrund

Die hochauflösende Sonographie hat sich in den letzten Dekaden aufgrund der relativen geringen Kosten, des Fehlens ionisierender Strahlung sowie der breiten Verfügbarkeit zu einer wichtigen Methode der Beurteilung sehr kleiner muskuloskelettaler Strukturen und insbesondere peripherer Nerven etabliert. So kann jede Läsion in einer beliebigen Ebene herausgearbeitet und somit topographisch und hinsichtlich Ursprung teilweise der Entität zugeordnet werden [1]. Ende des 20. Jahrhunderts wurden die ersten sonographisch gesteuerten Blockaden durchgeführt [2, 3]: die perineuralen Blockaden erfolgten bis dahin – teilweise noch heute – „blind“, zwar manchmal mit gutem Erfolg, aber doch nicht durchgehend. Im Gegensatz dazu ermöglicht es die ultraschallgesteuerte Blockadetechnik, sowohl die Zielstrukturen zu visualisieren als auch den optimalen Zugangsweg darzustellen, um die unerwünschte Punktation von Strukturen zu vermeiden. Auch in der Schmerzbehandlung ist die Sonographie heute nicht mehr wegzudenken: Die zielgenaue Applikation von Steroiden, Lokalanästhetika, Alkohol etc. unter sonographischer Führung in Echtzeit hat die Schmerztherapie insbesondere bei sehr kleinen Nervenästen revolutioniert. Sie wird als eine minimal-invasive Therapieoption angesehen, welche als Überbrückung zur Operation oder gar als alternative Methode zur chirurgischen Behandlung fungieren kann.

Im folgenden Beitrag werden die wichtigsten sonographischen Interven-

tionen am Plexus brachialis und peripheren Nervensystem erläutert.

Hinsichtlich der Interventionsvorbereitung gelten auch bei Eingriffen am peripheren Nervensystem wie bei allen US-gezielten Interventionen standardisierte Hygienemaßnahmen:

- die Intervention sollte in geeigneten Räumlichkeiten durchgeführt werden,
- empfohlen wird das Tragen einer Haube und eines Mundschutzes,
- nach Händedesinfektion erfolgt die Hautdesinfektion der gewünschten Stelle,
- die für den sonographischen Zugang nicht relevanten Regionen werden abgedeckt, am besten mit selbstklebenden Lochtüchern 8 × 8 oder 8 × 10 cm,
- erforderlich sind eine sterile Abdeckung des Schallkopfs sowie die Verwendung eines sterilen Ultraschallgels.

Blockaden des Plexus brachialis

Plexus-brachialis-Blockaden mit Kokain wurden erstmals im Jahr 1884 von Hall [4] beschrieben und waren ein Meilenstein auf dem Gebiet der Regionalanästhesie. Erst die Einführung der ultraschallgesteuerten Plexusblockade revolutionierte die Regionalanästhesie und führte dazu, dass diese bis heute als Methode der ersten Wahl angesehen wird [2, 3].

Interskalenäre Blockade

Die ultraschallgezielte interskalenäre Blockade ist bis dato die Methode der Wahl zur Anästhesie oder Analgesie bei Schulteroperationen: Der Patient wird auf dem Rücken gelagert und der Kopf um etwa 45° zur kontralateralen Seite geneigt. Der Schallkopf wird in einer transversalen Orientierung am mittleren Drittel des Halses lateral positioniert und die Mm. scalenus anterior und medius aufgesucht. Der interskalenäre Plexus brachialis kann in diesem Zugang als traubenförmige Struktur zwischen den 2 Muskeln dargestellt werden (Abb. 1a, b). Die Punktation erfolgt mithilfe einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel in In-plane-Technik von lateral nach medial, wobei maximal 20 ml des Lokalanästhetikums ausreichen. Eine nicht so seltene Komplikation, die bei der interskalenären Blockade beobachtet wird, ist die sekundäre Phrenikusparese (Abgang C4) mit transientser Zwerchfellparese [5, 6]. Riazi et al. [6]. konnten in ihrer Studie zeigen, dass 5 ml des Lokalanästhetikums den gleichen analgetischen Effekt aufweisen wie die Injektion von 20 ml, dass aber die Rate der unerwünschten Zwerchfellparenese deutlich geringer ist.

Supraklavikuläre Blockade

Indikationen für die supraklavikuläre Plexusblockade sind Operationen an Oberarm, Unterarm und Hand. Ähnlich wie bei der interskalenären Blockade wird der Patient in Rückenlage platziert und der Kopf um 45° zur Gegenseite

Hier steht eine Anzeige.



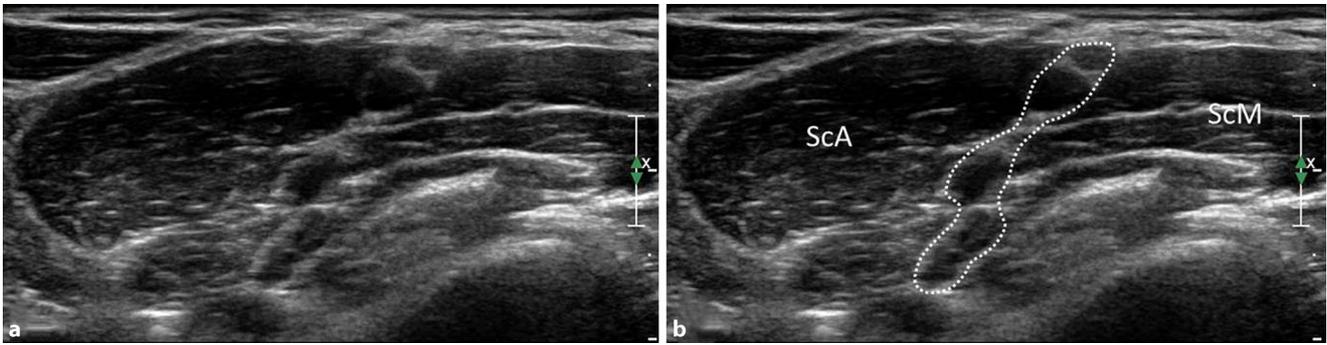


Abb. 1 ▲ a, b Sonographischer Transversalschnitt mit Darstellung des interskalären unteren Plexus brachialis (gestrichelte Linie in b). ScA M. scalenus anterior, ScM M. scalenus medius

geneigt. Der Schallkopf wird parallel zur Klavikula auf Höhe der Fossa supraclavicularis positioniert und nach kaudal gerichtet. Dort kann der Plexus als Nervenbündel („bunch of grapes“) lateral der A. subclavia und kranial der 1. Rippe dargestellt werden. Empfohlen wird eine Punktion mithilfe einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel in In-plane-Technik von lateral nach medial, wobei auch Punktionen von medial nach lateral beschrieben wurden. In einer Studie von Perlas et al. [7], wurden die beiden Zugänge an 510 Patienten verglichen: Beim Zugang von medial nach lateral kam es bei 2 Patienten zu einer Gefäßverletzung – keine Komplikation trat beim Zugang von lateral nach medial auf. Um die bestmögliche Anästhesie zu gewährleisten, sollte das Lokalanästhetikum oberhalb der 1. Rippe und lateral der A. subclavia injiziert werden [8].

Die häufigste Komplikation beim supraclavikulären Plexusblock stellt der Pneumothorax dar. Mithilfe der Sonographie kann jedoch dieses Risiko minimiert werden: nach Platzierung des Schallkopfs in der Fossa supraclavicularis erscheint die 1. Rippe als hyperechogene Linie kaudal des Plexus und der A. subclavia. Versetzt und medial davon zeigt sich eine zweite hyperechogene Linie, welche die Pleura bzw. die Oberfläche der belüfteten Lunge darstellt (▣ Abb. 2a, b). Um eine akzidentelle Punktion der Pleura zu vermeiden, ist die Unterscheidung dieser 2 hyperechogenen Linien voneinander sehr wichtig. Einerseits kann aufgrund der Lage (1. Rippe immer lateral) die Pleura dargestellt werden, andererseits kann die Pleura durch klas-

sische sonographische Merkmale sehr einfach definiert werden: Bei In- und Expiration beobachtet man das sogenannte Pleuragleiten. Zudem können Reverberationsartefakte kaudal der hyperechogenen Pleuralinie sowie Kometenschweifartefakte dargestellt werden, sodass die Unterscheidung von der hyperechogenen 1. Rippe vereinfacht wird [7].

Infraklavikuläre Blockade

Ähnlich wie bei der supraclavikulären Plexusblockade wird die infraklavikuläre Blockade für die Anästhesie und Analgesie am Oberarm, Unterarm und Hand eingesetzt. Der Patient wird in Rückenlage positioniert und der Arm um 90° abduziert. Der Schallkopf wird in einer parasagittalen infraklavikulären Orientierung aufgesetzt: Dargestellt werden A. und V. axillaris, welche kaudal von den Trunci des Plexus brachialis umgeben sind. Die Punktion erfolgt mit einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel in In-plane-Technik. Die häufigste Komplikation stellt nach wie vor der Pneumothorax dar: Um eine Pleuraverletzung zu vermeiden, empfiehlt es sich, den Arm zusätzlich nach außen zu rotieren – dadurch nähert sich der Plexus der Hautoberfläche an und entfernt sich von der Lunge [9].

Axilläre Blockade

Die axilläre Plexusblockade ist die am häufigsten eingesetzte Blockade für Operationen am Handgelenk. Der Patient wird in Rückenlage platziert und der Arm

um 90° abduziert. In einem Transversalschnitt wird der Schallkopf in einer mediokranialen Orientierung in der Achilla positioniert und die A. axillaris eingestellt: lateral der A. axillaris kommt der N. medianus zur Darstellung, medial davon der N. ulnaris und kaudal der N. radialis (▣ Abb. 3a, b). Zudem kann der N. musculocutaneus zwischen M. biceps brachii und M. coracobrachialis dargestellt werden. Die Punktion erfolgt mit einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel in In-plane-Technik. Im Jahr 1989 wurde erstmals die Sonographie für axilläre Blockaden angewendet und hat sich seither als Methode der ersten Wahl etabliert [10], da einerseits bessere Blockaden erzielt werden können und andererseits die Menge des Lokalanästhetikums reduziert werden kann [11, 12].

Interventionen bei Kompressionssyndromen am Beispiel der Nn. medianus und ulnaris

N. medianus

Der große Unterschied zwischen einer reinen fokalen Neurapraxie und einem spezifischen Kompressionssyndrom besteht darin, dass sich ein spezifisches Kompressionssyndrom (z. B. Karpaltunnelsyndrom) nicht spontan ad integrum erholt und immer eine therapeutische Intervention erfordert [13]. Das Karpaltunnelsyndrom in seiner typischen klinischen Präsentation wird in seinem zeitlichen Verlauf durch einen „Circulus vitiosus“ geprägt: Der Durchtritt des Nervs unter dem Retinaculum flexorum wird eingeeengt, mit der Folge einer inne-

ren Zirkulationsstörung des Nervs mit faszikulärem Aufstau, was wiederum die Enge und den Druck im Tunnel vermehrt, bis sich schließlich Reizleitungsstörungen, Demyelinisierungen und innere Ischämien etc. entwickeln. Diesen Teufelskreis unterbricht man natürlich am besten, indem man die Engstelle beseitigt, d. h. das Retinakulum chirurgisch spaltet. Falls dies – aus irgendwelchen Gründen – nicht möglich bzw. eine spontane Remission zu erwarten ist (Sonderfall „Schwangerschaftskarpaltunnelsyndrom“), ist eine sonographisch gezielte, therapeutische Instillation (neben einer NSAR-Therapie [nichtsteroidale Antirheumatika] und/oder einer Karpusschiene) als First-line-Option zu sehen.

Die Prozedur wird wie folgt durchgeführt [14–16]: da die Intervention in geringer Tiefe erfolgt, empfiehlt sich ein linearer Breitbandschallkopf mit Sendefrequenzen von 15 MHz oder höher. Die Intervention selbst beginnt mit der Darstellung des N. medianus am Karpaltunneleingang im Querschnitt, die 21- oder 22-G-Instillationsnadel wird immer in In-plane-Technik von ulnar (CAVE: radial abgehende Thenar- und Hautäste!) im Schallfeld an das im Querschnitt dargestellte Nervensegment herangeführt. Für die Instillation hat sich folgende Arzneimischung bewährt: 4–5 mg Betamethason in wässriger Lösung (z. B. Betamethason-Dinatriumphosphat) in Mischung mit 1 ml 2 %igem Procainhydrochlorid; Kortikoidkristallinsuspensionen werden aufgrund von Hinweisen auf unerwünschte Reizerscheinungen/Irritationen am peripheren Nerv bei uns nicht verwendet; die Beimischung von Lokalanästhetikum hat einen therapeutisch sehr geringen Effekt, hilft dem Patienten aber, die Prozedur „ruhig“ auszuhalten. Die Instillation selbst muss streng perineural erfolgen, das sonographische Bild zeigt eine ringförmig komplette Umspülung des Nervs durch das injizierte Therapeutikum (Abb. 4). Während der Injektion kann es für wenige Sekunden (wegen des karpalen Drückanstiegs) zu einschließenden, unangenehmen Sensationen kommen: Es empfiehlt sich, den Patienten entspre-

Radiologe 2017 · 57:166–175 DOI 10.1007/s00117-016-0203-x
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

A. Loizides · L. Gruber · S. Peer · M. Plaikner · H. Gruber

Ultraschallgesteuerte Interventionen am peripheren Nervensystem

Zusammenfassung

Klinisches/methodisches Problem. Die Intervention an peripheren Nerven im Sinne der Regionalanästhesie oder Schmerztherapie wurde bis zur Einführung der hochauflösenden Sonographie vorwiegend blind durchgeführt, was in manchen Fällen zum Interventionsversagen oder zu lokalen Gewebe- oder Nervenschäden führen konnte.

Methodische Innovationen. Durch Fortschritte der Sonographietechnik können nun viele verschiedene periphere Nerven, u. a. der Plexus brachialis oder Nerven der oberen und unteren Extremität, aber auch diverse Rumpfnerven, funktionell visualisiert, gezielt anästhesiert und antiinflammatorisch oder neurolytisch therapiert werden. Auch kontrastmittelgestützte Biopsien sind nun möglich.

Leistungsfähigkeit. Im Rahmen dieser Übersichtsarbeit werden die allgemeinen Voraussetzungen, die gezielte Darstellung und Interventionsalgorithmen für den Plexus brachialis, große häufig von Kompressions-

neuropathien betroffene periphere Nerven wie die Nn. medianus und ulnaris, ischiadicus sowie femoralis und für kleine Nerven wie den N. cutaneus femoris lateralis illustriert. Auch ultraschallgezielte Biopsien intra- und perineuraler Raumforderungen unter Zuhilfenahme der kontrastmittelgestützten Sonographie werden diskutiert. Des Weiteren wird die Therapie von Stumpfneuromen mittels Phenolinstillation beleuchtet.

Empfehlung für die Praxis. Innovationen in der hochauflösenden Sonographie erlauben eine zielsichere und nebenwirkungsarme Diagnostik und Therapie vieler Pathologien des peripheren Nervensystems, die blinde Interventionsverfahren aufgrund der im Vergleich höheren Erfolgs- und geringeren Komplikationsrate zunehmend ablösen.

Schlüsselwörter

Hochauflösende Sonographie · Komplikationsraten · Plexus brachialis · Schmerztherapie · Regionalanästhesie

Ultrasound-guided interventions on the peripheral nervous system

Abstract

Clinical/methodical issue. Up to the advent of high-resolution ultrasound, interventions on the peripheral nervous system, including local anesthesia and pain treatment were performed without visual guidance, which in some cases led to treatment failure or local tissue and nerve damage.

Methodical innovations. Progress in the field of ultrasound has enabled the functional visualization, anesthesia and anti-inflammatory or neurolytic treatment of many peripheral nerves, such as the brachial plexus, nerves of the upper and lower extremities and various nerves of the trunk. Contrast medium-guided biopsies have also become feasible.

Achievements. This article discusses the general prerequisites for such interventions and details the visualization and the interventional algorithms for interventions on the brachial plexus, on large nerves often affected by compression neuropathies, such as the

median, ulnar, sciatic and femoral nerves and small nerves, such as the lateral cutaneous nerves of the thigh. Furthermore, contrast medium-aided biopsies of intraneural and perineural masses are discussed. Finally, the treatment of stump neuromas via phenol instillation is described.

Practical recommendations. Innovations in high-resolution ultrasound allow the reliable and safe diagnosis and treatment of various pathologies of the peripheral nervous system with few side effects. Compared to older methods, which did not use visual guidance ultrasound provides higher success rates and lower adverse event rates in many instances.

Keywords

High resolution ultrasonography · Complication rate · Brachial plexus · Pain management · Regional anesthesia

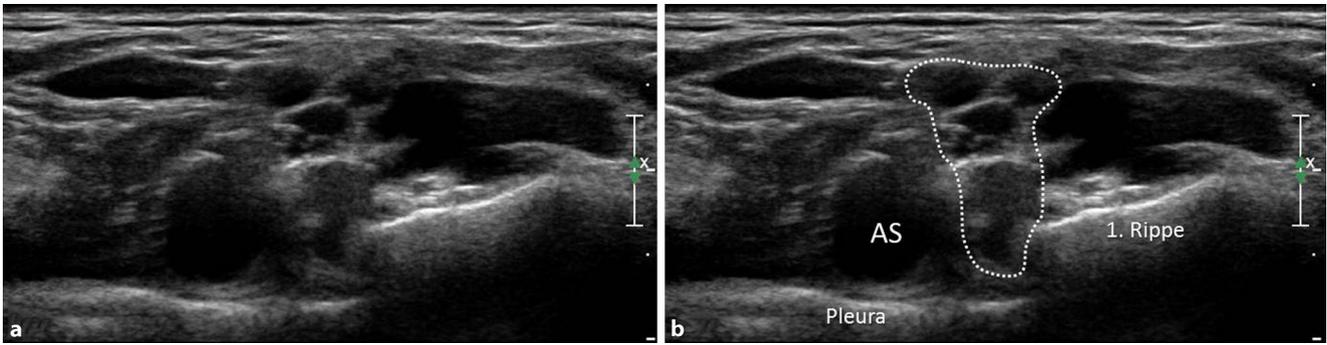


Abb. 2 ▲ a, b Sonographischer Transversalschnitt mit Darstellung des supraclavikulären Plexus brachialis (gestrichelte Linie in b). Zu beachten ist die Unterscheidung zwischen 1. Rippe und Pleura (Cave: Pneumothorax!). AS A. subclavia

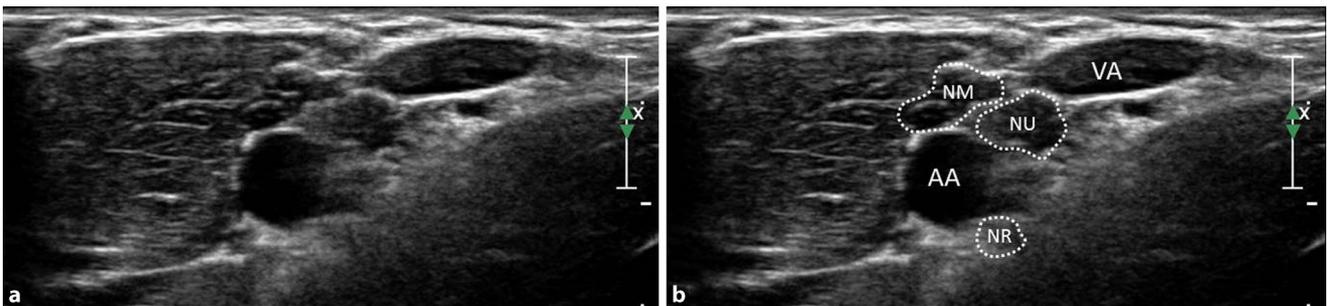


Abb. 3 ▲ a, b Sonographischer Transversalschnitt mit Darstellung des axillären Plexus brachialis. AA A. axillaris, VA V. axillaris, NM N. medianus, NU N. ulnaris, NR N. radialis

chend vorzuwarnen, um unerwünschte Abwehrbewegungen zu vermeiden!

Ob Komplikationen auftreten, hängt wesentlich davon ab, wie gut die Intervention sonographisch geführt und die Instillationsnadel entlang des Zugangspfades ständig kontrolliert wird. Blindflüge sind vermeidbar, indem die Prozedur in In-plane-Technik durchgeführt und der Vorschub der Nadel unmittelbar gestoppt wird, sobald sie aus dem Schallfeld gerät (z. B. Abrutschen des Schallkopfs, Bewegung des Patienten). Vermeidbar ist somit auch die am meisten gefürchtete Komplikation, die intraneurale Blutung durch Punktion des Nervs selbst. Um die zweite wesentliche Komplikation in diesem Rahmen, die Infektion, zu vermeiden, muss peinlich steril gearbeitet werden (s. oben), auch mit Blick auf die lokale Instillation einer hohen Kortikoiddosis [17, 18].

N. ulnaris

Das Kubitaltunnelsyndrom hat – wegen der topographischen Situation des Nervs im Vergleich zum N. medianus

am Karpus – wahrscheinlich grundsätzlich eine andere Ätiologie als ein „typisches“ Kompressionssyndrom: Die mechanische Friktion des N. ulnaris bei Bewegung des Ellenbogens, seine exponierte Position, die ihn gegenüber einem lagerungsbedingten chronischen Trauma empfindlich macht – eventuell in Verbindung mit passageren neuralen Durchblutungsstörungen – sind die groben Unterschiede, die einer Instillationstherapie entgegenstehen und in den meisten Fällen eher einer Vermeidung von Traumata im Alltag bedürfen [19].

Die einzige evidente fokale Restriktion des N. ulnaris ist jene am Kubitaltunnelausgang, wo der Nerv unter das Osborne-Ligament (aponeurosenartige Faszienerdickung zwischen den beiden Ursprüngen des M. flexor carpi ulnaris) in den intermuskulären Raum des Unterarms verläuft: An der Kante dieses Ligaments kann es zu fokalen Kompressionen im Sinne eines Tunnelsyndroms kommen; Patienten mit einer derartigen fokalen Kompression des Nervs profitieren, wahrscheinlich aufgrund des selben Mechanismus wie beim Karpaltunnel-

syndrom, von einer lokalen Kortikoidinstillation. Diese Instillationstherapie ist allerdings bzgl. ihres Nutzens als zumindest sehr fragwürdig einzustufen, da die operative Sanierung vergleichsweise simpel ist [20]!

Zusammenfassend kann somit die fokale Kortikoidinstillation – auch wenn optimal durchgeführt – als (zumindest) temporäre Ergänzung oder Aufschub einer chirurgischen Sanierung von Kompressionsneuropathien darstellen und sollte eigentlich speziellen Fällen vorbehalten sein, z. B. wenn eine operative Sanierung zur Zeit der starken Symptomatik aus beruflichen Gründen nicht möglich sein sollte. Die Therapie der Wahl ist die chirurgische und besteht in der Beseitigung der jeweils ursächlichen Restriktion.

Blockaden an großen Nerven am Beispiel der Nn. ischiadicus und femoralis

Im Rahmen des „perioperativen Painmanagements“ gewinnen auch spezifische Nervenblockaden immer mehr Relevanz.



Abb. 4 ▲ Axialer Zugang zum N. medianus am Oberarm. Bei symptomatischem Adaptionsneurom nach Interponat erfolgte an dieser Position eine fokale Blockade mit Lokalanästhetikum, die Nadelspitze (Pfeilspitze) ist in In-plane-Technik an den Nerv (gestrichelte Linie) herangeführt und das Instillat umspült den Nerv



Abb. 5 ▲ Sonographisch gezielte Instillation des rechten N. cutaneus femoralis lateralis von lateral; die Nadel wird in In-plane-Technik an das Nervensegment herangeführt, und die Instillation erfolgt, sobald sich die Nadelspitze (Pfeilspitze) unterhalb des Nervs (gestrichelte Linie) befindet, dies gewährleistet die sichere Kortikoidapplikation in das korrekte Kompartiment

Besonders für Arthroskopien, aber auch für andere orthopädische Operationen lassen sich positive Effekte im Rahmen der Schmerzkontrolle/Therapie nachweisen, besonders in der Nachsorge [21].

N. ischiadicus

Blockaden des N. ischiadicus werden üblicherweise durch den subglutäalen Zugang gesetzt, z. B. für orthopädische (Oberschenkel, Knie, Unterschenkel) oder gefäßchirurgische Eingriffe, insbesondere für Amputationen. Sie können in Bauch- aber auch in Seitenlage durchgeführt werden und fußen auf der Darstellung des N. ischiadicus in Höhe der glutäalen Falte. Hier erfolgt im Wesentlichen der Zugang zum oben genannten transversal dargestellten Nervensegment in In-plane-Technik unter sterilen Bedingungen; die eigentliche Blockade erfolgt durch komplette perineurale Umspülung des Nerven(segments) mit bis zu 10 ml Lidocainhydrochlorid (10–20 mg/ml) durch eine 21- oder 22-G-Instillationsnadel. Je nach Stärke der subkutanen/intermuskulären Fettschicht kann es notwendig sein, von einem Mittelfrequenzschallkopf (linearer Breitbandschallkopf 12 MHz oder höher) jeweils auf Schallköpfe zu wechseln, mit denen es bei niedrigerer Schallfrequenz (wenn auch auf Kosten des Auflösungsvermögens) weiterhin gelingt, den Nerv und somit das Instillationsziel sicher für die Führung der Zugangsnadel darzustel-

len (bei ausgeprägter Adipositas bis zu einem Breitbandsektorschallkopf mit Frequenzgang 2–5 MHz).

Bezüglich der Komplikationen (auch wenn kein Kortikoid enthalten ist), gilt im Wesentlichen dasselbe wie für die Instillation am Karpaltunnel.

N. femoralis

Der selektive Block des Hauptstamms des N. femoralis wird hier demonstriert, da dieser Nerv einige (sono)anatomische Besonderheiten bzgl. seines Kompartiments und seiner Topographie aufweist, was man grundsätzlich bei gezielten Instillationen berücksichtigen muss. Die Indikation zur Blockade des N. femoralis ähnelt der beim N. ischiadicus: Painmanagement bzw. Unterstützung der Analgesie im Rahmen chirurgischer Prozeduren an der Extremität [22].

Der N. femoralis besitzt nur bis zu seinem Austritt aus dem Becken in den Oberschenkel einen eigentlichen „Hauptstamm“. Schon unmittelbar distal des Leistenbandes können Endäste (Nn. cutanei femoris anteriores, N. saphenus etc.) abgehen, die somit bei einem weiter distalen Zugang zur Instillation nicht mehr erreicht werden könnten. Daher erfolgt ein entsprechender Block unmittelbar distal des Leistenbandes unter Verwendung eines linearen Breitbandschallkopfs (etwa 12 MHz) mit lateromedialen Zugang mit einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel in In-plane-

Technik. Der N. femoralis verlässt das Becken über die sog. Lacuna musculorum (zusammen mit dem M. iliopsoas), wodurch in der Instillationsebene unterschiedliche Kompartimente in einem Bild dargestellt werden. Wichtig ist hier besonders, auf die Darstellung der unmittelbaren kompletten Umspülung des Nervenhauptstamms im sonographischen Querschnitt zu achten (10 ml Lidocainhydrochlorid [10–20 mg/ml]). Wie immer gilt, dass die Instillation in das falsche Kompartiment (z. B. in den M. poas oder die Lacuna vasorum) die Wirkung minimiert und die notwendige Dosis ins Unermessliche steigert!

Interventionen an kleinen Nerven am Beispiel des N. cutaneus femoris lateralis

Der N. cutaneus femoris lateralis der typisch durch einen sog. „fatty channel“ im am weitesten lateralen Abschnitt der Lacuna musculorum in die Subkutis des lateralen Oberschenkels tritt und die Sensibilität des lateralen Oberschenkels leitet, kann durch chronische mechanische Belastung (Bauchadipositas, Hüftgürtel etc.) mit der Zeit in Mitleidenschaft gezogen werden, sodass es zu spezifischen Sensibilitätsstörungen, Schmerzen und Allodynie kommen kann („meralgia paraesthetica“). Die Datenlage ist spärlich, aber die mögliche sonographisch gezielte Instillationstherapie geht hier von einem fokalen Kompressionssyndrom aus,

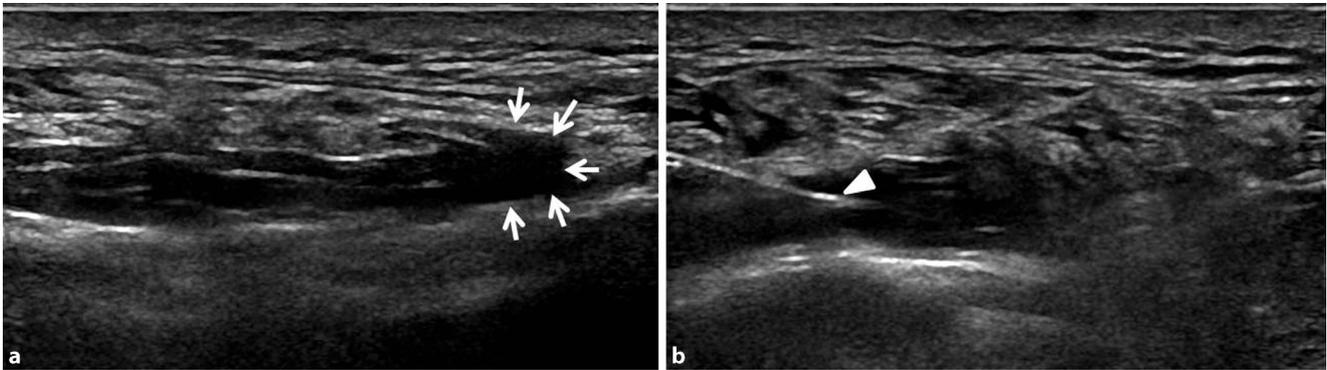


Abb. 6a,b ▲ Sonographischer Längsschnitt eines Stumpfneuroms (weiße Pfeile) des N. peroneus eines 55-jährigen Patienten bei Zustand nach Unterschenkelamputation (a). Ultraschallgezielte Phenolinstillation desselben Patienten mit Darstellung der Nadelspitze (Pfeilspitze) im Hals des Stumpfneuroms (b)

das therapeutisch in erster Linie ähnlich wie ein Karpaltunnelsyndrom angegangen werden kann [23]. Es kann dabei mit einer Linderung der klinischen Symptomatik für zumindest 2 Monate gerechnet werden [24]:

Mithilfe einer 21- oder 22-G-Instillationsnadel wird immer in In-plane-Technik subkutan von lateral oder medial in der Schallebene (linearer Breitband-schallkopf mit Frequenzgang 15 MHz oder höher, sterile Abdeckung, Mundschutz etc.) an das im Querschnitt dargestellte Nervensegment herangeführt (Abb. 5). Für die Instillation hat sich folgende Arzneimischung bewährt: etwa 2 mg Betamethason in wässriger Lösung (z. B. Betamethason-Dinatriumphosphat) in Mischung mit 0,5 ml 2 % Procainhydrochlorid. Von Kortikoidkristallinsuspensionen wird aufgrund der Hinweise auf nicht erwünschte Reizerscheinungen/Irritationen am peripheren Nerv bei uns Abstand genommen; die Beimischung von Lokalanästhetikum hat therapeutisch einen sehr geringen Effekt, zeigt aber sowohl dem Therapeuten als auch dem Patienten anhand einer prompten Anästhesie im typischen Versorgungsgebiete an, dass korrekt appliziert wurde.

Ultraschallgesteuerte Biopsien

Die anhaltend durch technische Weiterentwicklungen bedingte Bildqualitätsverbesserung unterstützt die zunehmende „Vormachtstellung“ der hochauflösenden Sonographie insbesondere bei der Abklärung peripherer Nerventumo-

ren [25], da einfach und schnell zwischen intra- und perineuralen Raumforderungen unterschieden und die Binnentextur des Tumors exakt evaluiert werden kann. Klinische Beschwerden sowie Schwelungen, die zufällig bemerkt oder zunächst fälschlich einem banalen Trauma zugeschrieben werden, können anhand typischer somomorphologischer Charakteristika mit hoher Wahrscheinlichkeit bestimmten Tumorentitäten zugeordnet werden [26]. Vordringlich ist natürlich die Unterscheidung benigner und maligner Tumoren, weshalb an dieser Stelle der periphere Nervenscheidentumor (PNST) als Beispiel genannt werden soll.

Eine fusiforme exzentrische Tumorkläsion mit ein- und ausstrahlendem Nerven sowie Nachweis angrenzender, unbeteiligter Nervenfaszikel sowie eine gute Vaskularisierung ohne Nachweis nekrotischer Areale sind hoch suggestiv für einen benignen peripheren Nervenscheidentumor. Aufgrund der bekannten Ancient-schwannoma-Variante [27] mit Verkalkungen und einer konzentrisch zystischen Strukturtransformation infolge von Einblutungen kann aber die Unterscheidung von einer malignen Variante schwierig sein. Auch das beschriebene inhomogene Vaskularisationsmuster mit im Duplex nachweisbaren Flussbeschleunigungen, Okklusionen, Trifurkationen, anarchischem Gefäßmuster, Shunts sowie Änderungen im Widerstandsindex helfen im Alltag nicht immer zu einer näheren Zuordnung [28].

Generell spielt neben dem B-Bild sowie dem Color-/Powerdoppler besonders die kontrastmittelunterstützte Sonogra-

phie (CEUS) eine wichtige Rolle [29, 30], da neben der weiterführenden Charakterisierung des Tumors die Zielregion einer zu biopsierenden Läsion durch Darstellung vitaler Tumoranteile definiert werden kann. Häufig kann letztlich jedoch nur eine biopsische Abklärung mit histologischer Aufarbeitung des Gewebes eine endgültige Dignitätszuordnung liefern [31–33]. In allen diesen Fällen erfolgt eine Stanzbiopsie, nun bereits seit langem anerkannt möglichst sonographisch gesteuert, da der Eingriff dann gezielter, rascher und weniger traumatisierend als eine offene Biopsie vorgenommen werden kann.

Untersuchungsalgorithmus

Der Tumor wird entsprechend identifiziert, lokalisiert und charakterisiert (B-Mode, Doppler, Kontrastmittelsonographie [29]). Beim CEUS wird standardmäßig 1 Amp. SonoVue®, Bracco, Italy, intravenös im Bolus appliziert, gefolgt von etwa 5 ml Natriumchlorid. Etwa 3 min werden digital aufgezeichnet und die Dynamik der Kontrastmittelanflutung in Echtzeit beurteilt. Auf diese Weise können vitale und folglich relevante Tumorregionen als „Zielregionen“ für die unmittelbar angeschlossene Stanzbiopsie identifiziert werden [34]. Nicht kontrastierte nekrotische Bereiche hingegen sollten möglichst vermieden werden, da Biopsien hieraus häufig falsch-negativ sind.

Unter Beachtung der relevanten Umgebungsstrukturen wird der Zugangsweg identifiziert. Stets sollte eine Rücksprache mit dem behandelnden Operateur erfol-

Hier steht eine Anzeige.



gen, da der notwendige Eingriff möglichst unter Mitnahme des Zugangswegs zur Vermeidung von Mikrometastasen entlang des Stichkanals auf ein Kompartiment begrenzt erfolgen sollte [35]. Daher kann eine Markierung der gewünschten Einstichstelle auf der Haut hilfreich sein.

Nach entsprechender Aufklärung und Einverständnis, Laboruntersuchung, lokaler Desinfektion und steriler Abdeckung erfolgt nach Lokalanästhesie des Zugangswegs und dem Hautschnitt eine sonographisch geführte biopsische Gewebeentnahme an definierten Zielregionen der Läsion mithilfe der Tru-cut™-Biopsievorrichtung in Koaxialtechnik (16- bis 18-G-Nadel). Insbesondere bei kleinen, etwas heiklen Läsionen sowie in schwierigen Biopsiesituationen bietet sich das halbautomatische System an, durch welches man eine Biopsatentnahme ohne Vorschuss entnehmen kann. Nach der Gewinnung mehrerer Proben aus möglichst verschiedenen Arealen (meist zumindest 3 Stanzzyylinder), sollten die Gewebezylinder sofort in Formalin asserviert und per Begleitschreiben an die Pathologie transferiert werden. Anschließend erfolgen eine 10-minütige Kompression sowie eine erneute sonographische Kontrolluntersuchung zum Ausschluss von Blutungen und die Anlage eines Wundkompressionsverbandes. Das resultierende pathologische Ergebnis sollte stets auf Plausibilität überprüft werden. Im seltenen Fall nicht konklusiver Resultate müssen eine Rebiopsie bzw. die Möglichkeit einer offenen Biopsie in Erwägung gezogen werden [36].

Ultraschallgesteuerte Phenolinstillation bei Stumpfnuromen

Stumpfnurome sind insbesondere auch im Rahmen von Amputationen eine nicht seltene Begleiterscheinung bei Verletzungen. Stumpfnurome sind zumindest teilweise für den Phantomschmerz verantwortlich, wobei die zugrunde liegende Ursache der oft paroxysmalen und durch Berührung ausgelösten Dysästhesien sowie v. a. Schmerzen mit Involvierung sowohl peripherer als auch zentraler Mechanismen multifaktoriell bedingt ist [37]. Die Pathophysiologie scheint wei-

terhin nicht mit letzter Sicherheit geklärt zu sein [38, 39]. Neben medikamentösen Therapieansätzen [40–42] führen auch chirurgische Methoden [43, 44] häufig nicht zur gewünschten Schmerzfremheit. Die mit Phenol (Hydroxybenzol) durchgeführte Neurosklerose [45] ist eine alternative Therapieoption zur Reduktion bzw. im besten Fall zur Ausschaltung von Stumpfschmerzen [46].

Untersuchungsalgorithmus

Zuerst wird das Stumpfnurom mithilfe sonographischer Darstellung exakt lokalisiert (gut begrenzte, spindelförmige, nicht vaskularisierte, endständige, hypoechogene Nervenauftreibung) – typischerweise lässt sich bei Palpation in diesem Bereich ein Tinel-Hoffmann-Zeichen, ein unangenehmes, elektrisierendes Gefühl im Versorgungsgebiet des Nerven, auslösen. Danach wird unter ständiger Sicht der betroffene Nerv unter sterilen Bedingungen über einen subkutanen Zugang mit einer 21-G-Nadel mit etwa 15 ml Lokalanästhetikum (Xylanaest® purum 1%) betäubt. Erzeugt dieser Vorgang eine Schmerzlinderung bzw. ist das Tinel-Hoffmann-Zeichen nicht mehr auslösbar, werden anschließend erneut unter ständiger sonographischer Sicht bis zu 0,8 ml einer 80 %igen Phenollösung direkt intraneural in den Hals des Neuroms injiziert (▣ Abb. 6). Nach Injektion und während der Retraktion wird die Nadel mit Natriumchlorid gespült, um eine Verteilung des Phenols im umliegenden Gewebe zu verhindern [47]. Dieses standardisierte Procedere kann in mehrfachen Sitzungen wiederholt werden, um die Erfolgsrate zu erhöhen. Relevante Komplikationen werden dabei nur in ca. 1 % der behandelten Patienten beobachtet [47].

Fazit für die Praxis

- Die hochauflösende Sonographie hat sich zu einer wichtigen Methode der Beurteilung sehr kleiner muskuloskelettaler Strukturen, peripherer Nerven und zur Schmerzbehandlung etabliert.

- Bei Eingriffen am peripheren Nervensystem gelten wie bei allen US-gezielten Interventionen standardisierte Hygienemaßnahmen.
- Die ultraschallgesteuerte Plexusblockade revolutionierte die Regionalanästhesie und führte dazu, dass diese bis heute als Methode der ersten Wahl angesehen wird.
- Spezifische Nervenblockaden gewinnen besonders für Arthroskopien und auch für andere orthopädische Operationen immer mehr Relevanz.
- Bei ultraschallgesteuerten Biopsien ist die Unterscheidung benigner und maligner Tumoren vordringlich.
- Die mit Phenol (Hydroxybenzol) durchgeführte Neurosklerose ist eine Therapieoption zur Reduktion bzw. Ausschaltung von Stumpfschmerzen.

Korrespondenzadresse



PD Dr. A. Loizides
Department Radiologie,
Medizinische Universität
Innsbruck
6020 Innsbruck, Österreich
Alexander.Loizides@i-
med.ac.at

Open access funding provided by University of Innsbruck and Medical University of Innsbruck.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Loizides, L. Gruber, S. Peer, M. Plaikner und H. Gruber geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. Peer S, Bodner G, Meirer R, Willeit J, Piza-Katzer H (2001) Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *AJR Am J Roentgenol* 177:415–419

2. Kapral S, Krafft P, Eibenberger K, Fitzgerald R, Gosch M, Weinstabl C (1994) Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg* 78:507–513
3. Marhofer P, Schrogendorfer K, Koinig H, Kapral S, Weinstabl C, Mayer N (1997) Ultrasonographic guidance improves sensory block and onset time of three-in-one blocks. *Anesth Analg* 85:854–857
4. Hall R (1884) Hydrochlorate of cocaine. *N Y Med J* 40:643–646
5. Urmey WF, Talts KH, Sharrock NE (1991) One hundred percent incidence of hemidiaphragmatic paresis associated with interscalene brachial plexus anesthesia as diagnosed by ultrasonography. *Anesth Analg* 72:498–503
6. Riaz S, Carmichael N, Awad I, Holtby RM, McCartney CJ (2008) Effect of local anaesthetic volume (20 vs 5 ml) on the efficacy and respiratory consequences of ultrasound-guided interscalene brachial plexus block. *Br J Anaesth* 101:549–556
7. Perlas A, Lobo G, Lo N, Brull R, Chan VW, Karkhanis R (2009) Ultrasound-guided supraclavicular block: outcome of 510 consecutive cases. *Reg Anesth Pain Med* 34:171–176
8. Soares LG, Brull R, Lai J, Chan VW (2007) Eight ball, corner pocket: the optimal needle position for ultrasound-guided supraclavicular block. *Reg Anesth Pain Med* 32:94–95
9. Bigeleisen P, Wilson M (2006) A comparison of two techniques for ultrasound guided infraclavicular block. *Br J Anaesth* 96:502–507
10. Ting PL, Sivagnanaratnam V (1989) Ultrasonographic study of the spread of local anaesthetic during axillary brachial plexus block. *Br J Anaesth* 63:326–329
11. Lo N, Brull R, Perlas A et al (2008) Evolution of ultrasound guided axillary brachial plexus blockade: retrospective analysis of 662 blocks. *Can J Anaesth* 55:408–413
12. O'Donnell BD, Ryan H, O'Sullivan O, Iohom G (2009) Ultrasound-guided axillary brachial plexus block with 20 milliliters local anesthetic mixture versus general anesthesia for upper limb trauma surgery: an observer-blinded, prospective, randomized, controlled trial. *Anesth Analg* 109:279–283
13. Rayan GM (1999) Carpal tunnel syndrome between two centuries. *J Okla State Med Assoc* 92:493–503
14. Patijn J, Vallejo R, Janssen M et al (2011) Carpal tunnel syndrome. *Pain Pract* 11:297–301
15. Osterman M, Ilyas AM, Matzon JL (2012) Carpal tunnel syndrome in pregnancy. *Orthop Clin North Am* 43:515–520
16. Marshall S, Tardif G, Ashworth N (2007) Local corticosteroid injection for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev* 2007:CD001554
17. Van Meir N, De Smet L (2003) Carpal tunnel syndrome in children. *Acta Orthop Belg* 69:387–395
18. Flynn JM, Bischoff R, Gelberman RH (1995) Median nerve compression at the wrist due to intracarpal canal sepsis. *J Hand Surg Am* 20:864–867
19. Omejec G, Podnar S (2016) What causes ulnar neuropathy at the elbow? *Clin Neurophysiol* 127:919–924
20. Podnar S, Omejec G (2016) Why do local corticosteroid injections work in carpal tunnel syndrome, but not in ulnar neuropathy at the elbow? *Muscle Nerve* 53:662–663
21. Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Kettner SC, Kirchmair L (2010) Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: part 1. *Br J Anaesth* 104:538–546
22. Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Willschke H, Kirchmair L (2010) Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 2—recent developments in block techniques. *Br J Anaesth* 104:673–683
23. Aravindakannan T, Wilder-Smith EP (2012) High-resolution ultrasonography in the assessment of meralgia paresthetica. *Muscle Nerve* 45:434–435
24. Tagliafico A, Serafini G, Lacelli F, Perrone N, Valsania V, Martinoli C (2011) Ultrasound-guided treatment of meralgia paresthetica (lateral femoral cutaneous neuropathy): technical description and results of treatment in 20 consecutive patients. *J Ultrasound Med* 30:1341–1346
25. Chiou HJ, Chou YH, Chiou SY, Liu JB, Chang CY (2003) Peripheral nerve lesions: role of high-resolution US. *Radiographics* 23:e15
26. Gruber H, Glodny B, Bendix N, Tzankov A, Peer S (2007) High-resolution ultrasound of peripheral neurogenic tumors. *Eur Radiol* 17:2880–2888
27. Bendix N, Wolf C, Gruber H, Bodner G (2005) Pictorial essay: Ultrasound of tumours and tumour-like lesions of peripheral nerves. *Ultraschall Med* 26:318–324
28. Bodner G, Schocke MF, Rachbauer F et al (2002) Differentiation of malignant and benign musculoskeletal tumors: combined color and power Doppler US and spectral wave analysis. *Radiology* 223:410–416
29. Loizides A, Peer S, Plaikner M, Djurdjevic T, Gruber H (2012) Perfusion pattern of musculoskeletal masses using contrast-enhanced ultrasound: a helpful tool for characterisation? *Eur Radiol* 22:1803–1811
30. De Marchi A, Prever EB, Cavallo F et al (2015) Perfusion pattern and time of vascularisation with CEUS increase accuracy in differentiating between benign and malignant tumours in 216 musculoskeletal soft tissue masses. *Eur J Radiol* 84:142–150
31. Rao A, Ingle SB, Rajurkar P, Goyal V, Dokrimare N (2015) Malignant peripheral nerve sheath tumor of proximal third tibia. *World J Clin Oncol* 6:179–183
32. Abreu E, Aubert S, Wavreille G, Gheno R, Canella C, Cotten A (2013) Peripheral tumor and tumor-like neurogenic lesions. *Eur J Radiol* 82:38–50
33. Widmann G, Riedl A, Schoepf D, Glodny B, Peer S, Gruber H (2009) State-of-the-art HR-US imaging findings of the most frequent musculoskeletal soft-tissue tumors. *Skeletal Radiol* 38:637–649
34. Loizides A, Widmann G, Freus T, Peer S, Gruber H (2011) Optimizing ultrasound-guided biopsy of musculoskeletal masses by application of an ultrasound contrast agent. *Ultraschall Med* 32:307–310
35. Huang AJ, Kattapuram SV (2011) Musculoskeletal neoplasms: biopsy and intervention. *Radiol Clin North Am* 49:1287–1305
36. Traina F, Errani C, Toscano A et al (2015) Current concepts in the biopsy of musculoskeletal tumors. *J Bone Joint Surg Am* 97:e7
37. Flor H (2002) Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment. *Lancet Neurol* 1:182–189
38. Watson J, Gonzalez M, Romero A, Kerns J (2010) Neuromas of the hand and upper extremity. *J Hand Surg Am* 35:499–510
39. Khan N, Smith MT (2015) Neurotrophins and neuropathic pain: role in pathobiology. *Molecules* 20:10657–10688
40. Alviar MJ, Hale T, Dungca M (2011) Pharmacologic interventions for treating phantom limb pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2011:CD006380
41. Dworkin RH, O'Connor AB, Audette J et al (2010) Recommendations for the pharmacological management of neuropathic pain: an overview and literature update. *Mayo Clin Proc* 85:53–14
42. Dworkin RH, O'Connor AB, Kent J et al (2013) Interventional management of neuropathic pain: NeuPSIG recommendations. *Pain* 154:2249–2261
43. Kirvela O, Nieminen S (1990) Treatment of painful neuromas with neurolytic blockade. *Pain* 41:161–165
44. Dellon AL, Mackinnon SE (1986) Treatment of the painful neuroma by neuroma resection and muscle implantation. *Plast Reconstr Surg* 77:427–438
45. Westerlund T, Vuorinen V, Roytta M (2001) Same axonal regeneration rate after different endoneurial response to intraneural glycerol and phenol injection. *Acta Neuropathol* 102:41–54
46. Gruber H, Kovacs P, Peer S, Frischhut B, Bodner G (2004) Sonographically guided phenol injection in painful stump neuroma. *AJR Am J Roentgenol* 182:952–954
47. Gruber H, Glodny B, Kopf H et al (2008) Practical experience with sonographically guided phenol instillation of stump neuroma: predictors of effects, success, and outcome. *AJR Am J Roentgenol* 190:1263–1269