



Bildgebung des Plexus lumbosacralis

Diagnostik und Therapieplanung mithilfe hochaufgelöster Verfahren

Fortschritte im Bereich der Magnetresonananz(MR)-Neurographie und technische Weiterentwicklungen im Bereich der peripheren hochauflösenden ultraschallbasierten Neurosonographie (HRUS) ermöglichen eine morphologisch-diagnostische Beurteilung der komplexen Anatomie des Plexus lumbosacralis. Die klinisch sinnvolle Kombination beider Methoden kann die klinische Abklärung peripherer Neuropathien der unteren Extremität erheblich unterstützen.

Hintergrund

Aufgrund seiner Vielzahl an Nerven und seiner komplexen Anatomie umfasst der

lumbrosakrale Plexus ein breites Spektrum von Pathologien. Die sogenannte „lumbrosakrale Plexopathie“ ist ein klinisches Syndrom, das sowohl mit motorischen als auch sensorischen Störungen oder einer Kombination aus beiden auftreten kann.

Die traditionelle Diagnostik einer lumbrosakralen Plexopathie beruhte bislang auf einer klassischen Abfolge aus Anamnese, klinischem Bild und, entsprechend der Symptomatik, einer gezielten elektrodiagnostischen Prüfung mittels Elektroneuro- (NLG) und -myographie (EMG). Bildgebende Verfahren wie die Computertomographie (CT) und konventionelle Magnetresonanztomographie (MRT) wurden ursprünglich vorrangig zur Bewertung

von Raumforderungen und zur Biopsieplanung verwendet. Durch technische Fortschritte im Bereich der MRT-basierenden Neurographie (höhere Feldstärke von 3 T, verbesserte Spulen, fortschrittliche MRT-Sequenzen) und der Neurographie peripherer Nerven mithilfe der HRUS sind der Plexus lumbosacralis und seine peripheren Äste heute der detaillierten radiologischen Abklärung zugänglich [6, 7].

Normale Anatomie

Der Plexus lumbosacralis geht als Nervengeflecht aus den vorderen Ästen (Rami anteriores) der lumbalen und sakralen Spinalnerven hervor [29]. Häufig wird als weitere Unterteilung ein

Tab. 1 Versorgungsschema des Plexus lumbosacralis

Nerv	Segment	Innervierte Muskeln	Hautäste
N. iliohypogastricus	Th12–L1	M. transversus abdominis (kaudaler Anteil) M. obliquus internus abdominis (kaudaler Anteil)	R. cutaneus lateralis R. cutaneus anterior
N. ilioinguinalis	Th12–L1		Nn. scrotales/labiales anteriores
N. genitofemoralis	L1–L2	M. cremaster (bei Männern)	R. femoralis R. genitalis
N. cutaneus femoris lateralis	L2–L3	–	Rr. cutanei
N. femoralis	L1–L4	M. iliopsoas M. quadriceps femoris M. sartorius M. pectineus (mit N. obturatorius)	Rr. cutanei anteriores N. saphenus (teilt sich auf in R. infrapatellaris, Rr. cutanei cruris mediales)
N. obturatorius	L2–L4	M. adductor brevis M. adductor longus M. gracilis M. pectineus (mit N. femoralis) M. obturatorius externus M. adductor magnus (mit N. tibialis)	R. cutaneus r. anterioris Rr. articulares r. posteriores (zur Kniegelenkkapsel)
Kurze direkte Rr. musculares	Th12–L4	Mm. psoas major et minor M. quadratus lumborum Mm. intertransversarii lumborum	–

Tab. 1 Versorgungsschema des Plexus lumbosacralis (Fortsetzung)

Nerv	Segment	Innervierte Muskeln	Hautäste
N. gluteus superior	L4–S1	M. gluteus medius M. gluteus minimus M. tensor fasciae latae	–
N. gluteus inferior	L5–S2	M. gluteus maximus	–
N. cutaneus femoris posterior	S1–S3	–	Rr. cutanei Rr. perineales Rr. clunium inferiores
N. musculi piriformi	S1–S2	M. piriformis	–
N. musculi obturatorii interni	L5, S1–S2	M. obturator internus M. gemellus superior	–
N. musculi quadrati femoris	L4–L5, S1	M. quadratus femoris M. gemellus inferior	–
N. ischiadicus	L4–S3	–	–
N. tibialis	(L4–S3)	M. semitendinosus M. semimembranosus M. biceps femoris (Caput longus) M. adductor magnus (mit N. obturatorius) M. popliteus M. triceps surae M. flexor hallucis longus M. tibialis posterior M. flexor digitorum longus M. plantaris	N. cutaneus surae medialis N. cutaneus dorsalis lateralis (vereinigt sich mit R. communicans fibularis des N. fibularis communis zum N. suralis) Rr. calcanei mediales Rr. calcanei laterales (aus N. suralis)
N. plantaris medialis (Endast des N. tibialis)	(L4–L5)	M. abductor hallucis M. flexor hallucis brevis (Caput mediale) M. flexor digitorum brevis Mm. lumbricales I und II	Nn. digitales plantares communes et plantares proprii
N. plantaris lateralis (Endast des N. tibialis)	(S1–S2)	M. abductor digiti minimi M. quadratus plantae M. flexor hallucis brevis (Caput laterale) M. flexor digiti minimi brevis M. adductor hallucis M. opponens digiti minimi Mm. lumbricales III und IV Mm. interossei plantares Mm. interossei dorsales	Nn. digitales plantares communes et plantares proprii
N. fibularis communis (Synonym: N. peroneus communis)	(L4–S2)	M. biceps femoris (Caput breve)	N. cutaneus surae lateralis R. communicans fibularis (vereinigt sich mit N. cutaneus surae medialis des N. tibialis zum N. suralis)
N. fibularis profundus (Endast des N. fibularis communis)	(L4–L5)	M. tibialis anterior M. extensor hallucis longus M. extensor hallucis brevis M. extensor digitorum longus M. extensor digitorum brevis M. fibularis tertius	Nn. digitales dorsales hallucis lateralis et digiti secundi medialis
N. fibularis superficialis (Endast des N. fibularis communis)	(L5–S2)	M. fibularis longus M. fibularis brevis	N. cutaneus dorsalis medialis N. cutaneus dorsalis intermedius
N. pudendus (Plexus pudendus)	S2–S4	Beckenbodenmuskulatur: M. levator ani M. transversus perinei superficialis M. transversus perinei profundus M. sphincter ani externus M. bulbospongiosus M. ischiocavernosus M. sphincter urethrae externus M. sphincter urethrovaginalis (bei Frauen)	Nn. perineales Nn. rectales inferiores N. dorsalis penis (bei Männern) N. dorsalis clitoridis (bei Frauen)
N. coccygeus (Plexus coccygeus)	S4–Co1	M. coccygeus	Nn. anococcygei

lumbaler (L1–L3, mit einzelnen Fasern aus Th12 und L4) von einem sakralen (L5–S3, mit einzelnen Fasern aus L4 und S4) Plexus unterschieden, die über den Truncus lumbosacralis miteinander verbunden sind. Der Plexus lumbosacralis vereinigt sich zu größeren terminalen Nerven und versorgt das Becken und die untere Extremität sensibel und motorisch (■ **Tab. 1**). Aus der Verflechtung der Nervenfasern ergibt sich dabei u. a., dass individuelle Muskeln nicht exklusiv von einzelnen Spinalnerven versorgt werden, sondern eine überlappende Innervation von Fasern aus mehreren Rückenmarkssegmenten erhalten. Die Verflechtung der Nervenfasern unterliegt einer hohen interindividuellen Variabilität [25]. Aus dem lumbalen Anteil des Plexus lumbosacralis entspringt als prominentester Nerv der N. femoralis und aus dem sakralen Anteil mit dem N. ischiadicus der kaliberstärkste Nerv des Menschen.

Die normalen Plexusverhältnisse in der Magnetresonanztomographie zeigt ■ **Abb. 1**.

Pathologien

Das klinische Bild der lumbosakralen Plexopathie ist variabel. Die Unterscheidung zwischen sensiblen und motorischen Ausfällen und die klinisch-neurologische Erfassung der betroffenen Regionen und Muskulatur helfen dabei, die lädierten Nerven aufzusuchen und die Pathologie zu finden [12]. Das klinische Bild kann komplex sein durch eine Kombination von Muskelgruppenausfällen, sensorischen Veränderungen und (selten) Darm- und Blaseninkontinenz sowie sexueller Dysfunktion [9, 24]. Eine lumbosakrale Plexopathie kann durch primäre Veränderungen der neuralen Strukturen selbst oder Kompression oder Infiltration von außen verursacht werden [27].

Piriformissyndrom

Ein Fall von Piriformissyndrom, einem häufigen Kompressionssyndrom, ist beispielhaft in ■ **Abb. 2** dargestellt. Es zeigt sich sowohl in den MR-Aufnahmen als auch sonographisch ein (beidseits) be- teilt verlaufender N. ischiadicus.

Radiologe 2017 · 57:195–203 DOI 10.1007/s00117-017-0222-2
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

S. Jengojan · C. Schellen · G. Bodner · G. Kasprian

Bildgebung des Plexus lumbosacralis. Diagnostik und Therapieplanung mithilfe hochauflöster Verfahren

Zusammenfassung

Hintergrund. Durch technische Fortschritte im Bereich der magnetresonanztomographischen (MR-) und ultraschallbasierten Neurographie ist der Plexus lumbosacralis heute der radiologischen Abklärung zugänglich.

Fragestellung. Anatomie und Bildung des Plexus lumbosacralis, Abklärung der häufigsten Pathologien.

Material und Methode. Erläuterung der klinisch sinnvollen Kombination von MR- und Ultraschalldiagnostik, Darstellung der Untersuchungstechniken und der jeweiligen Vorteile von MRT und Ultraschall anhand fallbasierter Präsentation unterschiedlicher Pathologien im Bereich des Plexus lumbosacralis und seiner peripheren Nervenäste.

Ergebnisse. Die hochauflösende Ultraschallneurographie (HRUS) erlaubt insbesondere die Beurteilung oberflächlich gelegener Strukturen des Plexus lumbosacralis. In Abhängigkeit von der Erfahrung des Untersuchers können anatomische Verlaufsvarianten

des N. ischiadicus (z. B. beim Piriformissyndrom) als auch subtilere Veränderungen wie Neuritiden sonographisch dargestellt und erfasst werden. Mit der MRT sind v. a. tiefer gelegene Nervenstrukturen wie z. B. die Nn. pudendus und femoralis diagnostisch zugänglich. Moderne MRT-Methoden wie die periphere Nervenstruktogrammographie ermöglichen darüber hinaus auch eine dreidimensionale Darstellung der räumlichen Beziehung zwischen Nerven und lokalen tumorösen oder traumatischen Veränderungen. Dies kann für die Therapieplanung hilfreich sein. **Schlussfolgerungen.** Die Anatomie und Pathologie des Plexus lumbosacralis kann durch die sinnvolle Kombination von hochauflösender MRT- und Ultraschallneurographie zuverlässig dargestellt werden.

Schlüsselwörter

Magnetresonanztomographie · MR-Neurographie · Periphere Neurosonographie · Piriformissyndrom · Ischiadikusneuritis

Imaging of the lumbosacral plexus. Diagnostics and treatment planning with high-resolution procedures

Abstract

Background. Technical advances in magnetic resonance (MR) and ultrasound-based neurography nowadays facilitate the radiological assessment of the lumbosacral plexus.

Objective. Anatomy and imaging of the lumbosacral plexus and diagnostics of the most common pathologies.

Material and methods. Description of the clinically feasible combination of magnetic resonance imaging (MRI) and ultrasound diagnostics, case-based illustration of imaging techniques and individual advantages of MRI and ultrasound-based diagnostics for various pathologies of the lumbosacral plexus and its peripheral nerves.

Results. High-resolution ultrasound-based neurography (HRUS) is particularly valuable for the assessment of superficial structures of the lumbosacral plexus. Depending on the examiner's experience, anatomical variations of the sciatic nerve (e. g. relevant

in piriformis syndrome) as well as more subtle variations, for example as seen in neuritis, can be sonographically depicted and assessed. The use of MRI enables the diagnostic evaluation of more deeply located nerve structures, such as the pudendal and the femoral nerves. Modern MRI techniques, such as peripheral nerve tractography allow three-dimensional depiction of the spatial relationship between nerves and local tumors or traumatic alterations. This can be beneficial for further therapy planning.

Conclusion. The anatomy and pathology of the lumbosacral plexus can be reliably imaged by the meaningful combination of MRI and ultrasound-based high resolution neurography.

Keywords

Magnetic resonance imaging · MR neurography · Peripheral neurosonography · Piriformis syndrome · Sciatic neuritis

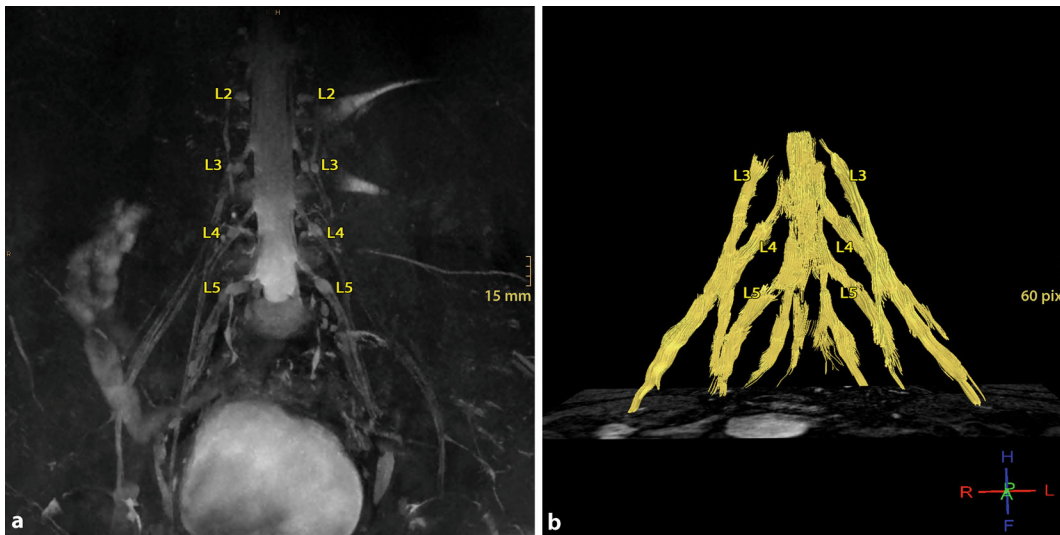


Abb. 1 ◀ Normale Plexusanatomie in der Magnetresonanztomographie. **a** Maximale Intensitätsprojektion (MIP) einer Volume-isotropic-turbo-spin-echo-acquisition (VISTA)-Sequenz, **b** Diffusion-tensor-imaging (DTI)-basierte Traktographie mit den markierten Segmenten L2–L5

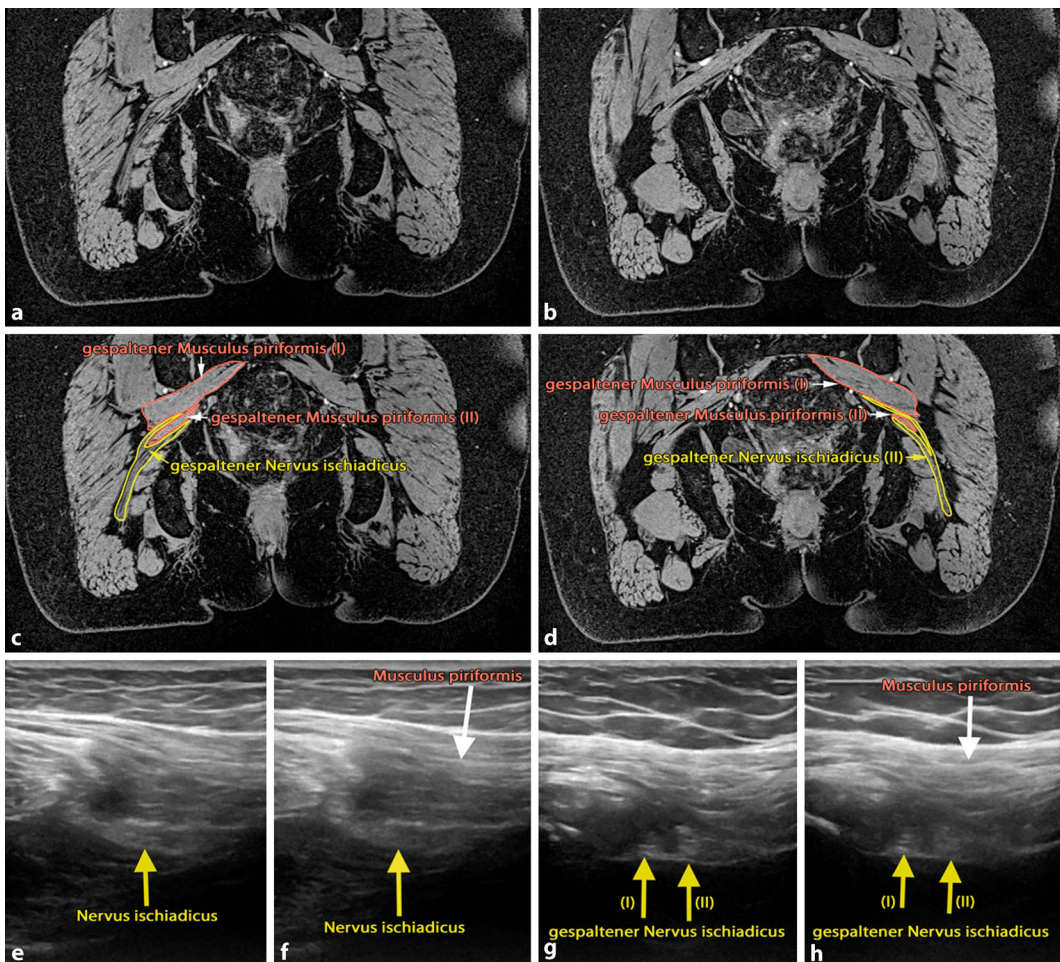


Abb. 2 ◀ Fettunterdrückte 3-D-Protonendichte-gewichtete Magnetresonanztomografien (a–d) und Ultraschalldarstellung vor (e–f) und nach der Aufteilung (g–h) des N. ischiadicus bei einem Patient mit Piriformissyndrom

In den Ultraschallaufnahmen ist der Nerv in seinem räumlichen Bezug zum M. piriformis dargestellt. Der junge Patient litt jahrelang unter Schmerzen beim Sitzen. Nach Diagnosestellung erfolgte eine chirurgische Spaltung des M. piriformis. Der

Patient war nach einer Erholungsphase vollständig beschwerdefrei.

Systemische Erkrankungen und Raumforderungen

Systemische Erkrankungen wie ischämische, autoimmune, entzündliche oder metabolische Störungen können als Ur-

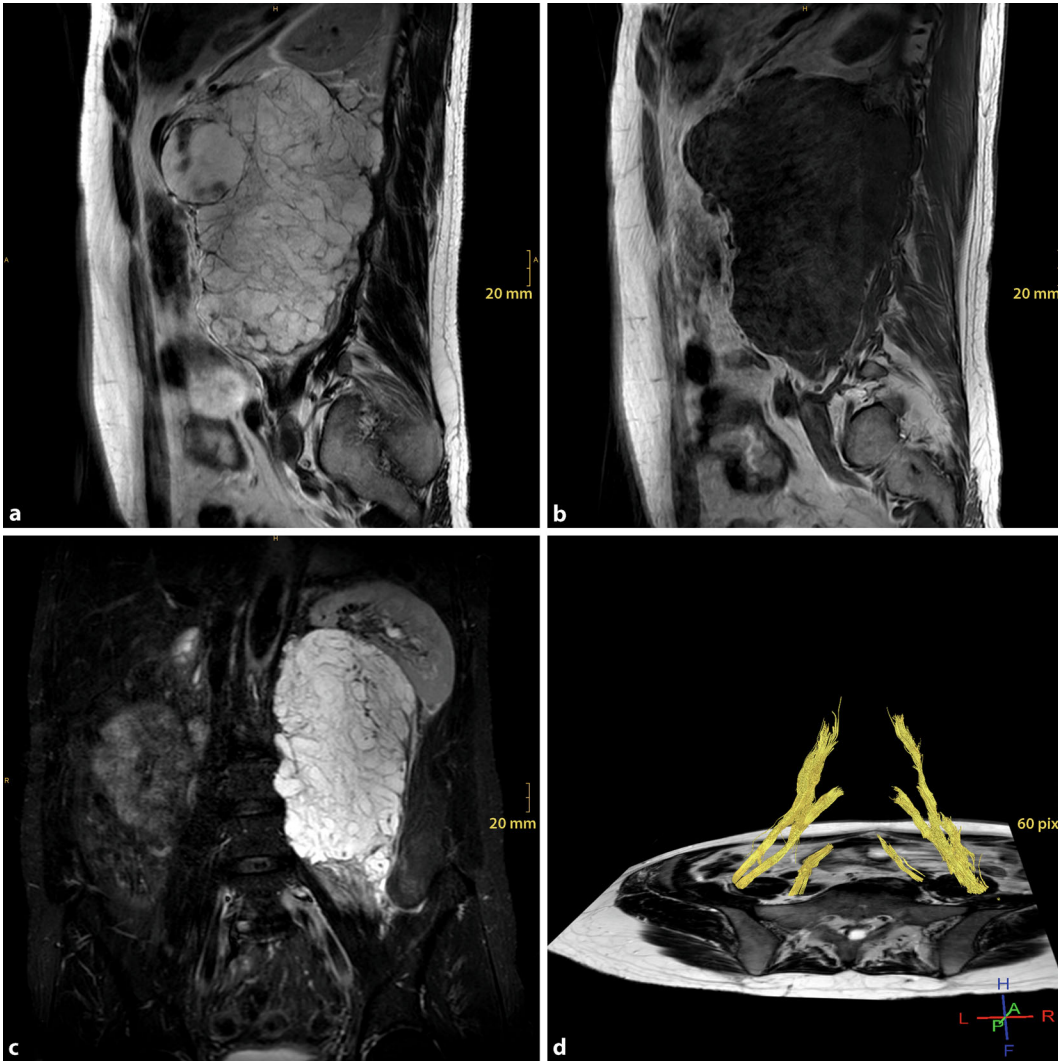


Abb. 3 ◀ Magnetresonanztomographische Darstellung eines Teratomrezidivs, welches vom linken M. psoas nicht abgrenzbar ist (a). Der Tumor kommt auf Short-tau-inversion-recovery (STIR)-Sequenzen hyperintens (c) und auf T1 gewichteten Sequenzen hypointens (b) zur Darstellung. In der Diffusions-tensor basierten Traktographie (d) kommen die dem Tumor dorsal anliegenden Nervenwurzeln des Plexus durchgängig zur Darstellung

sache infrage kommen [24]. *Raumforderungen* als lokale Ursachen sind häufig gutartige oder maligne Nerventumoren, Lymphome, intestinale Tumoren, mesenchymale Tumoren sowie Gebärmutter(hals)krebs und insbesondere Metastasen [1, 2, 4, 14–16, 19, 26, 28].

Tumoren

Ein Tumor als Ursache einer lumbosakralen Plexopathie ist beispielhaft in **Abb. 3** wiedergegeben. Anhand konventioneller Sequenzen (T2, T1 und „short tau inversion recovery“ [STIR]) ist das Verhältnis zwischen den aus dem Plexus hervorgehenden Nerven und dem Tumor nicht fassbar. Die Diffusion-tensor-imaging (DTI)-basierte Traktographie ist in solchen Fällen besonders hilfreich.

Als weiteres Beispiel lumbosakraler Nerventumoren sind in **Abb. 4** mul-

tiplen Neurofibrome im Bereich der lumbalen und sakralen Nervenwurzeln und in einzelnen Hautnervenästen zu sehen. Die plexiformen Neurofibrome wachsen durch die sakralen Neuroforamina und deformieren hier lokal den Knochen. Die Tumoren wachsen in das kleine Becken vor und sind hier fast ausschließlich oberhalb des M. levator ani gelegen.

Abszesse, Hämatome, Phlegmonen, (Pseudo-)Aneurysmata und die Endometriose können ebenfalls zu Kompressionen des Plexus führen [3, 30].

Zu den *entzündlichen* bzw. *systemischen Ursachen* zählen Neuritiden, Diabetes mellitus (diabetische Amyotrophie), verschiedene Neuropathien (z. B. Charcot-Marie-Tooth-Krankheit, Guillain-Barré-Syndrom) strahlungsinduzierte Neuropathien, chronisch ent-

zündliche Demyelinisierung und idiopathische Plexopathien.

Traumatische und iatrogene Läsionen

Da der Plexus lumbosacralis durch das Knochenskelett des Beckens vergleichsweise gut geschützt wird, sind direkte *traumatische Läsionen* selten. Grundsätzlich kommen aber auch indirekte lumbale Wirbelsäulenverletzungen, Frakturen im Becken- und Hüftbereich sowie Luxationen oder penetrierende Traumata (z. B. Kriegsverletzungen) als Ursache einer Plexopathie in Frage [8, 16, 21].

Ferner können *iatrogene Verletzungen* im Rahmen chirurgischer, gynäkologischer oder anästhetischer Eingriffe und eingriffs- oder lagerungsbedingte Kompression, Traktion und Gefäßbelei-

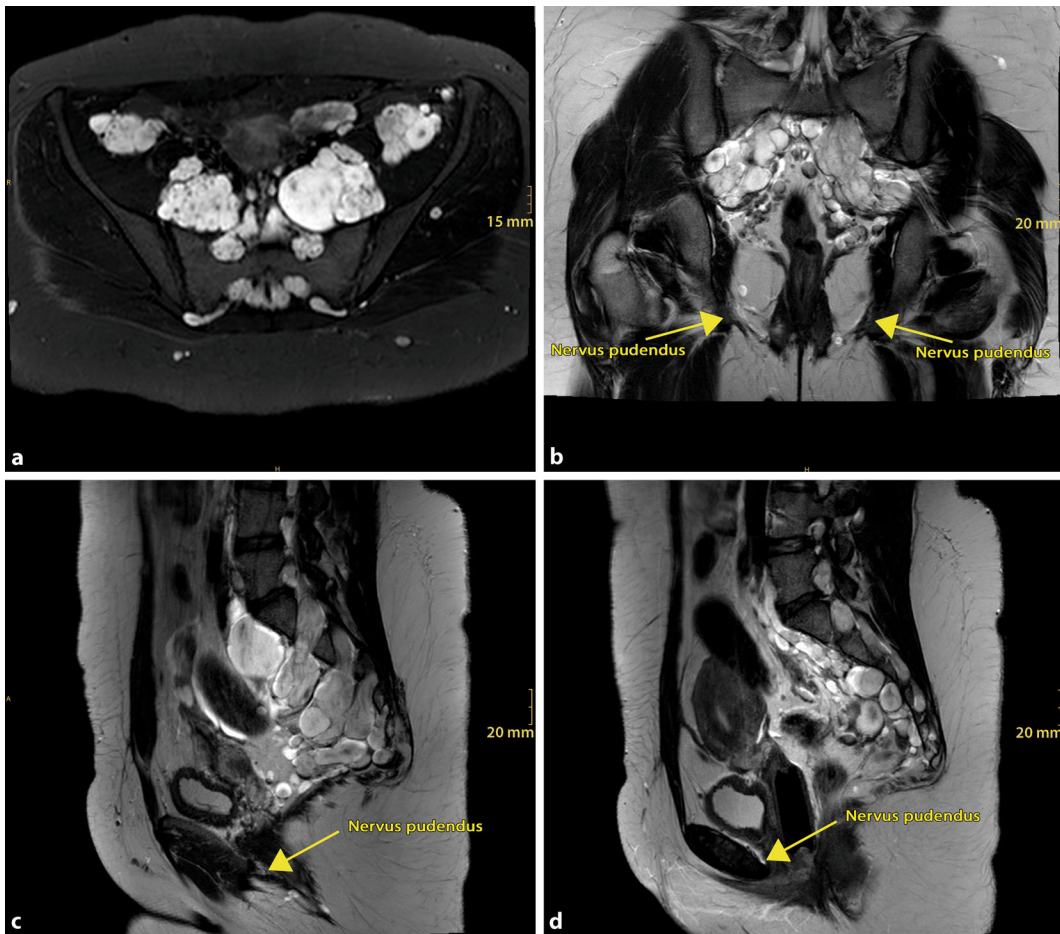


Abb. 4 ◀ Magnetresonanzzarstellung multipler Neurofibrome im Bereich des lumbosakralen Plexus. Einzelne Neurofibrome finden sich im Alcock-Kanal entlang des N. pudendus (Pfeile in b–d) beidseits. Sequenzen: „short tau inversion recovery“ (STIR) axial (a), T2 koronar (b), T2 sagittal (c), T2 Turbospinecho (TSE) sagittal (d)

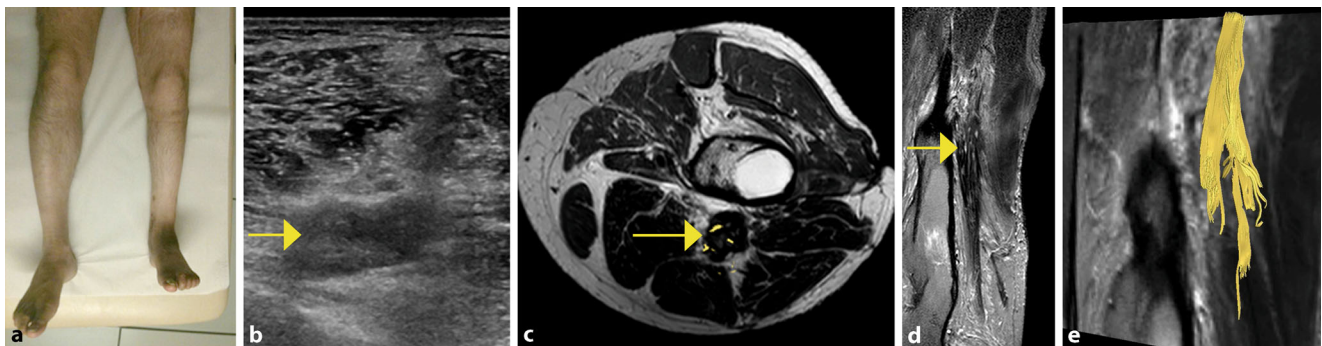


Abb. 5 ▲ Patient mit Durchschuss des N. ischiadicus und konsekutiver hochgradiger Atrophie der linken unteren Extremität (a). In der sonographischen Untersuchung (b) stellte sich ein verdickter N. ischiadicus mit Verlust der faszikulären Textur dar (Pfeil). In T2-gewichteten (c) und sagittalen Short-tau-inversion-recovery (STIR)-MRT-Aufnahmen (d) zeigte sich der verdickte Nerv (Pfeile) hypointens mit Zeichen einer Fibrose und Weichteilbegleitverletzung sowie knöcherner Beteiligung. Mithilfe der MR-Traktographie (e) stellte sich eine vollständige Kontinuitätsunterbrechung des Nervs proximal der maximalen Verdickung dar

gungen in Plexopathien resultieren [17]. Für die Diagnostik ist eine unilaterale Lokalisation der Symptome in der Regel ein Indikator für eine lokale Beteiligung, während eine bilaterale Symptomatik auf einen systemischen Prozess hinweist [24].

Bei traumatischen Läsionen stellt sich die Frage der Indikation für eine nervenchirurgische Versorgung. Aufnahmen eines Patienten mit vor Jahren zurückliegendem Durchschuss des N. ischiadicus und konsekutiver hochgradiger Atrophie der linken unteren

Extremität zeigt **Abb. 5**. In Zukunft verspricht v. a. die periphere Nerven-traktographie eine optimierte Planung nervenchirurgischer Eingriffe, soweit diese indiziert bzw. noch möglich sind [5, 14].

Tab. 2 MR-Neurographie-Protokoll

Sequenz	Untersuchungsfeld	Voxelgröße (mm ³)	TR/TE (ms)
Sagittal, T2-gewichtet, TSE	Wirbelsäule, lumbal	0,84	2487/120
Axial, STIR	Becken, Oberschenkel	1,35	4718/60
Parakoronar, 3-D-„fast spin echo“ (VISTA, SPACE, CUBE)	Ventrale Nervenwurzeln	0,84	2500/250
Parakoronar, T1-gewichtet, vor/nach Gadolinium	Ventrale Nervenwurzeln	3,15	623/10
Bei Neuritis und Tumoren: axiale THRIVE, VIBE, LAVA, Fettsättigung, nach Gadolinium (MIP)	–	0,12	8,2/3,7
Optional: DTI mit SPAIR	–	16 gradientenkodierende Richtungen, b-Wert von >700 s/mm ²	3295/96

TR Relaxationszeit, TE Echozeit, TSE Turbospinecho, STIR „short tau inversion recovery“, VISTA „volume isotropic turbo spin echo acquisition“ (Philips), SPACE „sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution“ (Siemens), CUBE Eigenname GE, THRIVE „T1-weighted high resolution isotropic volume examination“, VIBE „volumetric interpolated breath-hold examination“ (Siemens), LAVA „liver acquisition with volume acceleration“ (GE), MIP „maximum intensity projection“, DTI „diffusion tensor imaging“ (Philips), SPAIR „spectral adiabatic inversion recovery“

Klinische Indikationen für MR-Neurographie und periphere hochauflösende Ultraschallneurographie (HRUS)

Die wichtigsten Indikationen sind:

- Ausschluss einer Läsion bei Patienten mit uni- oder bilateral abnormer Elektromyographie (EMG) oder unauffälliger EMG und anhaltender Symptomatik.
- Bestätigung von Plexopathien bei klinisch nicht eindeutigen Befund.
- Bestätigung der Beteiligung des Plexus und Einschätzung des Ausmaßes bei Tumoren und anderen raumfordernden Erkrankungen.
- Bewertung peripherer Beteiligung und assoziierter Läsionen, beispielsweise iatrogenen Nervenverletzungen (eingriffs- oder lagerungsbedingt, Piriformissyndrom und andere periphere Kompressionssyndrome, Pudendusneuralgie, fokale Neuritiden [10, 11, 23]).
- Planung und Durchführung HRUS- oder MR-gestützter diagnostischer Blockade, Schmerztherapie oder Punktion.

Technik der MR-Neurographie

Die MR-Neurographie ist ein gewebe-spezifisches Bildgebungsverfahren, optimiert für die Beurteilung peripherer Nerven und deren assoziierter Pathologien [20].

Im Allgemeinen erfolgt die MR-Neurographie T2- oder diffusionsbasiert. Dabei ermöglicht die diffusionsbasierte MR-

Neurographie und hier insbesondere die Diffusionstensorbildgebung (DTI) auch funktionelle Aspekte von Nervenläsionen zu erfassen [13, 22].

Die MR-Neurographie mit einer Feldstärke von 3 T ist einem 1,5-T-Gerät aufgrund eines höheren Signal-Rausch-Verhältnisses („signal to noise ratio“, SNR) überlegen. Daraus ergeben sich eine höhere räumliche Auflösung und kleinere Schichtdicken mit einer Verbesserung der Flüssigkeitsdarstellung und des Kontrast-Rausch-Verhältnisses („contrast to noise ratio“, CNR), was von Vorteil für die anatomische Charakterisierung und die Suche nach Läsionen ist.

Protokoll der MR-Neurographie des Plexus lumbosacralis

Die Gestaltung des Untersuchungsprotokolls (■ Tab. 2) ist abhängig von den lokalen technischen Gegebenheiten. Grundsätzlich sollte eine Abklärung mit einer 3-T-MRT mit Körperspule angestrebt werden. Die Untersuchung erfolgt in Rückenlage der Patienten.

Da klinisch eine Plexopathie von einer Spinalkanalstenose bzw. multisegmentalen neuroforaminellen Stenosen oft nicht zu unterscheiden ist, sollte auch bei dedizierten Plexus-MRT-Protokollen eine Darstellung im Überblick der Lendenwirbelsäule bzw. des lumbosakralen Übergangs erfolgen. Dazu eignet sich beispielsweise eine sagittale T2-Turbospinechosequenz (T2-TSE, Repetitionszeit [TR] 2487 ms, Echozeit [TE] 120 ms, rekonstruierte Voxelgröße 0,49 mm/0,49 mm/3,5 mm), die den

Bereich von LWK1 bis nach kokzygeal abdeckt.

Um Muskeldenerervationsödeme als Hinweis für eine periphere Neuropathie zu detektieren, sollte eine STIR-Sequenz (TR 4718 ms, TE 60 ms, rekonstruierte Voxelgröße 0,58 mm/0,58 mm/4,0 mm) bevorzugt in axialer Orientierung akquiriert werden. Bei Verdacht auf Läsionen des lumbalen Plexus wird diese auf den M. iliacus, bei Verdacht auf Läsionen des sakralen Plexus auf den Trochanter zentriert. Das Muster der Denervationszeichen ist ein erster Hinweis für eine spezifische periphere Nervenläsion. Darüber hinaus können anhand des Verteilungsmusters des Muskelbalkes auch zentrale Denervationsmuster, Myositis oder Muskeldystrophien von neurogenen Läsionen richtungsweisend differenziert werden.

Die parakoronale fettgesättigte, T2-gewichtete 3-D-Fast-spin-echo-Sequenz („volume isotropic turbo spin echo acquisition“ [VISTA], „sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution“ [SPACE], CUBE) erlaubt die hochauflösende Darstellung auch sehr kleiner Plexusnerven. Diese sollte gezielt im Bereich der Läsion eingesetzt werden.

T1-gewichtete Sequenzen vor und nach Kontrastmittel(KM)-Applikation sollten in Abhängigkeit von der klinischen Indikation durchgeführt werden. Eine KM-Gabe ist insbesondere bei onkologischen Fragestellungen sowie bei Neuritiden, Polyneuropathien oder postoperativen Komplikationen diagnostisch hilfreich [20]. Für eine größere

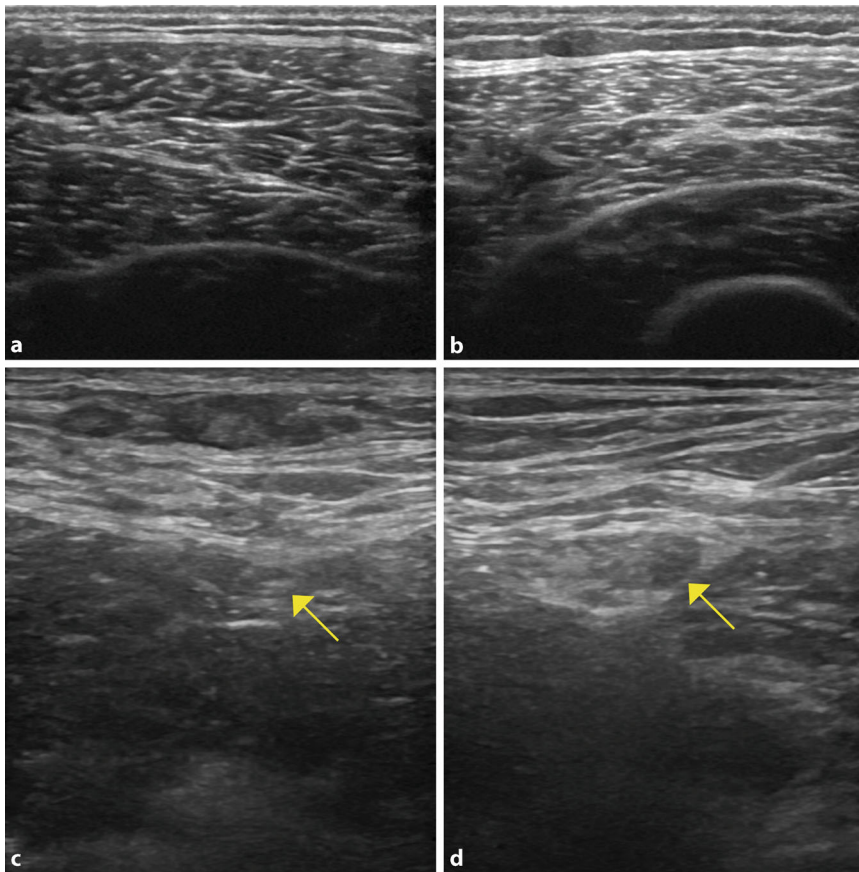


Abb. 6 ▲ Hochaufgelöste Ultraschalldarstellung der unteren Extremität bei Neuritis. Im Vergleich zum Normalbefund der rechten unteren Extremität (a, c) stellt sich linksseitig eine deutliche neuritisbedingte Atrophie der Quadrizepsmuskulatur (b) dar. Der N. femoralis (Pfeil) zeigt sich in der Inguinalregion massiv aufgetrieben (d), verbunden mit einer vermehrten Durchblutung im Farbdoppler (keine Abbildung)

Abdeckung des Untersuchungsbereichs (LWK1 bis kokzygeal) ist insbesondere eine axiale ultraschnelle Gradientenechosequenz („T1-weighted high resolution isotropic volume examination“ [THRIVE], „volumetric interpolated breath-hold examination“ [VIBE], „liver acquisition with volume acceleration“ [LAVA] mit Fettsättigung, TR 8,2 ms, TE 3,7 ms, rekonstruierte Voxelgröße 0,35 mm/0,35 mm/1 mm) nach KM-Applikation zu empfehlen.

Die DTI-basierte Traktographie misst die quer zur Verlaufsrichtung eingeschränkte und in Verlaufsrichtung der Plexus erleichterte Diffusion von Wassermolekülen im Gewebe und kann dadurch die lokale Gewebearchitektur nichtinvasiv dreidimensional darstellen. Die Methode kann auch lokale Nervenläsionen erfassen, die mit konventionellen Neurographiesequenzen nicht darstell-

bar sind [13], und ist klinisch insbesondere zur prognostischen Einschätzung sowie Therapieplanung sinnvoll.

Hochaufgelöste Ultraschallneurographie (HRUS)

Bei der Ultraschalldiagnostik sollte die Verwendung von Sonden mit Frequenzen von 12–18 MHz oder höher (22 MHz für oberflächliche, kleinste kutane Nerven) angestrebt werden.

Die Auswertung beginnt in der Regel mit der Beurteilung der großen Nervenstrukturen im Überblick. Dann werden die klinisch betroffenen Nerven im Detail in ihrem sichtbaren Verlauf untersucht und schließlich die entsprechenden Muskeln hinsichtlich Atrophie und Seitenunterschied im Durchmesser in Kombination mit erhöhter Echogenität geprüft. Die Befunde werden in Quer- und Längsan-

sichten auf Standbildern und mit Videoaufnahmen über die veränderten Nervenabschnitte hinweg dokumentiert. Ferner werden die Querschnittsdurchmesser („cross-sectional diameter“, CSD) der betroffenen Nervensegmente oder Faszikel beurteilt. Bei den größeren Nerven werden auch die Querschnittsflächen („cross-sectional area“, CSA) gemessen [11].

Zu den sonographisch häufig dargestellten Nerven gehören die Nn. femoralis, ischiadicus ab dem proximalen Oberschenkel, peroneus und tibialis [10, 18]. Schwieriger darzustellen sind die Nn. femoralis cutaneus lateralis und femoralis cutaneus posterior. Zu den sehr schwer darstellbaren Nerven gehören die proximalen Abschnitte des N. ischiadicus und der N. ilioinguinalis [23].

In **Abb. 6** stellt sich im Vergleich zum Normalbefund der rechten unteren Extremität linksseitig eine deutliche neuritisbedingte Atrophie der Quadrizepsmuskulatur dar.

Fazit für die Praxis

- Lumbosakrale Plexopathien haben viele mögliche Ursachen (traumatisch, iatrogen, tumorös, entzündlich, metabolisch).
- Mit klinischer Untersuchung und elektrodiagnostischen Verfahren allein können Plexopathien und etwaige periphere Beteiligungen nicht hinreichend erfasst und beschrieben werden.
- Die Kombination von hochauflösender MR-Neurographie und HRUS erlaubt eine differenzierte Darstellung oberflächlicher und tiefer gelegener Plexusanteile und etwaiger Pathologien.
- Fortschrittliche Techniken wie die DTI-basierte Nervenstruktographie erlauben, auch funktionelle Aspekte peripherer Nervenläsionen zu erfassen und werden in Zukunft die Therapieplanung verbessern.

Korrespondenzadresse

Assoz. Prof. PD Dr. G. Kasprian

Universitätsklinik für Radiologie und
Nuklearmedizin, Medizinische Universität Wien
Währinger Gürtel 18–21, 1090 Wien, Österreich
gregor.kasprian@meduniwien.ac.at

Open access funding provided by Medical University
of Vienna.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. S. Jengojan, C. Schellen, G. Bodner und G. Kasprian 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. Abe Y, Terashima H, Hoshino H et al (2015) Characteristic MRI features of chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy. *Brain Dev* 37:894–896. doi:10.1016/j.braindev.2015.01.006
2. Adachi Y, Sato N, Okamoto T et al (2011) Brachial and lumbar plexuses in chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy: MRI assessment including apparent diffusion coefficient. *Neuroradiology* 53:3–11. doi:10.1007/s00234-010-0684-7
3. Akhaddar A, El-Asri A-C (2014) Multiple massive neurofibromas of lumbosacral plexus with intraspinal and pelvic extension. *Pan Afr Med J* 17:67. doi:10.11604/pamj.2014.17.67.3869
4. Capek S, Howe BM, Amrami KK, Spinner RJ (2015) Perineural spread of pelvic malignancies to the lumbosacral plexus and beyond: Clinical and imaging patterns. *Neurosurg Focus* 39:E14. doi:10.3171/2015.7.FOCUS15209
5. Chhabra A, Thakkar RS, Andreisek G et al (2013) Anatomic MR imaging and functional diffusion tensor imaging of peripheral nerve tumors and tumorlike conditions. *AJNR Am J Neuroradiol* 34:802–807. doi:10.3174/ajnr.A3316
6. Chhabra A, Farahani SJ, Thawait GK et al (2016) Incremental value of magnetic resonance neurography of Lumbosacral plexus over non-contributory lumbar spine magnetic resonance imaging in radiculopathy: A prospective study. *World J Radiol* 8:109–116. doi:10.4329/wjr.v8.i1.109
7. Cho Sims G, Boothe E, Joodi R, Chhabra A (2016) 3D MR Neurography of the Lumbosacral plexus: Obtaining optimal images for selective longitudinal nerve depiction. *AJNR Am J Neuroradiol* 37:2158–2162. doi:10.3174/ajnr.A4879
8. Ghijssels S, Bruyninckx F, Delpont H, Corten K (2016) Inflammatory neuropathy of the Lumbosacral plexus following Periacetabular osteotomy. *Case Rep Orthop* 2016:3632654. doi:10.1155/2016/3632654
9. Gibbons KJ, Soloniuk DS, Razack N (1990) Neurological injury and patterns of sacral fractures. *J Neurosurg* 72:889–893. doi:10.3171/jns.1990.72.6.0889
10. 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
11. Gruber H, Peer S, Meirer R, Bodner G (2005) Peroneal nerve palsy associated with knee luxation: Evaluation by sonography – initial experiences. *AJRAMJ Roentgenol* 185:1119–1125. doi:10.2214/AJR.04.1050
12. Irvin W, Andersen W, Taylor P, Rice L (2004) Minimizing the risk of neurologic injury in gynecologic surgery. *Obstet Gynecol* 103:374–382. doi:10.1097/01.AOG.0000110542.53489.c6
13. Jengojan S, Kovar F, Breitenseher J et al (2015) Acute radial nerve entrapment at the spiral groove: Detection by DTI-based neurography. *Eur Radiol* 25:1678–1683. doi:10.1007/s00330-014-3562-6
14. Kasprian G, Amann G, Panotopoulos J et al (2015) Peripheral nerve tractography in soft tissue tumors: a preliminary 3-tesla diffusion tensor magnetic resonance imaging study. *Muscle Nerve* 51:338–345. doi:10.1002/mus.24313
15. Kollmer J, Hund E, Hornung B et al (2015) In vivo detection of nerve injury in familial amyloid polyneuropathy by magnetic resonance neurography. *Brain* 138:549–562. doi:10.1093/brain/awu344
16. Kuntz C, Blake L, Britz G et al (1996) Magnetic resonance neurography of peripheral nerve lesions in the lower extremity. *Neurosurgery* 39(7):750–756
17. Lang EM, Borges J, Carlstedt T (2004) Surgical treatment of lumbosacral plexus injuries. *J Neurosurg Spine* 1:64–71. doi:10.3171/spi.2004.1.1.0064
18. Loizides A, Gruber L, Peer S et al (2017) Ultrasound-guided interventions on the peripheral nervous system. *Radiologe*. doi:10.1007/s00117-016-0203-x
19. Lozeron P, Lacour M-C, Vandendries C et al (2016) Contribution of plexus MRI in the diagnosis of atypical chronic inflammatory demyelinating polyneuropathies. *J Neurol Sci* 360:170–175. doi:10.1016/j.jns.2015.11.048
20. Maravilla KR, Bowen BC (1998) Imaging of the peripheral nervous system: Evaluation of peripheral neuropathy and plexopathy. *AJNR Am J Neuroradiol* 19:1011–1023
21. Marquez Neto OR, Leite MS, Freitas T et al (2016) The role of magnetic resonance imaging in the evaluation of peripheral nerves following traumatic lesion: where do we stand? *Acta Neurochir (Wien)*. doi:10.1007/s00701-016-3055-2
22. Miyagi R, Sakai T, Yamabe E, Yoshioka H (2015) Consecutive assessment of FA and ADC values of normal lumbar nerve roots from the junction of the dura mater. *Bmc Musculoskelet Disord* 16:156. doi:10.1186/s12891-015-0576-4
23. Peer S, Kovacs P, Harpf C, Bodner G (2002) High-resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: Anatomic correlation and spectrum of disease. *J Ultrasound Med* 21:315–322
24. Petchprapa CN, Rosenberg ZS, Sconfienza LM et al (2010) MR imaging of entrapment neuropathies of the lower extremity. Part 1. The pelvis and hip. *Radiographics* 30:983–1000. doi:10.1148/rg.304095135
25. Pham M, Wolf M, Bäumer P et al (2014) MRI of muscle denervation in central and peripheral nervous system disorders. In: Weber M-A (Hrsg) *Magn. reson. imaging skelet. musculature*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 221–240
26. Pham M, Oikonomou D, Hornung B et al (2015) Magnetic resonance neurography detects diabetic neuropathy early and with proximal predominance. *Ann Neurol* 78:939–948. doi:10.1002/ana.24524
27. Robbins NM, Shah V, Benedetti N et al (2016) Magnetic resonance neurography in the diagnosis of neuropathies of the lumbosacral plexus: A pictorial review. *Clin Imaging* 40:1118–1130. doi:10.1016/j.clinimag.2016.07.003
28. Schmidt M, Kasprian G, Amann G et al (2015) Diffusion tensor tractography for the surgical management of peripheral nerve sheath tumors. *Neurosurg Focus* 39:E17. doi:10.3171/2015.6.FOCUS15228
29. Youssef P, Loukas M, Chapman JR et al (2016) Comprehensive anatomical and immunohistochemical review of the innervation of the human spine and joints with application to an improved understanding of back pain. *Childs Nerv Syst* 32:243–251. doi:10.1007/s00381-015-2880-6
30. Zhang X, Li M, Guan J et al (2016) Evaluation of the sacral nerve plexus in pelvic endometriosis by three-dimensional MR neurography. *J Magn Reson Imaging*:1–7. doi:10.1002/jmri.25435