



# 周围神经MRI检查中国专家共识

中华医学会放射学分会骨关节学组

\*通信作者: 袁慧书(北京大学第三医院放射科, 北京 100083), E-mail: huishuy@bjmu.edu.cn; 李绍林(中山大学附属第五医院影像科, 珠海 519000), E-mail: LISHLIN5@mail.sysu.edu.cn

中图分类号: R445.2 文献标识码: A DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.05.001

本文引用格式: 中华医学会放射学分会骨关节学组. 周围神经MRI检查中国专家共识[J]. 磁共振成像, 2023, 14(5): 1-7.

**[摘要]** 周围神经是一个复杂的运动神经和感觉神经网络, 并且长期以来其影像学成像一直是技术难点。随着MRI技术的发展及高场超导MRI的普及, 磁共振神经成像(magnetic resonance neurography, MRN)成为目前最具应用价值和前景的影像学技术, 对周围神经病变的诊断和临床决策有重要意义。周围神经MRI检查具有一定的技术复杂性, 在临床常规影像学检查的应用和普及上受到限制, 且目前尚未有可循的周围神经MRI检查操作规范。中华医学会放射学分会骨关节学组的专家结合自身实践经验, 从临床需求出发, 在充分学习国内外相关文献的基础上, 制定了周围神经MRI检查技术专家共识, 针对外周神经MRI检查的适应证、检查流程、扫描方案、图像后处理以及临床应用方面提供了科学、具体的实践标准和建议, 为全国各级医院放射科医师及技师提供参考, 以促进该技术的规范和普及。

**[关键词]** 磁共振成像; 周围神经; 影像诊断; 临床应用; 专家共识

## Chinese expert consensus on peripheral nerve MRI

Osteoarthrography Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association

\*Correspondence to: Yuan HS (Department of Radiology, the Third Hospital of Peking University, Beijing 100083), E-mail: huishuy@bjmu.edu.cn; Li SL (Department of Imaging, the Fifth Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Zhuhai 519000), E-mail: LISHLIN5@mail.sysu.edu.cn

Received 28 Nov 2022, Accepted 6 May 2023; DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.05.001

**ACKNOWLEDGMENTS** Guangdong Science and Technology Project (No. 2017B090912006).

**Cite this article as:** Osteoarthrography Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on peripheral nerve MRI[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2023, 14(5): 1-7.

**Abstract** The peripheral nerve is a complex motor and sensory neural network, and its imaging has been a technical difficulty for a long time. With the development of MRI technology and the popularity of high-field superconducting MRI, magnetic resonance neurography (MRN) is currently the most valuable and promising imaging technology. It is important for diagnosis and clinical decision of peripheral neuropathy. Peripheral nerve MRI has certain technical complexity, which is limited in the application and popularization of clinical routine imaging examination, and there is no operation standard for peripheral nerve MRI examination to follow. Experts from Osteoarthrography Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association based on their own practical experience and clinical needs, and on the basis of full study of relevant domestic and foreign literatures, developed the expert consensus on peripheral nerve MRI imaging. This paper provides scientific and specific practice standards and suggestions for indications, examination procedures, scanning schemes, image post-processing and clinical applications of peripheral nerve MRI, and provides references for radiologists and technicians in hospitals at all levels in China, so as to promote the standardization and popularization of this technology.

**Key words** magnetic resonance imaging; peripheral nerve; imaging diagnosis; clinical application; expert consensus

## 0 前言

周围神经病变是在许多临床环境中都可能遇到的常见疾病, 现有报道表明, 周围神经病变的发病率约2%~8%<sup>[1]</sup>, 涵盖多种病理的疾病, 包括创伤性、先天性、自身免疫性、炎症性和肿瘤性疾病。患者最常见的表现为运动障碍、感觉丧失和疼痛<sup>[2]</sup>, 严重影响生活质量, 也是导致残疾的一个重要原因。在医学技术快速发展的时代背景下, 临床在周围神经相关疾病的诊疗过程中需要进行更加全面的评估, 以满足精准治疗、个体化治疗的需求, 因此也对周围神经影像成像提出了更高的要求, 包括通过影像技术实现神经结构可视化、3D成像、高分辨多模态图像融合、3D打印建模等, 为临床诊断、治疗和术前规划提供更为丰富的信息。

周围神经损伤及其他原因所造成的周围神经病变的评估主要基于临床和电生理检查<sup>[3-4]</sup>, 无法直观地从形态学上显示神经结构、神经病变的位置、范围及可能的病因。磁共振神经成像(magnetic resonance neurography, MRN)经过20多年的技术发展, 涌现出多种成像技术手段, 图像分辨率不断提高、扫描速度日益加快, 已经成为辅助诊断周围神经病变的重要影像学检查手段之一<sup>[5-7]</sup>。目前, 在恰当的扫描条件及合理的检查参数设定下, MRN检查可以获得高质量的周围神经图像, 辅助疾病的准确定位和诊断。MRN的成像质量受到不同的硬件设备及软件、技术参数设置、患者条件等影响, 目前仍然属于成像难度相对较大的影像技术。临幊上目前在周围神经成像的适应证、硬件要求、检查前准备、扫描方

收稿日期: 2022-11-28 接受日期: 2023-05-06

基金项目: 广东省重大科技专项(编号:2017B090912006)

案、图像后处理以及临床应用等方面的认识存在参差,为进一步规范周围神经MRI检查,中华医学会放射学分会骨关节学组的专家结合临床需求及实践经验,以国内外最新研究进展为参考,特制定此专家共识。

## 1 周围神经成像的解剖学基础

周围神经MRI最小可识别的成像单元为神经纤维束<sup>[8]</sup>,由多个单条的神经纤维及其髓鞘、周围的神经内膜、周围结缔组织、毛细血管及神经束膜捆绑在一起组成,而多个神经纤维束与周围外膜一起组成外周神经干。周围神经成像主要是利用神经内膜中的低蛋白水分子与周围组织水分子之间产生的T2时间差来突出神经纤维束的信号,利用神经内膜的水信号来勾勒出周围神经的结构形态。

脊髓的腹侧与背侧分别发出运动、感觉,向椎管外走行融合形成脊神经,多支脊神经汇合形成不同神经丛,四肢的周围神经由此延续形成。颅神经(12对)、脊神经(31对)与四肢等周围神经统称周围神经<sup>[9-10]</sup>,其中脊神经又形成颈丛、臂丛、腰丛、骶丛等不同的纤维丛。由于周围神经走行迂曲、结构复杂,与周围组织水分子信号差异很小,且周围往往存在骨骼、肌肉、脂肪、淋巴、血管等多种复杂组织结构产生干扰,成像难度大。目前,MRN的总体策略是采用高分辨各向同性的3D成像来解决周围神经结构走行复杂的问题,利用重T2权重的序列或扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)相关序列成像突出神经组织信号而抑制周围组织信号,并且选用合适的脂肪抑制技术减少脂肪信号的影响<sup>[6, 11-13]</sup>。

## 2 适应证与禁忌证

适应证:(1)周围神经解剖定位,显示正常解剖结构及变异;(2)制订手术或治疗计划:如外伤造成的神经损伤、神经卡压,或肿瘤等占位性病变的定性和范围评估等;(3)非特异性疼痛、感觉或运动障碍患者,电生理及传统MRI检查尚无定论,以排除/确诊周围神经病变;(4)神经相关疾病及周围组织病变累及神经的相关疾病的定性及范围的评估,神经损伤程度的分级;(5)术后评估;(6)为其他临床或教学活动提供影像3D数据。

禁忌证<sup>[14]</sup>:(1)体内有心脏起搏器、神经刺激器和人工耳蜗者,MRI检查存在较大风险,需充分评估其MR安全性;(2)体内有动脉瘤夹、金属异物者,检查前需充分明确金属物体的属性,强铁磁性材料的禁止行MRI检查;(3)眼内金属植入物有可能在强磁场中发生移位,不宜进行MRI检查;(4)骨科手术相关的非磁性或弱磁性金属植入物MRI检查往往是安全的,但会引起明显的金属伪影,需评估其对相关区域神经成像的影响;(5)昏迷、神志不清、精神异常、易发癫痫

病、严重外伤、幽闭症患者、幼儿及不配合的患者,周围神经MRI检查的成功率显著减低,需评估检查的风险及必要性,检查时须医生或家属的监护,必要时给予镇静剂;(6)高烧患者,最好待患者体温降至正常时再扫描,如必须扫描则应使用低射频特殊吸收率(specific absorption ratio, SAR)值扫描序列并给予患者密切监护。

## 3 检查技术要点

### 3.1 设备及检查技术

#### 3.1.1 扫描设备

由于3.0 T磁共振扫描仪具备高信号比、合适的空间分辨率及更快的扫描速度,推荐优先使用3.0 T高场强磁共振扫描仪。3.0 T磁共振扫描仪可获得更薄的扫描层厚,可以使2D成像获得更好的平面分辨率、3D成像获得更好的各向同性分辨率。当不能使用3.0 T磁共振扫描仪时,推荐使用1.5 T磁共振扫描仪<sup>[15]</sup>。1.5 T磁共振扫描仪需要更长的扫描时间,在3D成像方面会受到一些限制,但仍然可以满足大部分检查需求。特别是对于近期手术后、创伤后的患者,1.5 T磁共振扫描仪因其磁场强度较低,出血或手术植入材料相关伪影带来的图像失真相对3.0 T磁共振扫描仪更小。

#### 3.1.2 线圈选择

推荐使用多通道线圈,为提高图像信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和成像速度,优先选择16通道及以上线圈,并使用并行采集技术缩短扫描时间。对于四肢的MRN,推荐使用专用相控阵列线圈(如神经血管阵列线圈/体表柔性表面线圈或专用肩、腕、膝或踝线圈),同时使用并行采集技术以提高检查效率。线圈使用总体原则是尽量紧贴或包裹需要检查的区域,尽量减少线圈与肢体之间存在大的空白(空气)区,必要时可联合应用表面线圈和多通道相控阵列线圈,以提高SNR,减少磁场的不均匀性带来的影响<sup>[5]</sup>。若患者因自身原因在检查过程中出现疼痛或活动受限,建议使用专用的线圈和定位垫,以减少因身体不适产生运动相关伪影。

#### 3.1.3 扫描视野

视野(field of view, FOV)的设置原则是在满足临床需求的前提下,尽量选择小的FOV进行扫描,以获得高分辨率和SNR的图像。FOV设置应控制肢体周围空白间隙小于肢体面积的20%,为了避免该设置造成的卷褶伪影,可以加入过采样和去卷褶技术加以克服<sup>[7]</sup>。FOV的设置在扫描层面、图像质量方面有决定性的作用,对周围神经病变的检出和诊断至关重要,影像工作者需与临床进行充分沟通,尽可能通过临床相关检查对病变区域作出筛选,从而确定扫描范围。

### 3.2 患者准备

影像技术人员对患者的指导和宣教在检查中发挥着重要的作用,包括让患者在检查过程中如何配合、如何保持体位等,应该给予重视。影像检查前,应该了解患者做MRN的目的及相关病史,包括最相关的急/慢性疾病、任何相关的电生理诊断信息、手术史、糖尿病史、神经病变家族病史等。如检查前有病变的体表定位,可在相应区域放置标记物。检查摆位时应该使用垫子让患者尽可能处于一个舒适的姿势、限制肢体随意摆动,并要求患者在图像采集过程中保持静止、正常呼吸。在盆腔或腰骶丛MRN检查前应嘱患者排空膀胱以避免造成T2信号干扰影响图像后处理。当患者疼痛或其他感觉异常无法坚持配合检查时,可根据实际情况酌情给予适当的止痛镇静剂。

## 4 扫描序列的选择

周围神经MRI的总体原则是突出神经束与周围组织的T2信号差,并抑制背景信号。在日常检查中,常常结合2D和3D成像进行多平面观察。脊神经及相关神经丛扫描时,冠状位扫描可同时实现双侧多个节段神经根,易发现患侧神经和对侧神经在信号和形态上的相对变化<sup>[16]</sup>,而考虑节前神经根病变时,往往还需要轴位扫描加以辅助<sup>[17]</sup>。下面介绍目前周围神经成像可供选择的常用序列,以供临床工作选择和参考。临床中需要根据患者实际情况,对周围神经成像方式和序列进行选择,必要时可以选择联合应用多种扫描序列进行成像。

### 4.1 3D快速自旋回波

3D快速自旋回波(fast spin echo, FSE)/涡轮自旋回波(turbo spin echo, TSE)是目前最常用的3D各向同性周围神经成像序列,属于T2权重的FSE序列,可结合短时间反转恢复(short time reversal recovery, STIR)脂肪抑制技术,即3D-STIR-TSE序列,实现神经结构的显示和背景的抑制。该序列为3D各向同性成像,允许更薄的扫描层厚(可小于1 mm),可进行多平面重组、最大密度投影重建,更好地描绘复杂的周围神经解剖结构及走行。不同厂家对该序列有不同的命名,如VISTA、CUBE、SPACE等。然而,STIR技术虽然可以比较好地实现脂肪背景信号的抑制,但也存在成像SNR偏低、搏动伪影明显、成像时间较长等缺点,特别是在臂丛神经成像时脂肪抑制效果受到较大影响。当扫描部位位于磁场中心区域时,可以选择光谱绝热反转恢复(spectral adiabatic inversion recovery, SPAIR)压脂技术,可以获取较高的SNR、减少搏动伪影<sup>[18-19]</sup>。

### 4.2 背景抑制扩散加权成像

背景抑制扩散加权成像(diffusion weighted imaging with background suppression, DWIBS)是

利用神经髓鞘的存在造成神经组织内部水分子各向异性的特点进行DWI,神经内水分子扩散受限而形成高信号,在此基础上结合STIR等技术抑制背景信号,实现选择性地显示神经结构。受扩散梯度的影响,基于平面回波成像的DWI结合STIR背景抑制的方法往往SNR和空间分辨率不高,多用于显示较粗大的神经,小的外周神经显示效果欠佳。利用翻转稳态进动快速成像(reversed fast imaging with steady state precession, PSIF)序列联合DWI可提高图像的SNR及空间分辨率,有助于小神经的显示<sup>[20]</sup>。

### 4.3 3D快速梯度回波

利用小角度激发的快速梯度回波3D成像序列,获取T2权重的图像以显示周围神经结构。此类方法是基于扰相梯度回波的快速成像技术,结合背景抑制而达到显示周围神经的目的。不同厂家的相关命名有FFE、FLASH/PSIF、SPGR等。此类成像方法扫描时间较短,神经组织显示清楚,缺点是背景抑制效果相对较差,肌肉组织信号比较高。

### 4.4 扩散张量成像

扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是一种选择性功能成像,利用周围神经内部水分子的各向异性特点进行成像,通过纤维束追踪技术显示神经形态结构,可用于周围神经功能性改变、损伤的初步评估或外科修复创伤的评估。DTI还通过一些参数测量,如各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、平均扩散率、径向扩散率和轴向扩散率,提供有关正常和/或病变神经的定量信息<sup>[21-23]</sup>。DTI成像时间长,空间分辨率不高,并且容易出现运动伪影及ghosting伪影,应用较为受限。设置紧密的回波间隔、频率选择性脂肪抑制、图像采集前的高质量匀场以及指导患者配合静止,有助于获得好的DTI数据<sup>[24]</sup>。DTI可根据临床需求,联合应用形态学神经扫描序列,作为功能MRI的补充扫描。

### 4.5 水激发成像

水激发成像(water-excitation, WE)选择性水激发的梯度回波序列采用3D成像方法,使神经组织内的水被激发而产生信号,也是脂肪抑制技术的一种。现常见用于外周神经成像的WE技术主要有双回波稳态水激发(3D dual echo steady state with water-exit, 3D-DESSwe)、选择性水激发技术(principle of selective excitation technique, PROSET)等。该序列的主要不足有背景信号特别是肌肉信号不够低,其他液体或脉管组织信号抑制欠佳。

### 4.6 3D自旋回波翻转恢复序列

3D自旋回波翻转恢复序列利用翻转恢复技术抑制自由水信号,并且是利用real图成像,在颅神经的显示中有一定的优势。主要有3D真实重建反转恢复(real inversion recovery, 3D Real IR)序列、3D液体衰减反转恢复(3D fluid attenuated inversion

recovery, 3D FLAIR)序列。

## 5 增强扫描

由于血-神经屏障的存在,静脉注射MRI对比剂后,正常神经组织并不会强化。然而,当血-神经屏障的完整性受到破坏时,T1WI增强扫描可使神经强化,提高外周神经与周围组织的信号差别<sup>[25]</sup>。当临床怀疑肿瘤(肿瘤浸润神经)、炎症(感染、妊娠、自身免疫相关疾病)或神经病术后患者,推荐选择T1WI增强脂肪抑制序列<sup>[26-27]</sup>。周围神经病变的患者肌肉如处于失神经状态,强化程度会提高,增强扫描有助于判断病变范围。此外,钆对比剂可缩短神经周围富含顺磁性的组织的T2值,而由于血-神经屏障作用,对比剂不能使神经强化,因此在T2权重序列采用STIR作为背景抑制的情况下,可提高神经与周围组织的信号对比度<sup>[28]</sup>。

## 6 周围神经扫描参考方案

鉴于不同的单位临床特色和需求、不同厂家的扫描仪工作特点均存在差别,故无法做到绝对一致的扫描方案和推荐参数。下面以3.0 T磁共振扫描仪为参考,列举常见的周围神经成像扫描方案,扫描参数及序列设置应根据临床实际情况、患者配合程度以及设备特点等进行调整。在条件合适的情况下,推荐增加T1、T2权重的增强扫描。

### 6.1 臂丛神经扫描

#### 6.1.1 体位

患者取仰卧位,头先进,下颌紧收,双手置于身体两侧,颈椎取常规体位,以患者舒适为首选,肩背部或头部可垫高使颈胸椎生理曲度尽量变直。双肩部可放置盐水袋/小米袋,以减少空气与软组织交界面的磁场不均匀性。推荐优先选用神经血管阵列线圈,或头颈-脊柱相控阵列线圈,必要时可结合体表线圈两侧分开扫描。

#### 6.1.2 扫描层面定位

当颈-上胸椎排列呈直线时,扫描基线与椎体后缘平行;当存在生理曲度时,扫描基线则平行于C5~C6椎体后缘;扫描范围应覆盖C4椎体上缘至T4椎体水平,横断位扫描时C4椎体水平至T2椎体水平即可;双侧应覆盖双肩关节;前后包括椎体前缘和椎管后缘。

### 6.2 腰骶丛及坐骨神经扫描

#### 6.2.1 体位

患者取仰卧位,四肢完全伸展,双手置于胸前,以减少扫描过程中出现的卷褶伪影;嘱患者平静呼吸。定位中心对准线圈中心及髂棘连线中点(约平L4椎体棘突);腹部放置小沙袋,或用宽布带固定大腿中部,以减少腹壁运动及肢体活动所产生的运动伪影。使用脊柱阵列线圈,可以与患者前部的身体

阵列线圈相结合。

#### 6.2.2 扫描层面定位

当腰椎生理曲度变直时,扫描基线与椎体后缘平行;当存在生理曲度时,平行于L3~L5椎体后缘连线进行扫描;冠状位及矢状位扫描时,扫描范围约T12椎体中份至骶尾椎水平;横断位扫描需要包括全部腰、骶尾椎椎体,或对可疑病变区域进行小范围的扫描。双侧应覆盖双侧股骨头,前后包括椎体前缘至椎管后缘。

### 6.3 四肢周围神经扫描

#### 6.3.1 体位

上肢扫描患者取仰卧位,头先进,掌心向上,患侧贴近检查床床面。下肢扫描患者取仰卧位,足先进,足尖向上,若患处位于身体背侧时可取俯卧位,以减少压迫引起组织结构的变形。肢体周围或上方放置小沙袋,或用宽布带固定下肢,以减少肢体活动所产生的运动伪影。优先推荐使用四肢相关部位专用线圈,当专用线圈无法满足时选用多通道体表线圈/柔性线圈。

#### 6.3.2 扫描层面定位

冠状位及矢状位扫描需要平行于神经的长轴或短轴;横断位则需要垂直于神经的长轴。扫描范围尽可能选择小范围扫描以提高图像分辨率,缩短扫描时间。可对患侧进行单侧扫描或双侧同时对比成像。

### 6.4 颅神经扫描

#### 6.4.1 体位

患者头先进,保持头部自然舒适状态,两侧缝隙用海绵垫固定,减少头部运动导致的伪影;双手自然放置身体两侧或置于胸前。采用高头部、颈部多通道阵列线圈。

#### 6.4.2 扫描层面定位

颅神经有十二对,不同神经的走行方向有所不同,在扫描定位方面尽量根据目标神经的走行分布确定扫描范围,可以根据临床资料进行初步判断。选择适当的成像平面有助于提高颅神经的显示率,如矢状位有助于显示眶上、眶下神经,横断位有助于显示嗅神经、视神经、面听神经、三叉神经颅内段,冠状位有助于显示舌咽神经/迷走神经、舌下神经<sup>[10,29]</sup>。3D扫描可根据神经走行选择相应的重建平面。

### 6.5 参考扫描序列

用于周围神经的磁共振扫描序列在不断发展,不同成像技术均具有各自的优缺点。本共识根据当前临床常用的磁共振扫描仪及相关检查技术实际运用场景,将主要的外周神经成像扫描序列进行汇总(表1),以供参考。

## 7 图像重建

利用3D各向同性的MRN所获得的图像数据,可

表1 周围神经MRI参考扫描序列及参数设置  
Tab. 1 Peripheral nerve MRI reference scan sequence and parameter settings

扫描序列	重复时间/ms	回波时间/ms	层厚/mm	层间距/mm	其他
常规2D序列					
T1-TSE Tra/Sag/Cor	500.0	8.0	4.0	0.4	—
T2-TSE Tra/Sag/Cor	3000.0	120.0	4.0	0.4	—
T2权重3D序列3D-T2-FFE Cor(FLASH/SPIR)	7.9	3.9	1.0	0.0/-1.0	翻转角30°/8°
PROSET/DESSwe Cor	28.0	18.0	1.0	0.0	翻转角8°
3D-STIR/SPAIR-TSE Cor(VISTA/SPACE/CUBE)	3500.0~4000.0	170.0	2.0	0.0/-1.0	反转时间160 ms
扩散相关序列					
DWIBS Tra	9000.0	69.0	3.0	0.0	b=800 s/mm <sup>2</sup>
DTI Tra	9000.0	85.0	2.0	0.0	b=800,1000,1200 s/mm <sup>2</sup> ; 25~30个扩散敏感梯度方向
液体敏感反转恢复序列					
3D-FLAIR-real	6000.0	140.0	1.2	0.6	反转时间2000 ms,翻转角90°
3D-real IR	7000.0	300.0	1.2	0.6	反转时间1600 ms,翻转角90°

注:增强扫描可用于常规T1WI、T2-STIR; Tra为横断面,Sag为矢状面,Cor为冠状面;扫描参数需根据具体设备等情况进行调整。

对图像进行最大强度投影提高图像SNR,进行多平面重建和曲面重建,以更好地描绘周围神经解剖结构及神经走行,有助于沿其长轴显示神经,描述沿其长轴的形态改变、不连续和病变<sup>[30]</sup>。神经组织MR数据高分辨3D重建还可以与CT等3D数据融合配准,形成多模态3D模型,更好地展示神经与其他组织结构的关系<sup>[31]</sup>。

## 8 阅片及报告要点

影像诊断医生进行周围神经图像阅片时,一定要充分结合临床病史、不同成像技术及图像重建进行综合判断,对结合神经组织的解剖定位及影像学征象进行描述,得出相应的诊断。影像报告应包括神经组织病变的位置、形态信号变化、邻近组织结构的改变等内容。

正常周围神经常规T1WI及T2WI序列均与骨骼肌信号相仿,T2权重脂肪抑制影像上神经结构呈等信号或轻度高信号,增强扫描无强化。从形态学上,正常神经束走行自然,近端至远端逐渐变细,不出现局限性变细或明显增粗;神经周围脂肪界面清晰,并可见伴行动脉、相近管径与神经相仿。当出现周围神经局限性增粗(管径大于伴行动脉)、局部T2信号增高(高于T1WI静脉信号)、信号减低或缺失(比如纤维化、萎缩、断裂等)、增强扫描出现强化(血-神经屏障破坏)、所支配肌肉出现萎缩、水肿、脂肪浸润等情况时,均提示神经组织病变<sup>[32~33]</sup>。下面列举几种常见周围神经病变的影像学特征表现。

### 8.1 神经卡压

常见的有腕管综合征、肘管综合征、尺管综合征等,诊断仍然主要依赖于病史、体格检查和电生理检查,影像学对病变的具体定位及周围组织的病变显示有帮助。MRN主要表现为相应卡压部位突然变窄呈“缺口征”(神经长轴切面显示),邻近神经束肿胀增粗,T2权重压脂序列信号增高,DTI显示FA值下降而ADC值升高<sup>[7,34~35]</sup>。此外还要注意对周围组织结构

的变化进行观察,如神经通道狭窄、周围肌腱肌肉或骨质的病变、关节炎、滑膜炎、占位或肿块等。

### 8.2 神经损伤

常见病因包括拉伤、撕裂、骨折后继发伤、穿刺或注射损伤等,并可分为神经失用、轴突断裂、神经断裂不同严重程度<sup>[18]</sup>。神经失用仅伤及髓鞘,导致一过性神经功能障碍,MRN主要表现有T2信号增高和轻度肿胀。轴突断裂为轴突损伤后不连续,但是神经束膜和外膜仍保持完整,病变以远可出现华勒氏变性,MRN表现除了神经粗大、T2信号增高之外,还可以表现为节段性信号混杂、缺失,远段变细或不显影。神经断裂是指神经束完全离断、神经功能完全丧失,急性期MRN可直接观察到神经断裂、分离的部位,并可见相应区域积液;亚急性期和慢性期神经断端可见条状低信号(纤维化)或局部瘤样改变<sup>[7]</sup>。当损伤神经仍保持连续性时,DTI可以正常显示神经束形态,但DTI无法追踪断裂的神经结构,可表现为病变区域信号紊乱<sup>[30]</sup>。

### 8.3 系统性周围神经病变

系统性周围神经病变为继发于全身系统性的病变,如代谢性疾病、中毒、感染、炎症、自身免疫性疾病或遗传性疾病。临床常见的系统性周围神经病变为继发于代谢性疾病(如糖尿病、淀粉样变性)、自身免疫性疾病等。MRN的主要表现是受累神经的水肿增粗、T2信号升高,以及所支配肌肉的失神经改变:水肿(急性期)、萎缩和脂肪浸润(亚急性、慢性期)<sup>[6]</sup>。感染等炎症病变继发的周围神经病变的MRN往往表现为长节段的神经水肿增粗及相应T2信号增高改变,并且增强扫描可见到不均匀的强化<sup>[36]</sup>。

### 8.4 肿瘤

最常见的周围神经肿瘤有神经鞘瘤、神经纤维瘤、纤维脂肪瘤性错构瘤等,MRN主要表现为神经走行区域的占位性病变,根据不同肿瘤的形态及信号特点对肿瘤性质和来源作出判断。在影像报告中,需要对病变的数目、大小、范围、分布及周围组织改

变等情况进行描述。

## 9 新技术及发展方向

周围神经相关疾病的患者常常无法坚持长时间的磁共振扫描,这限制了周围神经MRI检查作为一种常规检查手段应用于临床。因此,快速成像成为MRN技术发展的重要一环,常联合应用并行成像技术、压缩感知成像等快速成像方法,实现周围神经的快速扫描。提高神经显示能力也是MRN技术发展的重点,MRI开发者不断开发出多种序列联合成像技术,总体方向依然是抑制背景信号如移动的血流信号以及突出神经组织信号,这样有助于对神经的精确定位和/或周围神经病变的术前评估。一些新的扫描序列逐渐证明了在周围神经疾病辅助诊断中的应用。比如超短回波(ultrashort echo time, UTE)成像3D UTE-Cones技术用于神经内短回波时间的成分(如髓鞘等)的定量检测<sup>[37]</sup>,现已证明定量磁共振神经成像的可行性;磁化传递对比成像(magnetization transfer contrast imaging, MTC)可以提供神经组织的组成、蛋白含量、胶原蛋白完整性及脱髓鞘信息<sup>[38]</sup>,以揭示脱髓鞘和轴突丢失所引起的神经组织的变化;定量磁敏感图(quantitative susceptibility mapping, QSM)、化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)成像等技术在神经组织代谢及退行性变等疾病的定量检测方面也取得了良好的研究成果<sup>[39]</sup>。综上,新的扫描序列在一定程度上可以为神经的识别及损伤提供新的信息,但其在周围神经成像以及临床诊疗中的应用价值需要在未来进一步研究确定。

在增强扫描方面,除常规钆对比剂的应用外,新型对比剂Gadofluorine-M对检测神经损伤导致的血神经屏障破坏的敏感性高于传统的Gd-DTPA增强<sup>[40]</sup>,有助于追踪周围神经退行性变和再生<sup>[41]</sup>。炎症细胞MRI对比剂如超顺磁氧化铁颗粒和氟碳增强<sup>19</sup>F等可作为外周神经炎症细胞浸润的体内生物标志物<sup>[40, 42]</sup>。新型MRI对比剂还未常规应用于临床,但为未来周围神经增强扫描提供重要的指导意义。

伴随着人工智能技术的进步和发展,也可通过人工智能深度学习的方式实现图像去噪和伪影校正,提高图像分辨率。未来可能在提高图像空间分辨率及增加临床试验的基础上实现细胞水平磁共振扫描,在无创性检查基础上实现更精准的周围神经病变的诊断。

## 10 小结

综上所述,伴随着磁共振扫描技术的迅猛发展,实现快速、规范化的神经扫描有利于受检者病情的评估,为临床个性化治疗方案的制订提供准确信息。本共识就规范化周围神经扫描提供了相关重要的扫

描序列、参数及推荐扫描方案,但还需要更多的证据进一步推动周围神经MR扫描的应用,以使更多的患者受益。

**执笔者:**张晓东(南方医科大学第三附属医院医学影像科,广州 510630)

**专家组成员(按姓名汉语拼音排序,排名不分先后):**艾松涛(上海交通大学附属第九人民医院放射科)、陈爽(复旦大学附属华山医院放射科)、陈伟(陆军军医大学第一附属医院放射科)、程晓光(北京积水潭医院放射科)、丁建平(杭州师范大学附属医院影像科)、李小明(华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科)、牛金亮(山西医科大学第二医院放射科)、王绍武(大连医科大学附属第二医院放射科)、徐文坚(青岛大学附属医院放射科)、曾献军(南昌大学第一附属医院放射科)、曾自三(广西医科大学第一附属医院放射科)、查云飞(武汉大学人民医院放射科);**秘书:**陈焱君(南方医科大学第三附属医院医学影像科)、王见(南方医科大学珠江医院放射科)。

**作者利益冲突声明:**全体作者均声明无利益冲突。

## 参考文献 [References]

- ENGLAND J D, ASBURY A K. Peripheral neuropathy[J]. Lancet 2004, 363(9427): 2151-2161. DOI: 10.1016/s0140-6736(04)16508-2.
- ABDELLAOUI A, WEST N J, TOMLINSON M A, et al. Lower limb paralysis from ischaemic neuropathy of the lumbosacral plexus following aorto-iliac procedures[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2007, 6(4): 501-502. DOI: 10.1510/icvts.2007.151993.
- FERRANTE M A. The Assessment and Management of Peripheral Nerve Trauma[J]. Curr Treat Options Neurol, 2018, 20(7): 25. DOI: 10.1007/s11940-018-0507-4.
- HELM S, SHIRSAT N, CALODNEY A, et al. Peripheral Nerve Stimulation for Chronic Pain: A Systematic Review of Effectiveness and Safety[J]. Pain Ther, 2021, 10(2): 985-1002. DOI: 10.1007/s40122-021-00306-4.
- CHHABRA A, FLAMMANG A, PADUA A, et al. Magnetic resonance neurography: technical considerations[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2014, 24(1): 67-78. DOI: 10.1016/j.nic.2013.03.032.
- KHALILZADEH O, FAYAD L M, AHLAWAT S. 3D MR Neurography [J]. Semin Musculoskelet Radiol, 2021, 25(3): 409-417. DOI: 10.1055/s-0041-1730909.
- CHHABRA A, MADHURANTHAKAM A J, ANDREISEK G. Magnetic resonance neurography: current perspectives and literature review[J]. Eur Radiol, 2018, 28(2): 698-707. DOI: 10.1007/s00330-017-4976-8.
- HOLZGREFE R E, WAGNER E R, SINGER A D, et al. Imaging of the Peripheral Nerve: Concepts and Future Direction of Magnetic Resonance Neurography and Ultrasound[J]. J Hand Surg Am, 2019, 44(12): 1066-1079. DOI: 10.1016/j.jhsa.2019.06.021.
- GEORGY B A, SNOW R D, HESSELINK J R. MR imaging of spinal nerve roots: techniques, enhancement patterns, and imaging findings[J]. Am J Roentgenol, 1996, 166(1): 173-179. DOI: 10.2214/ajr.166.1.8571871.
- ROMANO N, FEDERICI M, CASTALDI A. Imaging of cranial nerves: a pictorial overview[J]. Insights Imaging, 2019, 10(1): 33. DOI: 10.1186/s13244-019-0719-5.
- TOUSKA P, CONNOR E J. New and Advanced Magnetic Resonance Imaging Diagnostic Imaging Techniques in the Evaluation of Cranial Nerves and the Skull Base[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2021, 31(4): 665-684. DOI: 10.1016/j.nic.2021.06.006.
- GRASSO D, BORREGGINE C, MELCHIONDA D, et al. Role of 3D MRI with proset technique in the evaluation of lumbar radiculopathy [J]. J Biol Regul Homeost Agents, 2013, 27(3): 817-825.
- 费佳, 翁得河, 赵聪, 等. Syngo MR 外周神经成像[J]. 磁共振成像, 2012, 3(6): 465-470. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8034.2012.06.012.
- FEI J, WENG D H, ZHAO C, et al. Syngo MR peripheral nerve imaging[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2012, 3(6): 465-470. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8034.2012.06.012.
- 中华医学会放射学分会质量管理与安全管理学组, 中华医学会放射

- 学分会磁共振成像学组. 磁共振成像安全管理中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(10): 725-731. DOI: 10.3760/j.issn.1005-1201.2017.10.003.
- Chinese Medical Association Radiology Society Quality Management and Security Management Group, Chinese Medical Association Radiology Society Magnetic Resonance Imaging Group. Magnetic resonance imaging safety management: Chinese expert consensus[J]. Chin J Radiol, 2017, 51(10): 725-731. DOI: 10.3760/j.issn.1005-1201.2017.10.003.
- [15] TSIOTSIOS I C, KUTSNIASHVILI S, DOROVINIS G, et al. MR Neurography of the lumbosacral plexus: a pictorial review[J/OL]. Electronic Presentation Online System, 2018 [2022-11-27]. <https://dx.doi.org/10.1594/ercr2018/C-2547>. DOI: 10.1594/ercr2018/C-2547.
- [16] CHHABRA A, THAWAIT G K, SOLDATOS T, et al. High-resolution 3T MR neurography of the brachial plexus and its branches, with emphasis on 3D imaging. AJNR[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34(3): 486-497. DOI: 10.3174/ajnr.A3287.
- [17] REHMAN I, CHOKSHI F H, KHOSA F. MR imaging of the brachial plexus[J]. Clin Neuroradiol, 2014, 24(3): 207-216. DOI: 10.1007/s00062-014-0297-3.
- [18] THAWAIT S K, WANG K, SUBHAWONG T K, et al. Peripheral nerve surgery: the role of high-resolution MR neurography. AJNR[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2012, 33(2): 203-210. DOI: 10.3174/ajnr.A2465.
- [19] 吴婧, 卢铃铨, 顾建平. 磁共振脂肪抑制技术在骨与关节病变中的应用[J]. 医学影像学杂志, 2013, 23(1): 146-150. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9011.2013.01.052.
- WU J, LU L Q, GU J P. The application of fat-suppression technology in the diagnosis of bone joint disease[J]. Journal of Medical Imaging, 2013, 23(1): 146-150. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9011.2013.01.052.
- [20] CHHABRA A, SUBHAWONG T K, BIZZELL C, et al. 3T MR neurography using three-dimensional diffusion-weighted PSIF: technical issues and advantages[J]. Skeletal Radiol, 2011, 40(10): 1355-1360. DOI: 10.1007/s00256-011-1162-y.
- [21] 骆磊, 李筠, 左孟哲, 等. 磁共振DTI在2型糖尿病周围神经病变中的应用研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(10): 1865-1868. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2021.10.006.
- LUO L, LI Y, ZUO M Z, et al. Application of DTI Imaging in Peripheral Neuropathy of Type 2 Diabetes[J]. J Clin Radiol, 2021, 40(10): 1865-1868. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2021.10.006.
- [22] 张付龙, 胡潇方, 闫呈新, 等. 基于磁共振DTI与MIP后处理的膝部神经三维成像显示[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(4): 733-736. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2019.04.039.
- ZHANG F L, HU X F, YAN C X, et al. Three-Dimensional Display of Peripheral Nerves in the Knee Region Based on the MR DTI Scanning and MIP Post-Processing[J]. J Clin Radiol, 2019, 38(4): 733-736. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2019.04.039.
- [23] MARTIN NOGUEROL T, BAROUSSE R, GÓMEZ CABRERA M, et al. Functional MR Neurography in Evaluation of Peripheral Nerve Trauma and Postsurgical Assessment[J]. Radiographics, 2019, 39(2): 427-446. DOI: 10.1148/radiographics.2019180112.
- [24] CHHABRA A, THAKKAR R S, ANDREISEK G, et al. Anatomic MR imaging and functional diffusion tensor imaging of peripheral nerve tumors and tumorlike conditions[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34(4): 802-807. DOI: 10.3174/ajnr.A3316.
- [25] SNEAG D B, DANIELS S P, GEANNETTE C, et al. Post-Contrast 3D Inversion Recovery Magnetic Resonance Neurography for Evaluation of Branch Nerves of the Brachial Plexus[J]. Eur J Radiol, 2020, 132: 109304. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109304.
- [26] LUTZ A M, GOLD G, BEAULIEU C. MR Imaging of the Brachial Plexus[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2014, 24(1): 91-108. DOI: 10.1016/j.nic.2013.03.024.
- [27] CHHABRA A, LEE P P, BIZZELL C. 3 Tesla MR neurography--technique, interpretation, and pitfalls[J]. Skeletal Radiol, 2011, 40(10): 1249-1260. DOI: 10.1007/s00256-011-1183-6.
- [28] WANG L, NIU Y, KONG X, et al. The application of paramagnetic contrast-based T2 effect to 3D heavily T2W high-resolution MR imaging of the brachial plexus and its branches[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(3): 578-584. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.12.001.
- [29] 吴绯红, 孔祥泉, 郑传胜, 等. 颌面部肿瘤颅神经外周段增强磁共振成像研究[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2019, 48(2): 206-209. DOI: 10.3870/j.issn.1672-0741.2019.02.014.
- WU F H, KONG X Q, ZHENG C S, et al. Application of Contrast Enhanced Magnetic Resonance Neurography in Peripheral Branches of the Cranial Nerves on Maxillofacial Tumors[J]. Acta Med Univ Sci Technol Huazhong, 2019, 48(2): 206-209. DOI: 10.3870/j.issn.1672-0741.2019.02.014.
- [30] MALLOUI A, MARIK W, PRAYER D, et al. 3T MR tomography of the brachial plexus: structural and microstructural evaluation[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(9): 2231-2245. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.05.021.
- [31] 陈煜辉, 张晓东, 王见, 等. 基于增强CT和MRN的三维图像拟合技术对骨盆骨折合并腰骶丛损伤的诊疗价值[J]. 中华骨科杂志, 2022, 42(10): 609-617. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-2021228-00756.
- CHEN Y H, ZHANG X D, WANG J, et al. Application of 3D image fusion technique of enhanced CT and magnetic resonance neurography on pelvic fractures with lumbosacral plexus injury[J]. Chin J Orthop, 2022, 42(10): 609-617. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-2021228-00756.
- [32] GONZALEZ N L, HOBSON-WEBB L D. The Role of Imaging for Disorders of Peripheral Nerve[J]. Clin Geriatr Med, 2021, 37(2): 223-239. DOI: 10.1016/j.cger.2021.01.001.
- [33] ZHANG H, XIAO B, ZOU T. Clinical application of magnetic resonance neurography in peripheral nerve disorders[J]. Neurosci Bull, 2006, 22(6): 361-367.
- [34] SUBHAWONG T K, WANG K C, THAWAIT S K, et al. High resolution imaging of tunnels by magnetic resonance neurography[J]. Skeletal Radiol, 2012, 41(1): 15-31. DOI: 10.1007/s00256-011-1143-1.
- [35] KOLLMER J, BENDSZUS M. Imaging of the hand: What should be considered regarding the nerves? [J]. Radiologe, 2021, 61(4): 375-381. DOI: 10.1007/s00117-021-00823-5.
- [36] STÜRZENBECHER A, BRAUN J, PARIS S, et al. MR imaging of septic sacroiliitis[J]. Skeletal Radiol, 2000, 29(8): 439-446. DOI: 10.1007/s002560000242.
- [37] FAN S J, WONG J, CHENG X, et al. Feasibility of quantitative ultrashort echo time (UTE) -based methods for MRI of peripheral nerve[J/OL]. NMR Biomed, 2018, 31(9): e3948 [2022-11-27]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30011103/>. DOI: 10.1002/nbm.3948.
- [38] KOLLMER J, KÄSTEL T, JENDE J M E, et al. Magnetization Transfer Ratio in Peripheral Nerve Tissue: Does It Depend on Age or Location? [J]. Invest Radiol, 2018, 53(7): 397-402. DOI: 10.1097/rlu.0000000000000455.
- [39] 田瑶天, 李春媚, 陈敏. 从科研走向临床:磁共振成像技术在神经退行性疾病中的应用潜力巨大[J]. 磁共振成像, 2023, 14(1): 1-5, 19. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.01.001.
- TIAN Y T, LI C M, CHEN M. From research to clinic: The huge potential about application of magnetic resonance imaging in neurodegenerative disease[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2023, 14(1): 1-5, 19. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.01.001.
- [40] WEISE G, STOLL G. Magnetic resonance imaging of blood brain/nerve barrier dysfunction and leukocyte infiltration: closely related or discordant? [J]. Front Neurol, 2012, 3: 178. DOI: 10.3389/fneur.2012.00178.
- [41] BENDSZUS M, WESSIG C, SCHUTZ A, et al. Assessment of nerve degeneration by gadofluorine M-enhanced magnetic resonance imaging [J]. Ann Neurol, 2005, 57(3): 388-395. DOI: 10.1002/ana.20404.
- [42] WEISE G, BASSE-LUESEBRINK T C, WESSIG C, et al. In vivo imaging of inflammation in the peripheral nervous system by (19)F MRI[J]. Exp Neurol, 2011, 229(2): 494-501. DOI: 10.1016/j.expneuro.2011.03.020.

