

论 著

高分辨三维快速扰相梯度回波序列MR成像显示胫神经及腓总神经

陈传玉 邓克学* 罗 艺
邱 俊 袁姝娅 刘三荣
江亚玲

中国科学技术大学附属第一医院南区影像中心(安徽合肥 230036)

【摘要】目的 探讨高分辨三维快速扰相梯度回波(3D-FSPGR)序列显示膝关节区域胫神经及腓总神经的临床应用价值。**方法** 随机收集20名健康志愿者,采用3D-FSPGR序列行单侧膝关节MRI扫描,分别分析胫神经及腓总神经显示率、图像质量主观评分、神经的信号噪声比(SNR)、神经与周围脂肪对比噪声比(CNR)。**结果** 3D-FSPGR序列图像胫神经及腓总神经的显示率均为100%,图像中脂肪组织及骨骼呈明显的低信号,肌肉呈等信号,腓总神经呈相对于肌肉组织的等信号,胫神经信号略低于腓总神经;两个观察者对胫神经图像质量评分分别为(3.90±0.308 & 3.85±0.366, $\kappa=0.774$),腓总神经图像质量评分分别为(3.80±0.410 & 3.65±0.489, $\kappa=0.634$),两观察者图像质量主观评分一致性较强;相同层面腓总神经SNR及CNR高于胫神经,SNR(TN:CPN=55.90±14.777 & 78.22±22.937, $P=0.000$),CNR(TN:CPN=24.31±8.303 & 46.63±15.523, $P=0.000$), P 值小于0.05两者差异有统计学意义。**结论** 高分辨轴位3D-FSPGR序列可以清晰显示胫神经、腓总神经解剖及其内部细微神经纤维束。

【关键词】 三维快速扰相梯度回波序列; 磁共振成像; 胫神经; 腓总神经

【中图分类号】 R445.2

【文献标志码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.12.064

Visualization of the Tibial and Common Peroneal Nerve Using High-resolution Three-dimensional Fast Spoiled Gradient Recalled Echo Sequence MRI

CHEN Chuan-yu, DENG Ke-xue*, LUO Yi, QIU Jun, Yuan Shu-ya, LIU San-rong, Jiang Ya-ling.
Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230036, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the value of high-resolution three-dimensional fast spoiled gradient recalled echo sequence (3D-FSPGR) in displaying the tibial and common peroneal nerve. **Methods** 20 volunteers were scanned unilaterally by a flex medium array coil combined with 3D-FSPGR sequence. The signal characteristics of the tibial nerve and common peroneal nerve were analyzed. The displaying rate of the tibial and common peroneal nerve were evaluated. The image quality and display of the nerve were subjectively scored, and consistency of inter-observer was assessed. The signal intensity (SI) of the nerves and adjacent adipose tissue were measured. The signal noise ratio (SNR) and contrast to noise ratio (CNR) were calculated. **Results** The displaying rate of the tibial and common peroneal nerve in 3D-FSPGR were 100%. Compared with adjacent adipose tissue, the tibial and common peroneal nerve all showed hyperintense, compared with the adjacent muscles, common peroneal nerve showed isointensity, the intensity of tibial nerve slightly lower than common peroneal nerve. The tibial and common peroneal nerve showed the better quality scores, which were all about 3 points. The subjective scores for the tibial nerve were 3.90±0.308 and 3.85±0.366, and for the common peroneal nerve were 3.80±0.410 and 3.65±0.489, respectively for observers 1 and 2. Interobserver agreement was good ($\kappa=0.774$ for tibial nerve, $\kappa=0.634$ for common peroneal nerve). The SNR and CNR of common peroneal nerve were higher than tibial nerve (SNR TN:CPN=55.90±14.777 & 78.22±22.937, CNR TN:CPN=24.31±8.303 & 46.63±15.523, $P=0.000$). **Conclusion** High-resolution 3D-FSPGR sequence performed high-quality in the tibial and common peroneal nerve, and suitable for clinical application.

Keywords: Three-dimensional Fast Spoiled Gradient Recalled Echo Sequence; Magnetic Resonance Imaging; Tibial Nerve; Common Peroneal Nerve

胫神经、腓总神经是坐骨神经的两个终末分支,是下肢肌肉的主要神经支配,容易损伤,特别腓总神经,其在腓骨颈处位置表浅,腓骨头骨折或下肢石膏、周围组织压迫时最容易损伤。常规MR序列无法清晰显示四肢周围神经的解剖及内部细微结构。目前磁共振神经成像多用于颅神经及臂丛神经显示,而对于四肢周围神经显示的磁共振扫描方案尚未在全国范围内普遍。然而我国四肢关节损伤发生率较高,临床医生普遍苦于没有一种合适的检查手段,可以真实且清晰显示周围神经结构损伤。三维快速扰相梯度回波(fast spoiled gradient recalled echo sequences, FSPGR)是一种成熟的磁共振梯度回波序列,已经越来越多用于临床,目前主要应用在颅脑T₁WI的容积扫描、颅神经及软骨扫描,而用在四肢的周围神经扫描上甚少。四肢周围神经结构纤细,且容易损伤,目前正需要一种可清晰显示这类神经结构的高分辨成像方式以满足临床需要,本研究探讨MRI中高分辨3D-FSPGR序列在下肢膝部胫神经及腓总神经方面的应用,希望可以今后该序列的广泛临床应用提供参考价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为前瞻性研究,随机收集20名健康志愿者行单侧膝关节磁共振扫描。

纳入标准:腰部、臀部及下肢表面无异常、功能无障碍;体检无腰椎、臀部、下肢神经受损的相关症状及体征;腰椎、臀部、下肢无外伤史。本研究共纳入20名志愿者,男8名、女12名,年龄17~75,38.75±13.443岁;本研究获得本院医学伦理委员会通过,所有志愿者均签署知情同意书。

1.2 MRI检查方法 采用GE Discovery 750W 3.0T磁共振成像仪,采用中柔十六通道膝关节专用线圈(GEM Flex Medium Array Coil),志愿者仰卧位脚先进,线圈中心对准髌骨下缘,扫描平面平行胫骨平台关节面。扫描序列为轴位3D FSPGR序列,扫描参数如表1所示,压脂方式为频率饱和法。

1.3 图像分析 将扫描获得轴位3D FSPGR序列图像传至GE AW4.6工作站,由两名磁共振工作年限5年以上诊断医师独立判断两种序列对于胫神经及腓总神经的显示率,并对图像质量做出主观性评分,测量胫神经、腓总神经的信号(signal intensity, SI)、信号强度比(signal noise ratio, SNR)以及与周围脂肪的信号噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。主观性评分参照文献^[1],分为5个等级:0分:图像有明显伪影,结构显示不清,神经无法观察;1分,图像质量差,伪影较重,神经显示模糊;2分:图像有伪影,但

【第一作者】 陈传玉,女,主治医师,主要研究方向:体部磁共振。E-mail: ccychristy@126.com

【通讯作者】 邓克学,男,主任医师,主要研究方向:体部影像。E-mail: Dengkexue-anhui@163.com

神经可辨别，尚可用于诊断；3分：图像有少量伪影，不影响观察，神经显示较清晰；4分：图像质量好，神经显示清晰。SI测量：测量胫神经及腓总神经SI：选取股骨髁间窝层面，手动画取直径约1mm的ROI，ROI原则尽量选择腓总神经中心位置，不超出神经边缘，避开图像伪影取。测量周围脂肪SI：选择相同层面周围1cm的脂肪组织，拷贝神经ROI相同大小进行测量，原则尽量避开肌肉、血管、伪影。所有SI测量三次取平均值，信号强度比 $SNR=SI_{神经}/SD_{背景噪声}$ ，对比噪音比 $CNR=(SI_{神经}-SI_{周围脂肪})/SD_{背景噪声}$ ，SD是背景噪声的标准差。

1.4 统计学方法 使用SPSS 19.0软件对数据进行统计学分析，SNR及CNR为计量资料采用 $(\bar{x} \pm s)$ ，经Shapiro-Wilk检验符合正态分布且方差齐后，采用配对t检验， $P<0.05$ 为统计学上有意义；观察者间一致性采用Kappa统计分析，一致性水平定义如下： $\kappa<0.20$ 为差， $\kappa=0.21\sim0.40$ 为一般； $\kappa=0.41\sim0.60$ 为中等； $\kappa=0.61\sim0.80$ 为较强， $\kappa=0.81\sim1.00$ 为强。

2 结果

所有志愿者均顺利完成单侧膝关节轴位3D-FSPGR序列扫描，

表1 3D-FSPGR磁共振扫描序列参数

	TR/TE(ms)	Acquisition matrix	FOV(mm)	Flip Angle	number of excitation	Band width(kHz)	Slice thickness(mm)	Number of slices	Acquisition time(min)
3D-FSPGR	13.3/Min	420×320	160×160	10	1	35.71	2	80	5:33

表2 图像质量主观评分及观察者间一致评估

Nerve	Observer1		Observer2		K
	Mean Score±SD	Median Score (Range)	Mean Score±SD	Median Score (Range)	
Tibial nerve	3.90±0.308	3.90(3-4)	3.85±0.366	3.85(3-4)	0.774
Common peroneal nerve	3.80±0.410	3.80(3-4)	3.65±0.489	3.65(3-4)	0.634



图1~图3 分别展示菱形窝上角坐骨神经分为胫神经及腓总神经层面、股骨髁间窝层面、腓骨头颈部层面的胫神经及腓总神经图片(左边A图为轴位全景图片、右边B图为神经局部放大图片，粗箭头指向胫神经、细箭头指向腓总神经)；图4 为分别胫神经及腓总神经在膝关节区域的曲面重建图片。

表3 胫神经及腓总神经SNR及CNR

	Tibial nerve	Common peroneal nerve	P
SNR	55.90±14.777	78.22±22.937	0.000
CNR	24.31±8.303	46.63±15.523	0.000

胫神经及腓总神经显示率均为100%；其图像表现为脂肪呈明显的低信号(由于采用脂肪抑制技术)，肌肉呈等信号，骨骼呈明显的低信号；胫神经表现为相对于周围脂肪的稍高信号，相对于周围肌肉的稍低信号，腓总神经表现为相对于周围脂肪的稍高信号、周围肌肉组织的等信号；胫神经及腓总神经呈典型的束状结构，胫神经明显粗于腓总神经，其内部微细的神经纤维束多于腓总神经。3D-FSPGR序列图像可清晰显示胫神经及腓总神经，图像质量主观评分较高，均为3分以上，两个观察者对胫神经图像质量评分为 $(3.90 \pm 0.308 \ \& \ 3.85 \pm 0.366, \ \kappa=0.774)$ ，腓总神经图像质量评分为 $(3.80 \pm 0.410 \ \& \ 3.65 \pm 0.489, \ \kappa=0.634)$ ，两观察者图像质量主观评分一致性较强，如表2所示。腓总神经的SNR及CNR高于胫神经，SNR(TN:CPN=55.90±14.777 & 78.22±22.937, P=0.000)，CNR(TN:CPN=24.31±8.303 & 46.63±15.523, P=0.000)，P值小于0.05两者差异有统计学意义，如表3所示。图1~图4分别展示菱形窝上角坐骨神经分为胫神经及腓总神经层面、股骨髁间窝层面、腓骨头颈部层面及两个神经在膝关节区域的曲面重建。

3 讨论

胫神经和腓总神经是坐骨神经两个重要的终末分支，它们在大腿后部下段的腓窝上角延续自坐骨神经。胫神经在腓窝中央垂直下降，伴腓血管下行达腓肌下缘，穿比目鱼肌腱弓深处，继而与胫后动脉并行在小腿浅、深两层肌中下行，经内踝后方，更名为胫后神经。膝关节区域的胫神经损伤较腓总神经损伤少见，因其走行较深，周围有丰富的肌肉脂肪组织，损伤的病因常为囊肿、神经鞘瘤或动静脉瘤等占位性病变引起。胫神经损伤后表现为足不能跖屈、

内翻力弱, 跟腱反射和跖反射均消失; 由于小腿前、外侧群肌(腓总神经支配)拮抗作用, 致使足呈背屈及外翻, 出现“钩状足”畸形, 行走时不能以足尖站立, 为足跟着地。骨间肌麻痹使足趾呈爪样。感觉障碍主要在小腿后面、足外侧缘和足底皮肤^[2-3]。

腓总神经自腓窝中央呈直线形或小弧形走行于股后部、股二头肌内侧面, 至腓窝的外下方与腓骨骨膜相贴, 绕腓骨颈外侧向前, 进入腓骨穿腓骨长肌分为腓浅神经和腓深神经两终支。腓总神经外侧为股二头肌肌腱, 前内侧为腓肠肌外侧头, 后方为腓窝筋膜及髂胫束的移行部。分布范围是小腿前、外侧肌群和小腿外侧、足背和趾背的皮肤。腓总神经损伤较为常见, 其损伤原因有腓骨头颈部骨折及愈合不良、周围籽骨、肿瘤、腱鞘囊肿等周围结构的压迫, 或者长期的姿势不当, 或者继发于坐骨神经病变, 以及糖尿病等全身性疾病引起周围神经病变等多种原因。该神经损伤后临床表现为足不能背屈、趾不能伸、足下垂并内翻, 形成“马蹄内翻足”畸形, 行走时呈“跨阔步态”, 类似马步或箭步, 小腿前外侧面和足背皮肤有感觉障碍^[2-5]。

目前检查腓总神经损伤的方法主要是肌电图和超声检查。肌电图检查方面可以表现为运动传导速度、运动波幅、感觉传导速度, 感觉波幅的异常, 其可以反映神经电生理相关指标, 但缺乏直观显示神经图像。超声检查检查常可直观显示神经的形态及具体病因, 但是图像分辨率不高、操作者依赖性较大、且图像不够直观。目前国内磁共振对于四肢周围神经损伤的评估尚局限于神经及其周围占位性病变以及继发性取肌肉病变的显示, 尚未涉及直观显示神经本身的解剖结构。随着高场磁共振及专业多通道相控阵线圈的使用, 部分研究者也开始探索使用磁共振在四肢周围神经成像方面的应用。国外Paolo F. Felisaz等人使用3D-FSPGR结合六通道颈动脉线圈成功对5名志愿者的胫神经及腓总神经进行的高分辨显微成像, 其研究发现当扫描切面与神经走行垂直时, 神经图像分辨率最高及层间干扰最小^[6]。本研究与该研究结果一致, 但是其研究使用的颈动脉线圈, 扫描时间长, 本研究使用专业多通道相控阵线圈, 激励次数为1, 扫描时间较其减少一半, 依然保持非常高的图像分辨率, 更加适用于患者众多的国内临床。目前MR成像在周围神经方面的应用主要是采用背景抑制扩散加权序列(diffusion weighted imaging with background suppression, DWIBS), 该序列是基于弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)结合短反转时间反转恢复(short TI inversion recovery, STIR)序列的压脂方式和背景抑制技术, 使得除神经以外的其他组织由于背景抑制不能显示, 从而将神经凸现为高信号。国内赵连新等人使用DWI成像结合最大密度投影后处理技术, 成功显示四肢周围神经正常及病变的情况, 并发现在单个反向施加扩散敏感梯度成像效果较好^[7-8]。国内曹金凤等人使用DWIBS研究发现格林巴利综合征胫神经及腓总神经多表现为走行迂曲、边缘模糊、信号减低, 结合常规MR序列可以显示去神经支配骨骼肌病变情况^[9]。但是DWIBS技术显示周围神经的图像是基于DWI序列, 故图像分辨率较低, 仅能显示神经大致走行, 无法清晰显示神经具体解剖形态及内部细微神经纤维束情况, 且由于背景抑制使得周围脂肪、骨骼组织不能同时显示, 需要结合磁共振成像的其他序列进行诊断。

3D-FSPGR的序列原理以快速梯度回波的脉冲序列为基础, 使用梯度扰相技术, 对整个扫描区进行层块数据采集时, 当前一次脉冲的回波采集结束后, 即将进行下一个脉冲激发前, 之前脉冲激发产生的残存重聚焦的横向磁化矢量与新产生的横向磁化矢量之间会产生干扰, 因此在下一次激发脉冲前, 在选层梯度方向施加一个很强的扰相梯度场, 对组织中质子群的相位进行干扰, 是其加快失相位, 从而彻底消除前一次脉冲的回波采集后残存的重聚焦横向磁化矢量。该技术是基于梯度回波序列, 与自旋回波序列相比, 采用小角度(小于90°)脉冲激励, 组织的纵向磁化矢量损失减少, 在纵向弛豫上节省时间, 从而缩短序列扫描时间、提高扫描速度, 结合三维容积扫描和高分辨矩阵, 进一步提高图像的信号噪声比及与周围组织的对比噪声比, 再配合脂肪抑制技术可进一步提高图像质量^[10]。基于3D-FSPGR的上述原理, 该序列尤其适合四肢周围神经的高分辨成像。

目前国内3D-FSPGR序列的临床应用主要集中在脑组织容积

扫描和显示颅神经、软骨等的扫描中^[11-14], 将该序列用于周围神经高分辨成像的文献罕有。随着高场强磁共振的应用及普及, 序列扫描的速度及信号噪声比大大提高, 使得3D-FSPGR序列图像在分辨率上得到了很大的提高, 而周围神经特别是胫神经及腓总神经等纤细的神经纤维束, 须高分辨率图像才能够较好显示, 而MRI高分辨3D-FSPGR序列扫描图像正好满足临床此类高要求。本研究显示3D-FSPGR序列能够高清显示胫神经、腓总神经解剖, 特别是当成像层面长垂直于与神经长轴时, 神经整体解剖甚至其内部细微神经纤维束结构显示的均十分清楚。两位观察者对于图像质量的评分较高, 均为3分以上, 两个观察者对胫神经、腓总神经图像质量评分分别为(3.90±0.308 & 3.85±0.366, $\kappa=0.774$)及(3.80±0.410 & 3.65±0.489, $\kappa=0.634$), 两观察者图像质量主观评分一致性较强。本研究还显示, 胫神经明显粗于腓总神经, 内部神经纤维束明显多于腓总神经, 虽然腓总神经明显纤细但其SNR及CNR要明显高于胫神经的, SNR(TN:CPN=55.90±14.777 & 78.22±22.937, $P=0.000$), CNR(TN:CPN=24.31±8.303 & 46.63±15.523, $P=0.000$), p 值小于0.05有统计学意义。腓总神经的SNR及CNR高于胫神经可能与胫神经较粗所含有的内部神经纤维束较多, 神经纤维束周围的低信号神经束膜增多, 胫神经在腓窝区域走行较为笔直, 成像层面与其神经长轴垂直, 更易引发部分容积效应导致胫神经的SNR及CNR减低。

本研究的局限性有: 第一, 本研究仅仅局限在健康志愿者中进行, 尚未涉及胫神经、腓总神经病变患者的序列扫描和图像显示。第二, 本研究使用专业十六通道关节柔线圈, 线圈宽度有效, 一次扫描成像范围仅局限于膝关节区域, 未涉及较长范围的神经扫描。上述不足之处将在今后的研究中进一步探讨。

综上所述, 高分辨3D-FSPGR序列可以清晰显示胫神经、腓总神经解剖及其内部细微神经纤维束, 为临床提供直观且清晰的图像展示, 该序列图像质量稳定、与周围组织对比良好、扫描时间适中, 适合在国内临床推广应用。高分辨3D-FSPGR序列在兼顾常规磁共振成像对骨骼及软组织的良好显示的情况下, 还可以高清显示胫神经、腓总神经具体解剖形态, 甚至可以显示其内部细微的神经纤维束结构, 为临床诊疗工作提供最为直观的图像参考。

参考文献

- [1] 洪桂海, 汪倩倩, 初建平, 等. 采用小线圈和三维双回波稳态水激励序列显示下颌神经的价值[J]. 中华放射学杂志, 2018.
- [2] 蒋文华. 神经解剖学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2013.
- [3] B. Damarey, X. Demondion, G. Wavreille, et al. Imaging of the nerves of the knee region[J]. European Journal of Radiology, 2013, 82: 27-37.
- [4] Avneesh Chhabra, Neda Faridian-Aragh, Majid Chalian, et al. High-resolution 3-T MR neurography of peroneal neuropathy[J]. Skeletal Radiology, 2012, 41: 257-271.
- [5] 董吉凤. 腓总神经及腓管的解剖学研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
- [6] Paolo F. Felisaz, Eric Y. Chang, Irene Carne, et al. In vivo MR microneurography of the tibial and common peroneal nerves[J]. Radiology Research and Practice, 2014, 1-6.
- [7] Lianxin Zhao, Guangbin Wang, Linlin Yang, et al. Diffusion-Weighted MR Neurography of Extremity Nerves With Unidirectional Motion-Probing Gradients at 3 T: Feasibility Study[J]. AJR, 2013, 200: 1106-1114.
- [8] 赵连新. 3.0T弥散加权神经成像技术在四肢神经成像中的应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [9] 曹金凤. 磁共振成像在评价格林-巴利综合征腓神经与腓总神经损伤中的应用[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [10] 杨正汉, 冯源, 王霄英. 磁共振成像技术指南-检查规范、临床策略及新技术应用[M]. 北京: 人民军医出版社, 2014.
- [11] 殷小会, 郭慧, 马慧, 等. 增强T1-FLAIR与3D-FSPGR序列对脑转移瘤检出率对比研究[J]. 天津医科大学学报, 2016, 22(5): 434-438.
- [12] 王宇翔, 王娜, 焦次来, 等. 3D-FSPGR-IR序列正常面神经成像测量在性别上的差异研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2013, 11(6): 596-599.
- [13] 王成虎, 亓建洪, 王大伟, 等. 关节软骨退变磁共振3D-FS-FSPGR序列成像与病理对照研究[J]. 临床骨科杂志, 2015, 18(3): 310-313, 317.
- [14] 尹春红, 刘凯. 神经元移行异常的3D-FSPGR评价[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(1): 116-118.

(收稿日期: 2020-10-23)

(校对编辑: 姚丽娜)