

论 著

磁共振神经成像对臂丛神经损伤的诊断效能及其与手术的一致性研究

张一哲¹ 李晓娜¹ 孙英彩¹
史瑞清¹ 郑文松¹ 李泽群¹
许娅莉² 赵 纳¹ 彭志刚^{1,*}

1.河北医科大学第三医院CT/MRI中心
(河北 石家庄 050051)
2.河北医科大学第三医院手外科
(河北 石家庄 050051)

【摘要】目的 探讨磁共振神经成像(MRN)在臂丛神经损伤(BPI)中的诊断效能并评估其与手术的一致性。方法 回顾性分析35例BPI患者的影像资料及手术记录,以手术探查结果为对照标准,将术前MRN检查所见与手术探查结果进行比较。建立基于MRN征象的分类方法,分析MRN与手术探查结果的一致性。结果 MRN对35例患者神经损伤的定位评估与手术分型具有很高的符合率(91.4%),两者一致率良好(82.9%)。MRN诊断BPI的敏感度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值分别为92.7%、71.4%、90.3%、96.2%、55.6%。BPI的MRN分类与手术探查结果无明显差别,两者一致性良好(Kappa= 0.743; Kappa=0.686)。结论 MRN能直观、准确地显示BPI的位置、形态及信号,MRN的神经分类方法与手术探查具有良好一致性,对BPI的诊断及治疗具有重要价值。

【关键词】臂丛神经损伤; 磁共振成像;
磁共振神经成像; 分类
【中图分类号】R445.2; R745
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.06.053

Brachial Plexus Injury: The Diagnostic Accuracy of Magnetic Resonance Neurography and Its Consistency with Surgery

ZHANG Yi-zhe¹, LI Xiao-na¹, SUN Ying-cai¹, SHI Rui-qing¹, ZHENG Wen-song¹, LI Ze-qun¹, XU Ya-li², ZHAO Na¹, PENG Zhi-gang^{1,*}.
1.CT/MRI Center, the Third Affiliated Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China
2.Department of Hand Surgery, the Third Affiliated Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China

ABSTRACT
Objective To investigate the diagnostic efficacy of magnetic resonance neuroimaging (MRN) in brachial plexus injury (BPI) and evaluate its consistency with surgery. **Methods** The imaging data and operating records of 35 patients with BPI were reviewed retrospectively. The findings acquired at preoperative MRN were compared to those obtained at surgical exploration, with surgical exploration outcomes serving as the reference standard. Develop a categorization approach based on MRN signs and examine the consistency between MRN and surgical exploration findings. **Results** The positional assessment of nerve injury by MRN in 35 patients had a high concordance rate (91.4%) with surgical subtyping, and both concordance rates were good (82.9%). The sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value, and negative predictive value of MRN for the diagnosis of BPI were 92.7%, 71.4%, 90.3%, 96.2%, and 55.6%, respectively. MRN classification by BPI did not differ significantly from surgical exploration results, and both had good consistency (kappa = 0.743; kappa = 0.686). **Conclusion** MRN can intuitively and accurately show the location, morphology, and signal of BPI. The neural classification method of MRN has good consistency with surgical exploration and is valuable for the diagnosis and treatment of BPI.
Keywords: Brachial Plexus Injury; Magnetic Resonance Imaging; Magnetic Resonance Neurography; Classification

臂丛神经损伤属于常见的周围神经损伤类型,多由机动车事故或意外摔伤所致,受伤后患者上肢功能部分或完全丧失,严重危害患者生活质量^[1]。传统上,臂丛神经疾病的诊断主要依赖于临床病史、体征和电生理检查^[2-3],但没有一项能够直接显示臂丛神经的形态、损伤部位和程度。磁共振神经成像(MRN)可以很好地显示臂丛神经的解剖和病理变化,并且越来越多地用于常规临床检查^[4]。近年来,日本学者Yoneyama等提出的三维神经鞘信号增高并背景抑制弛豫增强的快速采集成像(3D SHINKEI)^[5],能够有效地抑制脂肪、血管和肌肉信号,从而产生高质量的神经图像。本研究回顾性分析35例臂丛神经损伤病例的影像表现和手术探查结果,旨在探讨MRN对臂丛神经损伤的诊断效能及其与手术的一致性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾分析2021年3月至2023年1月本院收治的38例臂丛神经损伤患者的病历和影像学资料。其中,3例患者损伤时间为半年以上,予以排除。入组的35例臂丛神经损伤患者,男性25例,女性10例。年龄4-69岁,平均43±15岁。损伤时间1-180天,中位天数54天。损伤原因包括外伤性臂丛神经损伤33例(车祸伤18例、摔伤7例、锐器伤4例、机器绞伤2例、挤压伤1例、坠落伤1例);胸廓出口综合征2例。所有患者均行臂丛神经的3.0T MRN检查并接受了手术治疗。
1.2 MR扫描方法 采用荷兰Philips 3.0T Ingenia CX MRI 扫描仪进行MR扫描。臂丛神经损伤患者取仰卧位,头先进,双臂保持在身体两侧的自然解剖位置,并使用体线圈进行全面覆盖以确保高质量图像采集。在颈部两侧各放置一个米袋,指示患者安静呼吸,尽量避免吞咽和咳嗽。扫描区域包括颈部和双侧肱骨近端,扫描序列包括冠状3D SHINKEI序列和轴向3D T₂WI驱动平衡(DRIVE)序列。主要扫描参数:(1)3D SHINKEI序列:重复时间(TR)2200ms,回波时间(TE)170ms,视野(FOV)300mm×453mm×96mm,层厚2.4mm,层间距-1.2mm,层数80,iMSDE 梯度强度(b值)10s/mm,iMSDE准备时间(iMSDEprep-time)50ms,扫描时间5min 50s。(2)3D T₂WI-DRIVE序列:重复时间(TR)1500ms,回波时间(TE)100ms,视野(FOV)150mm×150mm×78mm,层间距1.5mm,层厚3.0mm,层数52,扫描范围包括颈4-胸1椎体,扫描时间3min 33s。对3D SHINKEI序列的原始图像进行图像后处理,行多平面成像(MRP)和最大强度投影(MIP)(层厚20mm,层数50),从多方向、多角度观察臂丛神经损伤的位置、形态、信号特征。
1.3 MRN图像评估 将3D SHINKEI、3D T₂WI-DRIVE扫描原始图像上传至PACS,由一位十年经验的高年资医师和一位三年经验的低年资医师根据原始图像、MRP、MIP图像

【第一作者】张一哲,男,住院医师,主要研究方向:臂丛神经。E-mail: zhangyizhe2021@163.com
【通讯作者】彭志刚,男,主任医师,主要研究方向:臂丛神经、骨关节。E-mail: hbydsy2022@163.com

对臂丛神经进行评估诊断,当出现分歧时,通过协商对臂丛神经有无病变、病变部位及类型达成一致。手术探查范围内的观察结果视为与MRN对比的金标准,并根据评级系统评估MRN定位诊断的效能^[6]。评级分为A(完全一致)、B(基本一致)、C(部分一致)、D(不一致),取决于MRN结果是否与所有四个级别(根、干、束、支)或与手术结果相关的几个级别一致(A代表所有级别,B代表每个级别的三个或一半以上,C代表每个级别至少一个或一半以下,D代表手术探查到而MRN未检测到)A级、B级定义为MRN定位与手术探查结果一致性良好。

1.4 手术及术中肌电图检测 所有患者于MRN检查后进行了手术探查及治疗。外科医生在术中对臂丛神经进行目视检查后对臂丛神经损伤情况给予反馈,对疑似损伤神经行术中肌电图复合肌肉动作电位(CMAP)、神经根体感诱发电位(SEP)检查,通过支配肌肉的收缩情况判断神经功能完整性。以术中探查结果作为最终的参考标准。

1.5 数据分析 以手术及(或)术中电刺激证实的损伤神经为标准,将影像诊断与之进行比较,计算MRN诊断臂丛神经损伤的准确度、敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值,对所得的计算结果均采用百分比形式表示,并保留1位小数。使用SPSS 26.0统计软件进行统计学分析,所有患者的受损神经依据MRN及术中探查结果分别进行分类,对分类结果进行McNema配对卡方检验和Kappa一致性检验。一致性水平定义如下^[7]: Kappa<0.4,一致性较差; 0.4≤Kappa≤0.6,一致性一般; 0.6<Kappa≤0.8,一致性良好; 0.8<Kappa≤1.0,一致性很好; P<0.05为两者之间的一致性存在统计学意义。

2 结 果

2.1 臂丛神经损伤的MRN评估结果 参照顾玉东^[8]关于臂丛神经损伤的分型和手术方案,35例患者在MRN上的定位:上(中)干损伤12例,下(中)干型损伤1例,全臂丛损伤9例,束支损伤12例,无神经损伤1例。(表1)根据各型具体损伤情况,评级为A和B的共有29例(表2),MRN定位诊断与手术探查一致性良好的比例为82.9%(29/35)。MRN评估124条神经,存在阳性神经损伤征象的有102条,其中假阳性4条、假阴性12条。统计学分析表明MRN诊断臂丛神经损伤的敏感度为92.7%(102/110),特异度71.4%(10/14),准确度为90.3%(112/124),阳性预测值96.2%(102/106),阴性预测值55.6%(10/18)(表3)。

依据臂丛神经损伤在MRN上的表现,将所有神经分为4类:0类,无神经损伤征象。神经连续,走行自然,信号均匀,无周围组织结构卡压(图1)。1类:神经连续性存在,信号和(或)形态异常。包括1a:神经变性水肿。MRN示神经走行自然、增粗,T₂信

号增高(图2)。1b:神经瘢痕纤维化。MRN示神经走行僵硬、增粗,信号不均,T₂呈中等稍高信号。1c:神经沙漏样改变。MRN示神经局部变细,信号高低不均。1d:神经受压。MRN示周围组织结构(血肿、骨折、假性动脉瘤)压迫神经,神经走行迂曲,T₂信号增高。2类,神经断裂。MRN示神经连续性中断,局部不显影(图3),部分神经断端可见创伤性神经瘤形成,远端挛缩呈高信号。3类,神经根性撕脱,即臂丛神经节前损伤(图4A)。MRN示椎管内神经根消失或离断,脊神经前后根增粗、迂曲,无法追踪至椎间孔,部分可见假性脊膜膨出、神经根袖形态异常、“黑线征”(图4B)或脊髓变形、移位。本研究35例患者中,MRN共评估124条神经,0类18条,1类74条,2类7条,3类25条。其中,1类74条神经,1a,20条;1b,38条;1c,1条;1d,15条。

2.2 臂丛神经损伤的术中探查结果 35例患者被诊断为上(中)干损伤14例,下(中)干损伤2例,全臂丛损伤7例,束支损伤11例,无神经损伤1例。(表1)术中总共探查124条神经,临床诊断为臂丛神经损伤共110条。

基于术中观察及神经电刺激,神经损伤被分为4类:0类,神经未见明确损伤,术中电刺激检查肌肉均有收缩;1类,神经连续,可见粘连或瘢痕增生,周围组织结构卡压,神经质地改变。包括1a:神经肿胀、增粗、质地可;1b:神经外膜增厚,瘢痕粘连,质地变硬;1c:神经沙漏样改变,拨开沙漏样病变局部神经外膜,可见神经纤维局部变细变窄,连续性存在;1d:神经卡压(血管骑跨、骨折、血肿、肿瘤压迫),可见局部压痕及(或)粘连带形成。2类,神经离断,部分断端可见创伤性神经瘤。3类,神经根性撕脱。神经根自椎孔内完全撕脱,部分神经根拖拉至间隙外,呈辫状,椎间孔外空虚。本组病例术中探查的124条神经,0类14条,1类78条,2类8条,3类24条。其中,1类78条神经,1a,16条;1b,43条;1c,1条;1d,18条。

2.3 MRN诊断结果与手术探查结果对比 以手术探查的臂丛神经损伤类型作为标准,MRN的符合率达91.4%(32/35),其中1例下(中)干型被判断为束支型,2例上(中)干型被判断为全臂丛型(表1)。MRN和手术分别对124条神经进行分类(表4),对于术中探查为0、1、2、3类的神经,MRN的符合率分别为71.4%(10/14)、85.9%(67/78)、75.0%(6/8)、95.8%(23/24),两者之间对比发现差异无统计学意义($\chi^2=2.000$, P>0.05),Kappa值为0.743(P<0.001),两者一致性良好。进一步对1类损伤中的4种亚分类进行比较,共评估了67条神经(表5),对于术中探查为1a、1b、1c、1d的神经,MRN的符合率分别为76.9%(10/13)、81.1%(30/37)、100.0%(1/1)、81.3%(13/16),两者之间对比发现差异无统计学意义($\chi^2=4.778$, P>0.05),Kappa值为0.686(P<0.001),两者一致性良好。

表1 臂丛神经损伤的MRN定位与手术探查结果比较(n=35)

损伤类型	MRN	手术探查
上(中)干型(C5-C7)	13	14
下(中)干型(C7-T1)	2	2
上中干并下干部分(C5-C8)	3	1
全臂丛型(C5-T1)	4	6
束支型	12	11
无神经损伤征象	1	1
合计	35	35

表4 臂丛神经损伤的MRN分类及手术探查分类的比较(n=124)

MRN诊断	术中探查				合计
	0类	1类	2类	3类	
0类	10	8	0	0	18
1类	4	67	2	1	74
2类	0	1	6	0	7
3类	0	2	0	23	25
合计	14	78	8	24	124

表2 臂丛神经损伤的MRN定位与手术探查一致性对比(n=35)

A(完全一致)	10
B(基本一致)	19
C(部分一致)	4
D(不一致)	2

表3 臂丛神经损伤的MRN诊断与手术探查结果对照分析(n=124)

		术中探查		合计
		阳性(+)	阴性(-)	
MRN	阳性(+)	102	4	106
	阴性(-)	8	10	18
合计		110	14	124

表5 臂丛神经损伤的MRN分类及手术探查分类的比较(n=67)

MRN诊断	术中探查				合计
	1a类	1b类	1c类	1d类	
1a类	10	7	0	1	18
1b类	2	30	0	2	34
1c类	0	0	1	0	1
1d类	1	0	0	13	14
合计	13	37	1	16	67

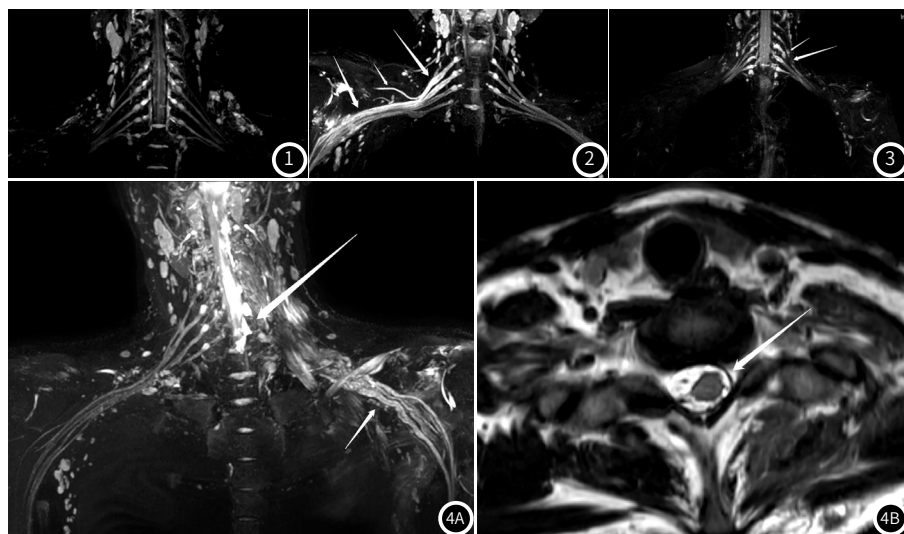


图1 3D SHINKEI示双侧臂丛神经连续, 走行自然, 信号均匀, 属0类神经;
图2 3D SHINKEI (MIP) 示右侧颈5-6神经根(长箭头)、上干、外侧束(长箭头)、肌皮神经、肩胛上神经(短箭头)增粗, T₂信号增高, 属1a类损伤;
图3 3D SHINKEI示左侧颈5-6神经节后段连续性中断, 局部不显影(长箭头), 属2类损伤, 其近端呈结节状(短箭头), 为局部创伤性神经瘤形成;
图4A-图4B 4A: 3D SHINKEI (MIP) 示左侧全臂丛从根性撕脱伴创伤性脊膜囊肿形成(长箭头), 属3类损伤, 远端神经增粗, T₂信号增高, 失张力松弛(短箭头); 4B: 3D T₂WI-DRIVE示“黑线征”, 为局部增厚的硬脊膜。

3 讨论

磁共振神经成像(MRN)最早由Howe等^[9]在20世纪90年代初提出用以描述扩散加权脂肪抑制脉冲序列, 并应用于周围神经。在最近的一项研究中, Avneesh Chhabra等^[10]发现MRN可以减少17%的非必要手术, 并且MRN显著影响了外科医生的诊断思维和治疗方案。近年来, MRN用于臂丛神经的评估诊断获得了令人满意的效果。本研究主要探讨的MRN技术为用于臂丛神经节前损伤的3D T₂WI-DRIVE序列以及用于节后损伤的3D SHINKEI序列。3D T₂WI-DRIVE轴位扫描提供了C5-T1脊神经的高质量图像, 对于脊神经前、后根均可清晰显示^[11]。3D SHINKEI可三维立体观察臂丛神经节后部分, 不容易遗漏病变, 有助于正确评估患者臂丛神经损伤情况, 并用于指导临床手术。并且, 3D SHINKEI序列有效弥补了肌电图检查存在的侵入性及诊断时效滞后的局限性^[7]。

臂丛神经损伤按照手术方案通常分四型^[8], 即上(中)干型, 临床最为常见, 约占60%; 下(中)干型; 全臂丛型; 上述三型均为锁骨上臂丛损伤。锁骨下臂丛损伤统称为束支型。不同分型的臂丛神经损伤将直接影响手术切口的选择, 决定了采取何种手术方案, 本研究表明MRN用于臂丛神经损伤定位的手术分型符合率达91.4%, 有3例定位结果不相符, 其中1例下(中)干型被判断为束支型, 这可能是创伤后亚急性期神经损伤在MRN上表现为假阴性; 另有2例上(中)干型被判断为全臂丛型, 考虑为神经损伤后局部软组织水肿或血肿干扰, 臂丛神经分支显示不清, 且由于核磁的匀场效果以及胸1神经根结构较为纤细, 导致在3D SHINKEI上部分胸1神经根显示欠清晰。根据各型损伤的具体情况, 评级较优(A、B)的比例为82.9%, 表明术前行MRN检查对臂丛神经损伤进行定位, 将为手术方案制定提供重要的参考价值。同时, MRN诊断臂丛神经损伤的敏感度(92.7%)、准确率(90.3%)及阳性预测值(96.2%)均较高, 表明MRN诊断出异常征象对筛选存在臂丛神经损伤患者的提示意义较高。另外, 有文献^[12]指出轴突遭受破坏后发生华勒变性这一过程需历经数周的发展阶段, 因此适宜在损伤发生3-4周之后再行神经电生理检测以获取准确结果, 而MRN则可对神经进行较早评估, 对患者预后产生积极影响。

臂丛神经损伤的病理类型与损伤程度及性质关系密切, 很大程度上决定了损伤后的MRN表现。顾玉东^[8]根据臂丛神经损伤的病理特点将其分成5类, 赵秋枫等^[13]基于3D-FIESTA-c、STIR及3D-FSPGR序列将臂丛神经损伤的磁共振表现分为6类。吴文骏等^[14]基于ceMRN表现将神经分为4类, 包括: 0类, 无神经损伤征象; 1类, 神经连续性存在, 信号和(或)形态异常; 2类, 神经连续性中断, 脊髓侧有神经根残留; 3类, 神经连续性中断, 脊髓侧无神经根残留。本研究基于3D T₂WI-DRIVE及3D SHINKEI影像表现, 采用吴文骏的4类分型, 并将1类神经进一步细分为4个亚类, 包括1a: 神经变性水肿; 1b: 神经瘢痕纤维化; 1c: 神经沙漏样改变; 1d: 神经卡压。

对于0类神经, MRN的符合率稍低, 有4条神经判断为1类损

伤, 分析原因为3D SHINKEI序列对于流动缓慢的静脉血管、淋巴结及关节液等均表现为高信号影, 这些结构与神经毗邻或重叠, 一定程度上影响了神经的观察, 此外, 神经的轻度T₂高信号表现还可能与魔角效应^[15]相关。

对于1类神经损伤, MRN的总体符合率较高。其中有8条MRN判断为正常, 结合术中所见, 大多表现为神经与周围软组织粘连或神经受到轻度卡压, 证明MRN对于粘连带的形成或胸廓出口综合征等轻度卡压诊断较为困难。此外, 1条神经被判断为2类损伤, 2条被判断为3类损伤, 分析原因可能为神经受周围瘢痕影响局部神经组织信号存在缺失, 从而使1类损伤被误判为2类或3类损伤。

对于1类神经的四种亚分类, MRN的符合率均在75%以上, 其中1a类神经的早期改变符合率相对较低, 追溯相关患者病史, 发现大多数为外伤7天内进行MRN检查, 对于早期创伤性臂丛神经损伤的病人, 神经周围软组织水肿、血肿形成等都会干扰影像医师的诊断。有研究表明^[16], 对于臂丛神经损伤患者而言, 进行MRN的最佳时机是受伤一周之后, 这个时间点的优势在于软组织肿胀已有所缓解或消失, 而且患者的疼痛感减轻, 更易于进行检查合作。1b类为神经损伤较晚期表现, 通常不及1a类神经信号高, 且形态学方面神经走行僵直、结构紊乱, 总体与1a类较易区分, 但MRN在显示神经瘢痕粘连方面存在漏诊情况, 一例摔伤三个月的病人, 术中探查见C5、C6神经根与周围软组织粘连, 神经外膜增厚, 而MRN显示C5、C6神经根未见明显异常。1c类神经为漏斗样改变, MRN与手术高度一致, 但只收集到一例经手术探查证实的患者。1d类神经MRN与手术吻合度良好, MRN可直观显示周围血肿、骨折等因素对神经的影响。另外, 3D SHINKEI对臂丛神经损伤的显示主要为形态学改变的定性诊断, 仅通过医师根据经验判断神经信号有无增减, 故特异性较低, 存在误诊。

对于2类损伤(节后神经断裂), 由于节后神经周围结构较多, 损伤时神经容易牵拉扭曲, 导致神经干、股、束的显示受到影响^[17], 有时只能判断神经的连续性欠佳, 对于神经是否断裂无法明确诊断。

对于3类损伤(节前神经撕脱), 有文献指出MRI是显示神经根撕脱的最好方法^[18]。MRN不仅能揭示椎管内发生的神经根撕裂情况, 还能够同步揭示是否存在节后部位的损害。本组病例分析结果显示MRN对3类损伤(节前损伤)的诊断与手术结果的符合率很高, 意味着MRN为临床上准确诊断臂丛神经节前损伤提供了有力的证据支持。

(下转第178页)

- Cardiovasc Imaging, 2022, 15 (3): 476-486.
- [9] Koo BK, Erglis A, Doh JH, et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (diagnosis of ischemia-causing stenoses obtained via noninvasive fractional flow reserve) study[J]. J Am Coll Cardiol, 2011, 58 (19): 1989-1997.
- [10] Ko BS, Cameron JD, Munnur RK, et al. Noninvasive CT-derived FFR based on structural and fluid analysis: a comparison with invasive FFR for detection of functionally significant stenosis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10 (6): 663-673.
- [11] Kruk M, Wardziak Ł, Demkow M, et al. Workstation-based calculation of CTA-based FFR for intermediate stenosis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9 (6): 690-699.
- [12] 申燕艳, 曾燕冲, 范金凤, 等. CT-FFR诊断冠状动脉缺血病变的价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (12): 76-78.
- [13] Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (analysis of coronary blood flow using ct angiography: next steps) [J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63 (12): 1145-1155.
- [14] Mesnier J, Rodé s-Cabau J. CT-FFR in the TAVR work-up: optimizing the gatekeeper[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2022, 15 (11): 1150-1152.
- [15] 曹红岩, 蔡晓航, 孙国臣. CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (5): 52-54.
- [16] Gao Y, Zhao N, Song L, et al. Diagnostic performance of CT FFR With a new parameter optimized computational fluid dynamics algorithm from the CT-FFR-CHINA trial: characteristic analysis of gray zone lesions and misdiagnosed lesions[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 819460.
- [17] Nørgaard BL, Gaur S, Leipsic J, et al. Influence of coronary calcification on the diagnostic performance of CT angiography derived FFR in coronary artery disease: a substudy of the NXT trial[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8 (9): 1045-1055.
- [18] Tang CX, Liu CY, Lu MJ, et al. CT FFR for ischemia-specific CAD with a new computational fluid dynamics algorithm: a Chinese multicenter study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13 (4): 980-990.
- [19] Driessen RS, Stuijffzand WJ, Raijmakers PG, et al. Effect of plaque burden and morphology on myocardial blood flow and fractional flow reserve[J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 71 (5): 499-509.
- [20] Mrgan M, Nørgaard BL, Dey D, et al. Coronary flow impairment in asymptomatic patients with early stage type-2 diabetes: Detection by FFR (CT) [J]. Diab Vasc Dis Res, 2020, 17 (9): 1479164120958422.
- [21] Mickley H, Veien KT, Gerke O, et al. Diagnostic and clinical value of FFR (CT) in stable chest pain patients with extensive coronary calcification: the FACC study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15 (6): 1046-1058.
- [22] Lee JM, Choi G, Koo BK, et al. Identification of high-risk plaques destined to cause acute coronary syndrome using coronary computed tomographic angiography and computational fluid dynamics [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12 (6): 1032-1043.
- [23] 乔红艳, 许棚棚, 卢佳庆, 等. 基于冠状动脉CT血管成像的斑块定量分析及血流储备分数预测斑块进展的研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (10): 934-940.
- [24] Patel MR, Nørgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1-Year Impact on Medical Practice and Clinical Outcomes of FFR (CT): The ADVANCE Registry[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13 (1 Pt 1): 97-105.
- [25] Ihsdayhid AR, Nørgaard BL, Gaur S, et al. Prognostic value and risk continuum of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary CT angiography[J]. Radiology, 2019, 292 (2): 343-351.
- [26] Yongguang G, Yibing S, Ping X, et al. Diagnostic efficacy of CCTA and CT-FFR based on risk factors for myocardial ischemia[J]. J Cardiothorac Surg, 2022, 17 (1): 39.
- [27] Tsugu T, Tanaka K, Nagatomo Y, et al. Impact of ramus coronary artery on computed tomography derived fractional flow reserve (FFR (CT)) in no apparent coronary artery disease[J]. Echocardiography, 2023, 40 (2): 103-112.
- [28] Wu X, Wu B, He W, et al. Expanding the coronary tree reconstruction to smaller arteries improves the accuracy of FFR (CT) [J]. Eur Radiol, 2021, 31 (12): 8967-8974.
- [29] Michiels V, Andreini D, Conte E, et al. Long term effects of surgical and transcatheter aortic valve replacement on FFR (CT) in patients with severe aortic valve stenosis[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2022, 38 (2): 427-434.
- [30] Holmes KR, Fonte TA, Weir-McCall J, et al. Impact of sublingual nitroglycerin dosage on FFR (CT) assessment and coronary luminal volume-to-myocardial mass ratio[J]. Eur Radiol, 2019, 29 (12): 6829-6836.
- [31] Zhao N, Gao Y, Xu B, et al. Effect of coronary calcification severity on measurements and diagnostic performance of CT-FFR with computational fluid dynamics: results from CT-FFR CHINA trial[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 810625.
- [32] Di Jiang M, Zhang XL, Liu H, et al. The effect of coronary calcification on diagnostic performance of machine learning-based CT-FFR: a Chinese multicenter study[J]. Eur Radiol, 2021, 31 (3): 1482-1493.
- [33] Li S, Chen C, Qin L, et al. The impact of iterative reconstruction algorithms on machine learning-based coronary CT angiography-derived fractional flow reserve (CT-FFR (ML)) values [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36 (6): 1177-1185.
- [34] Cook CM, Petraco R, Shun-Shin MJ, et al. Diagnostic accuracy of computed tomography-derived fractional flow reserve: a systematic review[J]. JAMA Cardiol, 2017, 2 (7): 803-810.

(收稿日期: 2023-03-02) (校对编辑: 韩敏求)

(上接第168页)

3D SHINKEI序列评估臂丛神经损伤的不足: 由于缺乏对受损神经T2值的定量分析以及神经损伤后周围组织的干扰, 导致MRN分类中1a、1b及2类损伤特异性稍差, 但与手术相比总体一致性良好, 因此我们推荐在臂丛神经的影像报告中, 应具体描述神经的损伤类型, 这将有助于患者的病情评估, 或可对患者预后产生重要影响。

综上所述, MRN对臂丛神经损伤的定位与手术分型具有很高符合率, 其敏感度、准确度、阳性预测值均较高, 为临床早期诊断提供可靠参考。基于神经损伤影像表现的MRN分类, 与手术探查相比一致性良好, 为临床提供更多有效信息, 有望改善患者的治疗及预后。

参考文献

- [1] Noland S S, Bishop A T, Spinner R J, et al. Adult traumatic brachial plexus injuries[J]. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2019, 27 (19): 705-716.
- [2] Marquez Neto O R, Leite M S, Freitas T, et al. The role of magnetic resonance imaging in the evaluation of peripheral nerves following traumatic lesion: where do we stand[J]. Acta Neurochirurgica, 2017, 159 (2): 281-290.
- [3] Wu K Y, Spinner R J, Shin A Y. Traumatic brachial plexus injury: diagnosis and treatment[J]. Current Opinion in Neurology, 2022, 35 (6): 708-717.
- [4] Chhabra A, Williams E H, Wang K C, et al. MR neurography of neuromas related to nerve injury and entrapment with surgical correlation[J]. AJNR American Journal of Neuroradiology, 2010, 31 (8): 1363-1368.
- [5] Yoneyama M, Takahara T, Kwee T C, et al. Rapid high resolution MR neurography with a diffusion-weighted pre-pulse[J]. Magn Reson Med Sci, 2013, 12 (2): 111-119.
- [6] Upadhyaya V, Upadhyaya D N, Kumar A, et al. MR neurography in traumatic brachial plexopathy[J]. European Journal of Radiology, 2015, 84 (5): 927-932.

- [7] 邵赛, 王姗姗, 王光彬, 等. MR三维神经鞘信号增高并背景抑制弛豫增强的快速采集成像序列在节后臂丛神经显示及临床应用的初步探讨[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51 (1): 8-12.
- [8] 顾玉东. 臂丛神经损伤的分型与手术方案[J]. 中华手外科杂志, 2011, 27 (3): 131-133.
- [9] Howe F A, Filler A G, Bell B A, et al. Magnetic resonance neurography[J]. Magnetic Resonance in Medicine, 1992, 28 (2): 328-338.
- [10] Chhabra A, Belzberg A J, Rosson G D, et al. Impact of high resolution 3 tesla MR neurography (MRN) on diagnostic thinking and therapeutic patient management[J]. European Radiology, 2016, 26 (5): 1235-1244.
- [11] Elsakka T O, Kotb H T, Farahat A A, et al. Axial T2-DRIVE MRI myelography is highly accurate in diagnosing preganglionic traumatic brachial plexus injuries: why pseudomeningoceles should not be used as a primary diagnostic sign[J]. Clinical Radiology, 2022, 77 (5): 377-383.
- [12] Morisaki S, Kawai Y, Umeda M, et al. In vivo assessment of peripheral nerve regeneration by diffusion tensor imaging[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMIR, 2011, 33 (3): 535-542.
- [13] 赵秋枫, 王嵩, 耿道颖, 等. 臂丛神经损伤的磁共振诊断及分型[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2011, 17 (6): 513-516.
- [14] 吴文骏, 孔祥泉, 刘定西, 等. 增强磁共振神经成像 (ceMRN) 在成人臂丛神经损伤术前评估中的价值[J]. 华中科技大学学报 (医学版), 2020, 49 (5): 618-622, 629.
- [15] Chappell K E, Robson M D, Stonebridge-Foster A, et al. Magic angle effects in MR neurography[J]. AJNR American Journal of Neuroradiology, 2004, 25 (3): 431-440.
- [16] Vargas M I, Gariani J, Delattre B A, et al. Three-dimensional MR imaging of the brachial plexus[J]. Seminars in Musculoskeletal Radiology, 2015, 19 (2): 137-148.
- [17] Belviso I, Palmeri S, Sacco A M, et al. Brachial plexus injuries in sport medicine: clinical evaluation, diagnostic approaches, treatment options, and rehabilitative interventions[J]. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 2020, 5 (2).
- [18] Vargas M I, Beaulieu J, Magistris M R, et al. [Clinical findings, electroneuromyography and MRI in trauma of the brachial plexus] [J]. Journal of Neuroradiology = Journal de Neuroradiologie, 2007, 34 (4): 236-242.

(收稿日期: 2023-03-22) (校对编辑: 韩敏求)