

## ·血管介入 Vascular intervention·

# 心电触发非对比增强血管造影技术在 3.0T MRA 诊断下肢动脉病变中的应用 ——与 DSA 对照

张 岚, 邢 威, 朱海云

**【摘要】** 目的 探讨心电触发非对比增强血管造影(TRANCE)技术在 3.0T 非对比增强(NCE)-MRA 诊断下肢动脉病变中应用的可行性及临床价值。方法 38 例有临床症状的下肢动脉狭窄病变患者 DSA 检查前接受 NCE-MRA 检查。2 名 MRI 医师根据 4 分法,分别对 NCE-MRA 图像质量进行评分,根据 4 级分级标准评价下肢动脉狭窄程度。以 DSA 为金标准,分析计算 NCE-MRA 诊断下肢动脉显著狭窄(狭窄程度 $\geq 2$ 级)的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值。采用 Kappa 检验分析 2 名 MRI 医师对图像质量评分一致性及 NCE-MRA 与 DSA 诊断下肢动脉各节段显著狭窄一致性。结果 2 名 MRI 医师对主髂动脉段、股腘动脉段、膝下动脉段 NCE-MRA 图像质量评分的一致性 K 值,分别为 0.93、0.89、0.82 ( $P$ 均 $<0.05$ )。NCE-MRA 诊断下肢动脉狭窄病变符合 DSA 金标准比例为 95.15%(255/268),高估率、低估率分别为 3.73%、1.12%。NCE-MRA 诊断下肢动脉显著狭窄的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值分别为 91.7%、90.3%、91.6%、85.5%、93.7%,其中主髂动脉段分别为 95.8%、94.2%、96.8%、93.2%、98.4%,股腘动脉段分别为 93.2%、93.7%、94.7%、91.8%、96.3%,膝下动脉段分别为 92.4%、85.6%、88.3%、78.6%、86.6%。NCE-MRA 与 DSA 诊断下肢动脉显著狭窄一致性 K 值为 0.85,其中主髂动脉段、股腘动脉段、膝下动脉段分别为 0.90、0.87、0.73。结论 NCE-MRA 能够清晰显示下肢动脉狭窄病变,具有较高的图像质量和诊断准确度,可作为一种可靠的替代检查方法。

**【关键词】** 磁共振血管造影; 数字减影血管造影; 下肢动脉病变

中图分类号:R528.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2018)-06-0504-06

**Application of ECG-triggered non-contrast-enhanced MR angiography technique in diagnosing lower extremity arterial diseases with 3.0T MR unit: comparison with DSA** ZHANG Lan, XING Wei, ZHU Haiyun. Department of MRI, First Affiliated Hospital, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou, Henan Province 450000, China

Corresponding author: ZHU Haiyun, E-mail: zhuhaiyun376@163.com

**【Abstract】 Objective** To discuss the feasibility and the clinical value of ECG-triggered non-contrast-enhanced MR angiography (TRANCE) technique in diagnosing lower extremity arterial diseases with 3.0T MR unit. **Methods** A total of 38 patients with symptomatic lower extremity arterial stenotic diseases received non-contrast enhanced MRA (NCE-MRA) examination before digital subtraction angiography (DSA) was carried out. According to the 4-point scale method, the quality of NCE-MRA images was evaluated by two MRI physicians. Taking DSA results as the gold standard, the sensitivity, specificity, the diagnostic accuracy, the positive and negative predictive values in diagnosing significant stenosis of lower extremity arteries (stenosis degree  $\geq 2$  grade) determined on NCE-MRA were calculated. By using Kappa test analysis, the consistency of image quality score between two MRI physicians and the consistency in diagnosing

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2018.06.003

基金项目: 河南省中医药科学研究专项课题项目(2015ZY02014)、河南省科技攻关计划项目(162102310104)

作者单位: 450052 郑州 河南中医药大学第一附属医院磁共振科(张 岚、邢 威);解放军第八五医院医学影像科(朱海云)

通信作者: 朱海云 E-mail: zhuhaiyun376@163.com

significant narrowing of each lower extremity arterial segment between NCE-MRA and DSA were evaluated.

**Results** Kappa values of the image quality consistency scores between two MRI physicians for the stenotic diagnosis of main iliac artery, femoropopliteal artery and inferior genicular artery were 0.93, 0.89 and 0.82 respectively ( $P < 0.05$  in all). The proportion of the diagnosis of lower extremity arterial stenosis made by NCE-MRA that accorded with DSA gold standard was 95.15% (255/268), the overvalued ratio and the undervalued ratio were 3.73% and 1.12% respectively. For the diagnosis of significant stenosis of lower extremity arteries, the sensitivity, specificity, diagnostic accuracy, positive and negative predictive values of NCE-MRA were 91.7%, 90.3%, 91.6%, 85.5% and 93.7% respectively, which were 95.8%, 94.2%, 96.8%, 93.2% and 98.4% respectively for the main iliac artery segment, 93.2%, 93.7%, 94.7%, 91.8% and 96.3% respectively for femoropopliteal artery segment, and 92.4%, 85.6%, 88.3%, 78.6% and 86.6% respectively for inferior genicular artery segment. The Kappa value of the consistency of NCE-MRA and DSA in the diagnosis of significant stenosis of the lower extremity arteries was 0.85, which for the main iliac artery segment, for the femoropopliteal artery segment and for the inferior genicular artery segment were 0.90, 0.87 and 0.73 respectively. **Conclusion** NCE-MRA can clearly display lower extremity arterial stenosis with higher image quality and diagnostic accuracy, which can be used as a reliable alternative examination method. (J Intervent Radiol, 2018, 27: 504-509)

**【Key words】** magnetic resonance angiography; digital subtraction angiography; lower extremity arterial disease

近年来糖尿病、高血压、动脉粥样硬化等疾病所致周围动脉闭塞性疾病(PAOD)发病率逐年增加,临床上常用诊断方法包括彩色多普勒血流显像(CDFI)、CTA、对比增强(CE)-MRA及DSA。然而CDFI不能评估下肢动脉整体结构和血供状况;CTA时碘对比剂应用有增加对比剂肾病发生风险;DSA具侵入性,碘对比剂和X线辐射可能引起过敏、肾毒性、血管痉挛或损伤等<sup>[1]</sup>;CE-MRA可良好显示下肢动脉狭窄部位、程度及侧支血管,但小腿和足部动脉成像中常有静脉干扰,影响诊断结果准确性。临床上近年越来越重视肾功能不全患者钆对比剂应用可能引起肾源性系统纤维化(NSF)<sup>[2]</sup>。一些研究显示,非对比增强(NCE)-MRA对下肢动脉病变评估具有重要意义。本研究旨在探讨NCE-MRA检查中采用心电触发非对比增强血管造影(triggered angiography none contrast enhanced, TRANCE)技术诊断下肢动脉病变的临床价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

收集2016年1月至2017年5月河南中医药大学第一附属医院收治的38例有临床症状的下肢动脉狭窄病变患者临床资料。其中男28例、女10例;年龄32~83岁,平均(58.5±11.4)岁;临床表现为单侧或双侧下肢静息痛、肢端溃疡或坏疽、间歇性跛行。所有患者无MR检查禁忌证,无心律不齐,

无严重肾功能损伤,即肾小球滤过率(GFR) < 30 mL/min。本研究经医院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

### 1.2 NCE-MRA 检查

采用荷兰Philips公司Ingenia 3.0T MRI系统。受检者取仰卧位、足先进,用绑带适当固定膝、踝部防止产生运动伪影;受检者连接4导联心电电极,双下肢处于体部16通道相控阵线圈内;扫描范围为自腹主动脉分叉上3~5 cm至踝关节水平,依次采集盆腔、大腿、小腿血管信号;TRANCE技术采用三维快速自旋回波(3D-TSE)序列(参数:TR 1 000 ms, TE 63 ms, FOV 375 mm×353 mm, 层厚 1.1 mm, NSA 1),配合心电触发门控,冠状面三维模式采集图像——舒张期采集“动脉亮血,静脉亮血”图像,收缩期采集“动脉黑血,静脉亮血”图像,减影后获得下肢动脉图像。每段图像采集前,用定量流动(Q-flow)序列(参数:TR 11 ms, TE 6.8 ms, FOV 202 mm×139 mm, 层厚 6 mm, NSA 1)测得每段血管流速,确定最佳心电触发时相。

### 1.3 DSA 检查

采用荷兰Philips公司FD20 DSA系统,于NCE-MRA检查1个月内进行DSA检查。局部麻醉下,Seldinger技术穿刺股动脉(双下肢动脉均重度狭窄、闭塞则穿刺肱动脉),以15~20 mL/s速率、600 psi压力注射碘普罗胺25~30 mL;先对腹主动脉下段,左、右髂总动脉,髂内、外动脉作常规造影,

再用多功能导管以 4~6 mL/s 速率、2 600 psi 压力注入碘普罗胺 6~8 mL,对患肢作分段造影。

#### 1.4 图像质量和下肢动脉狭窄程度评价

NCE-MRA 图像质量评价由 2 名 MRI 诊断医师,采用 4 分法<sup>[3]</sup>分别从解剖显示、静脉污染、软组织伪影等方面进行评分:4 分——图像清晰、动脉血管连续、对比优、无静脉显影干扰、无软组织伪影;3 分——图像较清晰、动脉血管连续、对比良好、静脉血管显影浅淡、对动脉成像无影响、软组织伪影较轻;2 分——图像尚可、对比较差、动脉血管较为连续、静脉显影明显但对动脉成像无显著影响、伴有中等程度软组织伪影;1 分——图像差、动脉血管局部不连续、对比差或显影不清、静脉干扰严重影响动脉血管显示、软组织伪影较重。

将下肢动脉系统分为膝下动脉段(左右胫前、胫后动脉,腓动脉)、股腘动脉段(左右股总动脉、股浅动脉、股深动脉、腘动脉)和主髂动脉段(腹主动脉下段,左右髂总动脉、髂内动脉、髂外动脉)。2 名 MRI 医师各自测量每处狭窄动脉管腔内径和狭窄近端正常动脉管腔内径,结果取两者平均值。下肢动脉狭窄率=(1-狭窄处动脉管腔内径/狭窄近端正常动脉管腔内径)×100%<sup>[4]</sup>。下肢动脉狭窄程度分级标准:1 级——轻度狭窄(≤50%);2 级——中度狭窄(50%~75%);3 级——重度狭窄(75%~99%);4 级——完全闭塞;若同一动脉节段有多处狭窄,按狭窄程度级别高者归类。

#### 1.5 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。以 DSA 为金标准,分析计算 NCE-MRA 诊断下肢动脉显著狭窄(狭窄程度≥2 级)的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值。采用 Kappa 检验分析 2 名 MRI 医师对图像质量评分一致性及 NCE-MRA 与 DSA 诊断下肢动脉各节段显著狭窄一致性, $K < 0.4$  为一致性较差, $0.4 \sim 0.8$  为一致性较好, $> 0.8$  为一致性良好。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 NCE-MRA 图像质量

4 分法评价 38 例患者病变下肢动脉共 798 段(主髂动脉 266 段,股腘动脉 304 段,膝下动脉 228 段),NCE-MRA 图像质量结果见表 1。2 名 MRI 医师对主髂动脉段、股腘动脉段、膝下动脉段 NCE-MRA 图像质量评分的一致性 K 值,分别为 0.93、0.89、0.82( $P$  均 $< 0.05$ )。

表 1 2 名 MRI 医师评价 NCE-MRA 图像质量结果 n/%

评分	MRI 医师 1	MRI 医师 2	K 值
主髂动脉段(n=266)			
4 分	156(58.65)	153(57.52)	0.93
3 分	95(35.71)	99(37.22)	
2 分	15(5.64)	14(5.26)	
1 分	0	0	
股腘动脉段(n=304)			
4 分	118(38.82)	123(40.46)	0.89
3 分	167(54.93)	164(53.95)	
2 分	18(5.92)	16(5.26)	
1 分	1(0.33)	1(0.33)	
膝下动脉段(n=228)			
4 分	93(40.79)	90(39.47)	0.82
3 分	104(45.61)	108(47.37)	
2 分	25(10.97)	23(10.09)	
1 分	6(2.63)	7(3.07)	

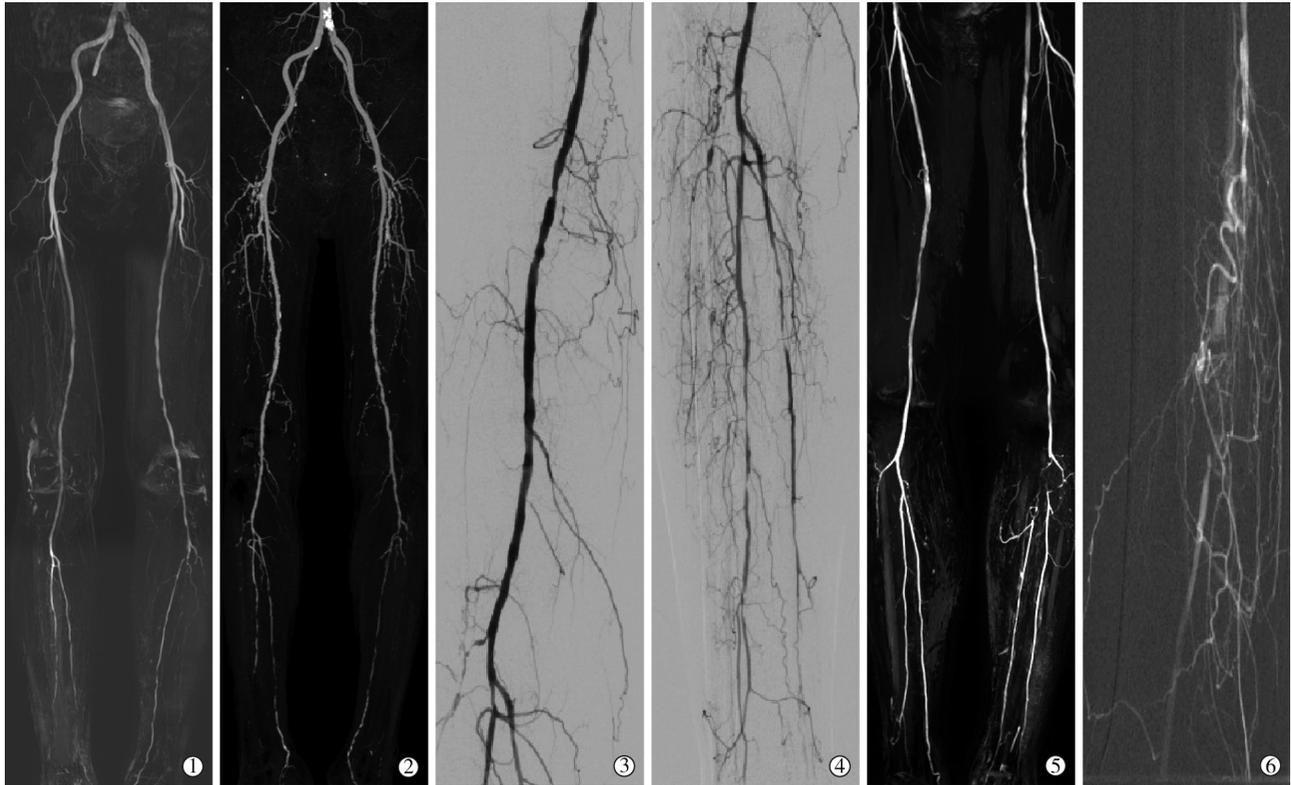
### 2.2 NCE-MRA 显示下肢动脉狭窄

根据 DSA 检查金标准,NCE-MRA 共发现 38 例患者 268 处狭窄,其中主髂动脉段 57 处,股腘动脉段 106 处,膝下动脉段 105 处(图 1)。DSA 诊断主髂动脉段 1 处 3 级狭窄被 NCE-MRA 判断为 2 级;诊断股腘动脉段 2 处 2 级狭窄被判断为 1 级,2 处 3 级狭窄被判断为 4 级;诊断膝下动脉段 4 处 1 级狭窄被判断为 2 级,4 处 3 级狭窄被判断为 4 级。NCE-MRA 诊断下肢动脉狭窄病变符合 DSA 金标准比例为 95.15%(255/268),共高估 10 处(3.73%),低估 3 处(1.12%)(表 2)。NCE-MRA 诊断主髂动脉段、股腘动脉段显著狭窄的灵敏度、特异度、准确度均较高于膝下动脉段,主髂动脉段、股腘动脉段、膝下动脉段 K 值分别为 0.90、0.87、0.73, $P$  值均 $< 0.05$ ,表明 NCE-MRA 与 DSA 诊断下肢动脉中重度狭窄的一致性较好,尤其是在诊断主髂动脉段和股腘动脉段时(表 3)。

## 3 讨论

CE-MRA 具有清晰的图像质量和较高的诊断准确率,成为临床上诊断下肢动脉病变最常用的影像学检查方法。但早有研究指出肾功能不全患者 GFR $< 30$  mL/min 为 CE-MRA 检查禁忌证,且钆对比剂可能引起 NSF<sup>[5]</sup>。此外,CE-MRA 为分段式采集血流信号(一般始于腹主动脉下段,其次为大腿部位动脉,最后为小腿和足部动脉),对比剂停留时间过长可引起小腿段静脉显影较明显,造成静脉污染<sup>[6]</sup>。近年来,NCE-MRA 技术应用于外周动脉病变诊断成为研究热点。

传统的时间飞跃法(TOF)最早应用于下肢动脉 MRA,但因受血液流入效应限制,成像范围有限,图



▲患者男,83岁,糖尿病30余年,下肢动脉硬化闭塞症10年:①NCE-MRA示左侧髂总动脉、双侧股浅动脉、腓动脉、胫前动脉、胫后动脉、腓动脉多发节段性狭窄;②CTA示双下肢动脉狭窄部位和程度与NCE-MRA基本一致;③DSA示右侧股浅动脉节段性狭窄,与NCE-MRA相对应;④DSA示右侧胫前动脉重度狭窄,胫后动脉、腓动脉多发节段性狭窄,与NCE-MRA所示一致,但侧支血管较NCE-MRA所示更好  
▲患者男,62岁,左侧小腿疼痛、跛行3年:⑤NCE-MRA示左侧胫后动脉长段未见显影,胫前动脉和腓动脉起始段狭窄,侧支血管部分显影;⑥DSA示左侧胫后动脉起始段闭塞,侧支血管显示丰富

图1 采用TRANCE技术的NCE-MRA对比DSA诊断下肢动脉病变影像

表2 NCE-MRA与DSA诊断下肢动脉狭窄程度评分比较

n

DSA	NCE-MRA														
	主髂动脉狭窄(n=57)					股腓动脉狭窄(n=106)					膝下动脉狭窄(n=105)				
	1级	2级	3级	4级	合计	1级	2级	3级	4级	合计	1级	2级	3级	4级	合计
1级	31	2	0	0	33	46	2	0	0	48	25	9	0	0	34
2级	2	14	0	0	16	4	36	0	0	40	5	31	0	0	36
3级	0	1	4	0	5	0	0	12	3	15	0	0	12	10	22
4级	0	0	0	3	3	0	0	1	2	3	0	0	6	7	13
合计	33	17	4	3	57	50	38	13	5	106	30	40	18	17	105

表3 NCE-MRA诊断下肢动脉显著狭窄一致性比较 %

下肢动脉系统	灵敏度	特异度	准确度	一致性比较		K值
				阳性预测值	阴性预测值	
主髂动脉段	95.8	94.2	96.8	93.2	98.4	0.90
股腓动脉段	93.2	93.7	94.7	91.8	96.3	0.87
膝下动脉段	92.4	85.6	88.3	78.6	86.6	0.73
总计	91.7	90.3	91.6	85.5	93.7	0.85

像空间分辨率较低,因而不适用于大范围下肢动脉成像<sup>[7]</sup>。快速自旋回波(FSE)序列也是早期应用的NCE-MRA技术之一,具有扫描范围大、静脉干扰少等优势,在肺动脉、胸主动脉和腹主动脉病变诊断中应用较多<sup>[8]</sup>。随着快速采集技术不断优化,FSE序列应用于下肢动脉成像的时间极大缩短,图像空间

分辨率显著提高。本研究采用TRANCE技术,基于心电触发的半Fourier 3D-FSE序列,配合应用心电门控,分别在心脏收缩期和舒张期采集血流信号。动脉血在收缩期流速快,T2加权成像(T2WI)表现为低信号,舒张期流速放慢,T2WI表现为高信号;静脉血流速在收缩期和舒张期均较缓慢,整个心动周期均表现为高信号。因此,将舒张期和收缩期图像作减影,即可获得动脉血管成像。

本研究中患者NCE-MRA影像上均表现为不同程度管腔狭窄,管壁不光滑,部分动脉长段呈“串珠样”改变,局部动脉完全或不完全闭塞,伴或不伴有侧支循环形成;2名MRI诊断医师对图像质量评

分一致性较高,其中主髂动脉段和股腘动脉段图像质量较高,评分为 3~4 分动脉节段占 90%以上,仅 1 节段评为 1 分,而膝下动脉段评分为 3~4 分节段占 86%左右,6~7 节段(2%~3%)评为 1 分。可见,NCE-MRA 图像能较为清楚地显示下肢动脉狭窄部位、程度及范围等,与 DSA 图像显示基本一致,但对侧支血管显示不如 DSA。本研究结果显示,NCE-MRA 检查中采用 TRANCE 技术诊断主髂动脉段显著狭窄的灵敏度(95.8%)、特异度(94.2%)、准确度(96.8%)最高,诊断股腘动脉段、膝下动脉段显著狭窄的灵敏度(分别为 93.2%、92.4%)、特异度(分别为 93.7%、85.6%)及准确度(分别为 94.7%、88.3%)均较高,与 Gutzeit 等<sup>[9]</sup>报道采用 TRANCE 技术诊断大腿、小腿动脉狭窄的灵敏度(分别为 95.6%、95.2%)、特异度(分别为 97.4%、87.5%)及准确度(97.1%、90.5%)近似;NCE-MRA 与 DSA 诊断下肢动脉显著狭窄的一致性均较好( $K>0.7, P<0.05$ ),尤其是在主髂动脉段和股腘动脉段( $K>0.8$ )。这表明 NCE-MRA 诊断下肢动脉病变具有一定的临床价值,可为患者提供一种不良反应较小、可供选择的下肢动脉狭窄评估手段。

以 DSA 结果为金标准,本组 NCE-MRA 高估 4 处动脉 1 级狭窄(均位于膝下动脉段)为 2 级狭窄,高估 6 处 3 级狭窄(2 处位于股腘动脉段,4 处为膝下动脉段)为完全闭塞。狭窄程度高估情况主要发生于动脉狭窄严重节段,分析其原因可能为:①自旋回波在血流速度较快或发生涡流时可引起血流失相位,导致信号丢失,因而高估狭窄程度<sup>[10]</sup>;②动脉狭窄较重时血流速度明显减慢,收缩期采集信号与舒张期近似,同样表现为高信号,减影后与舒张期高信号抵消,故严重狭窄动脉可表现为闭塞;③对比剂通过闭塞动脉远端较缓慢,或经侧支循环到达闭塞动脉远端使其充盈显影。

静态间隔单次激发(quiescent-interval single-shot, QISS)技术是德国 Siemens 公司近年提出并较多应用于下肢动脉病变诊断的 NCE-MRA 技术,即采用心电门控,在收缩期施加 90°饱和脉冲和 90°静脉血流抑制脉冲后于舒张期以单次激发的稳态自由进动(steady-state free precession, SSFP)序列采集动脉血流信号,因此不需减影<sup>[11]</sup>。与 QISS 序列相比,TRANCE 技术优点为:①下肢静脉污染较少,多为浅静脉污染,不影响诊断;②为三维采集方式,层厚可达 2 mm 以下,相比 QISS 二维采集(层厚约 3 mm),图像空间分辨率更高,细小病变显示更清

晰;③对动脉二级分支和侧支血管显示更好。但 TRANCE 技术局限性在于:①患者心律不齐时易出现错误的触发延迟校准时间,故心律明显不齐时不能触发信号采集<sup>[12]</sup>;②信号采集易受呼吸运动影响,而 QISS 序列受运动伪影干扰较小;③整体扫描时间较长,部分患者不能耐受,而 QISS 信号采集速度很快。

TRANCE 技术应用于下肢动脉病变已有相关报道,但均只在 1.5T MRI 系统上实现<sup>[9,13]</sup>。Liu 等<sup>[14]</sup>报道在德国 Siemens 公司 1.5T MRI 系统上采用血流敏感散相(FSD)-SSFP 序列对膝下动脉进行 NCE-MRA 与 CE-MRA 对比研究,但未以 DSA 作为对照。Thierfelder 等<sup>[15]</sup>在德国 Siemens 公司 3.0T MRI 系统上采用 QISS 技术对全下肢动脉进行 NCE-MRA 与 CE-MRA 检查,对比分析两者所示图像质量、血管狭窄程度等,但仍未能选择 DSA 作为金标准。Liu 等<sup>[16]</sup>报道采用 FSD-SSFP 技术进行 NCE-MRA 与 CE-MRA、DSA 对照研究,但仅限于小腿动脉段成像。本研究以 DSA 金标准为对照,在 3.0T MRI 系统上采用 TRANCE 技术联合三维容积各向同性快速自旋回波采集(volume isotropic TSE acquisition, VISTA)、频谱衰减反转恢复(spectral attenuated inversion recovery, SPAIR)脂肪抑制序列实现自动移床全下肢动脉 NCE-MRA 检查,扫描野(FOV)更大,图像减影更充分,分辨率更高(层厚为 1 mm)。

总之,在 3.0T MRI 系统上采用 TRANCE 技术作下肢动脉 NCE-MRA 检查切实可行,成功率较高,所获图像能清晰显示下肢动脉系统,对下肢动脉显著狭窄诊断具有较高灵敏度、特异度和准确度,为临床上提供了一种可靠的替代检查方法。

#### [参考文献]

- [1] Wang NX, Liu SB, Wang XB. The application and selection between DSA and MRA(MobiTrack) in vascular diseases of lower extremities[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2000, 16: 1015-1016.
- [2] Prince MR, Zhang HL, Roditi GH, et al. Risk factors for NSF: a literature review[J]. J Magn Reson Imaging, 2009, 30: 1298-1308.
- [3] Wu G, Yang J, Zhang T, et al. The diagnostic value of non-contrast enhanced quiescent interval single shot (QISS) magnetic resonance angiography at 3T for lower extremity peripheral arterial disease, in comparison to CT angiography[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2016, 18: 71.
- [4] 谢珊珊,程敬亮,张勇,等.三种方法诊断大脑中动脉狭窄的对照研究[J].介入放射学杂志,2014,23:96-100.

- [5] Rydahl C, Thomsen HS, Marekman P. High prevalence of nephrogenic systemic fibrosis in chronic renal failure patients exposed to gadodiamide: a gadolinium-containing magnetic resonance contrast agent[J]. Invest Radiol, 2008, 43: 141-144.
- [6] Pollak AW, Kramer CM. MRI in lower extremity peripheral arterial disease: recent advancements[J]. Curr Cardiovasc Imaging Rep, 2013, 6: 55-60.
- [7] Hahn WY, Hecht EM, Friedman B, et al. Distal lower extremity imaging: prospective comparison of 2-dimensional time of flight, 3-dimensional time-resolved contrast-enhanced magnetic resonance angiography, and 3-dimensional bolus chase contrast-enhanced magnetic resonance angiography [J]. J Comput Assist Tomogr, 2007, 31: 29-36.
- [8] Miyazaki M, Isoda H. Non-contrast-enhanced MR angiography of the abdomen[J]. Eur J Radiol, 2011, 80: 9-23.
- [9] Gutzeit A, Sutter R, Froehlich JM, et al. ECG-triggered non-contrast-enhanced MR angiography (TRANCE) versus digital subtraction angiography(DSA) in patients with peripheral arterial occlusive disease of the lower extremities[J]. Eur Radiol, 2011, 21: 1979-1987.
- [10] Offerman EJ, Hodnett PA, Edelman RR, et al. Non-enhanced methods for low-extremity MRA: a Phantom study examining the effects of stenosis and pathologic flow waveforms at 1.5T[J]. J Magn Reson Imaging, 2011, 33: 401-408.
- [11] Hodnett PA, Koktzoglou I, Davarpanah AH, et al. Evaluation of peripheral arterial disease with nonenhanced quiescent-interval single-shot MR angiography. Radiology, 2011, 260: 282-293.
- [12] Wheaton AJ, Miyazaki M. Non-contrast enhanced MR angiography: physical principles[J]. J Magn Reson Imaging, 2012, 36: 286-304.
- [13] Lim RP, Hecht EM, Xu J, et al. 3D nongadolinium-enhanced ECG-gated MRA of the distal lower extremities: preliminary clinical experience[J]. J Magn Reson Imaging, 2008, 28: 181-189.
- [14] Liu X, Zhang N, Fan Z, et al. Detection of infragenual arterial disease using non-contrast-enhanced MR angiography in patients with diabetes[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 40: 1422-1429
- [15] Thierfelder KM, Meimarakis G, Nikolaou K, et al. Non-contrast-enhanced MR angiography at 3 Tesla in patients with advanced peripheral arterial occlusive disease [J]. PLoS One, 2014, 9: e91078.
- [16] Liu J, Zhang N, Fan Z, et al. Image Quality and Stenosis Assessment of Non-Contrast-Enhanced 3-T Magnetic Resonance Angiography in Patients with Peripheral Artery Disease Compared with Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Angiography and Digital Subtraction Angiography[J]. PLoS one, 2016, 11: e0166467.

(收稿日期:2017-08-07)

(本文编辑:边 佶)

---

## ·读者-作者-编者·

本刊 2018 年第 4 期《心脏再同步治疗中左右心室电极位置间距离与临床效果分析》一文,系由国家自然科学基金(81460047、81660359)支持,特予补正。