

# 非对比增强心电图门控磁共振血管成像 对下肢动脉病变的诊断价值

孙 凤,舒 政,邹晓刚,陈 雯,戴晓婷

**[摘要]** **目的:**评估非对比增强心电图门控磁共振血管成像(NCE-MRA)对下肢动脉病变的诊断价值。**方法:**对30例下肢动脉病变病人行下肢动脉NCE-MRA及对比增强磁共振血管成像(CE-MRA)检查,比较2种检查方法的检查时间,并从动脉解剖显示、静脉污染、软组织伪影方面采用5分法进行图像质量评分,以CE-MRA作为参照标准,评价NCE-MRA各节段血管的狭窄程度,计算NCE-MRA诊断各节段动脉显著性狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和诊断准确性,并评价NCE-MRA和CE-MRA诊断下肢动脉显著性狭窄的一致性。**结果:**CE-MRA检查时间明显短于NCE-MRA( $P < 0.01$ )。30例病人共计480个动脉节段,其中CE-MRA有477个(99.4%)动脉节段、NCE-MRA有446个(92.9%)动脉节段符合诊断要求,CE-MRA腹盆段、大腿段、小腿段三个节段的图像质量评分均优于NCE-MRA( $P < 0.05 \sim P < 0.01$ )。以CE-MRA为参照标准,NCE-MRA对显著性狭窄动脉高估37个,低估13个,敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和准确性分别为93.97%、92.21%、90.78%、94.94%、93.00%,2种方法诊断下肢动脉显著性狭窄的一致性较好(Kappa = 0.859,  $P < 0.05$ )。**结论:**NCE-MRA是一种安全、有效的检查技术,在显示下肢动脉显著性狭窄方面有较高的准确性,可以为肾功能不全或不能使用对比剂的病人提供一种下肢动脉影像检查替代方法。

**[关键词]** 动脉病变;磁共振血管成像;非对比增强;下肢

[中图分类号] R 543.5; R 445.2

[文献标志码] A

DOI:10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2019.02.028

## Diagnostic value of non-contrast-enhanced ECG-gated MR angiography in lower extremity artery disease

SUN Feng, SHU Zheng, ZOU Xiao-gang, CHEN Wen, DAI Xiao-ting

(Department of Imaging, Shanghai TCM-Integrated Hospital, Shanghai University of TCM, Shanghai 200082, China)

**[Abstract]** **Objective:** To evaluate the diagnostic value of non-contrast-enhanced ECG-gated MR angiography (NCE-MRA) in lower extremity artery disease. **Methods:** The lower extremity artery disease in 30 patients was detected using NCE-MRA and contrast-enhanced MR angiography (CE-MRA), respectively. The detection time between two examination methods was compared. The image quality was scored using 5-point scale according to the arterial display, venous infection and soft tissue artifacts. CE-MRA was set as the standard, the stenosis degree of each segment of blood vessel of NCE-MRA was assessed. The sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and diagnostic accuracy of severe stenosis artery diagnosed by NCE-MRA were calculated. The consistency of NCE-MRA and CE-MRA in diagnosis of severe stenosis was analyzed. **Results:** The examination time of CE-MRA was significantly shorter than that of NCE-MRA ( $P < 0.01$ ). Four hundred and eighty segmental arteries in 30 patients were identified, and 477 segmental arteries of CE-MRA (99.4%) and 466 segmental arteries of NCE-MRA (92.9%) were accord with diagnostic requirements. The image quality scores of CE-MRA in abdomen-pelvis, thigh and calf vessels were better than those of NCE-MRA ( $P < 0.05$  to  $P < 0.01$ ). CE-MRA was set as the standard, 37 and 13 severe stenosis arteries were over and under estimated by NCE-MRA, respectively. The sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and diagnostic accuracy of NCE-MRA were 93.97%, 92.21%, 90.78%, 94.94% and 93.00%, respectively. The consistency of two methods in the diagnosis of severe arterial stenosis of the lower extremity was good (Kappa = 0.859,  $P < 0.05$ ). **Conclusions:** NCE-MRA is a safe and effective technique. The accuracy of NCE-MRA in showing severe stenosis of lower limb artery is high, which can be used as an alternative method for arteriography of lower extremity in patients with renal insufficiency or not suitable for contrast agents.

**[Key words]** artery disease; magnetic resonance angiography; non-contrast-enhanced; lower extremity

[收稿日期] 2017-08-15 [修回日期] 2018-11-02

[基金项目] 上海市虹口区卫生和计划生育委员会科研课题重大项目(1601-01);上海中医药大学附属上海市中西医结合医院院级科研项目(中西医16-01-03)

[作者单位] 上海中医药大学附属上海市中西医结合医院 医学影像科,上海 200082

[作者简介] 孙 凤(1981-),女,硕士研究生,主治医师。

近年下肢动脉病变发生率逐年增高,常见的如下肢动脉硬化闭塞症、糖尿病下肢动脉狭窄等,部分下肢动脉病变病人需要接受药物、手术等治疗手段的干预以预防严重并发症和减少截肢风险<sup>[1]</sup>。准

确显示下肢动脉狭窄的部位、范围和程度对于早期诊断和治疗至关重要。目前临床检查下肢动脉病变的方法较多,如多普勒超声、踝肱指数、CT 血管造影、数字血管造影等,但各种检查方法均有一定弊端<sup>[2]</sup>。对比增强磁共振血管造影(contrast-enhanced MR angiography, CE-MRA)是临床广泛应用的、无电离辐射的诊断心血管疾病,包括周围动脉疾病的影像检查工具<sup>[3]</sup>,但含钆的磁共振对比剂的使用,可导致肾功能不全病人并发肾源性系统性纤维化(nephrogenic systemic fibrosis, NSF)<sup>[4]</sup>。非对比增强 MR 血管造影(non-contrast-enhanced MR angiography, NCE-MRA)技术避免了 NSF 的潜在风险,无电离辐射,但是传统的非对比增强的方法,如时间飞跃(TOF)及相位对比(PC)技术,检查耗时长,图像伪影严重,限制了 NCE-MRA 技术在下肢动脉病变日常临床检查的应用。随着 MR 采集技术的发展,三维高分辨率心电门控快速自旋回波成像技术提供了更快的图像采集速度和更高的图像分辨率,节省检查时间,优化了图像质量,使 NCE-MRA 技术诊断下肢动脉病变成为可能<sup>[5-6]</sup>。本研究利用基于心电门控触发的,采用可变反转角及回聚脉冲链的三维快速自旋回波成像技术的 NATIVE-SPACE 序列,评估 NCE-MRA 技术对下肢动脉病变的诊断价值。现作报道。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2016 年 9 月至 2017 年 6 月我院收治的下肢动脉病变病人 30 例,均进行下肢动脉 NCE-MRA 及 CE-MRA 检查。其中男 23 例,女 7 例,年龄 42~88 岁。排除标准:(1)严重肾功能不全(肾小球滤过率 < 30 mL/min);(2)存在 MRI 检查禁忌证,包括安装心脑血管支架和心脏起搏器等;(3)心率失常。

1.2 方法 采用 Siemens Skyra 3.0T MRI 成像系统进行检查,配备心电门控装置和 Mallinckrodt 双筒高压注射器。病人取足先进仰卧位,采用 8 通道体部相控阵线圈分别置于大腿和小腿上方获取双侧下肢动脉信号。NCE-MRA 与 CE-MRA 均为三站式(腹盆部、大腿段、小腿段)自动移床扫描,冠状位采集,扫描参数见表 1。

1.2.1 NCE-MRA 在动脉成像之前,采用 FLASH 序列在心电门控下,分别在腹主动脉分叉、股浅动脉近端、腘动脉水平确定每节段动脉血管扫描触发时间(TD),扫描包括一个 RR 周期,通过对 RR 周期中

表 1 下肢 NCE-MRA 及 CE-MRA 扫描参数

参数	NCE-MRA	CE-MRA
TR/ms	450	2.7
TE/ms	80	0.9
视野/cm <sup>3</sup>	367 × 390	406 × 500
翻转角/°	140	21
矩阵	384 × 310	320 × 204
过采样	7.7%	1.25%
层厚/mm	1	1.2
层数	104	128
体素/mm <sup>3</sup>	1 × 1 × 1	0.9 × 0.91 × 1.2
傅里叶转换	6/8	6/8
带宽/(Hz/Px)	814	680

动脉最低和最高的信号的评价,确定最佳的 TD。采用 NATIVE-SPACE 成像序列,采集方式为冠状面三维模式,配合 TD 时间,分别在舒张期采集“动脉亮血、静脉亮血”图像和收缩期采集“动脉黑血、静脉亮血”图像,经过减影后获取下肢动脉图像(见图 1)。

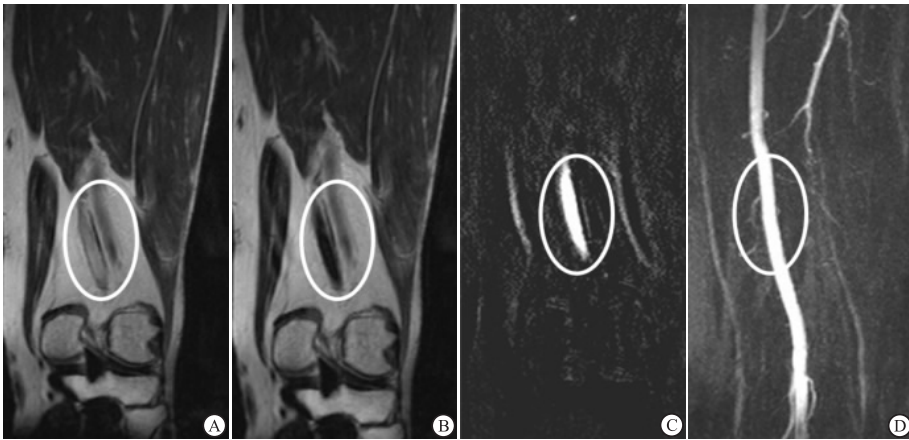
1.2.2 CE-MRA 以梯度回波序列采集平扫图像作为减影蒙片,经肘前静脉按照不同流率注射钆喷替酸葡甲胺(0.5 mmol/mL),首先以 2.5 mL/s 注射对比剂 20 mL,再以 0.5 mL/s 注射对比剂 10 mL,对比剂注射完毕后以 1.5 mL/s 注射 0.9% 氯化钠注射液 30 mL。应用 Care-Blous 技术动态监测对比剂到达腹主动脉后,采用三维快速小角度激发成像(3D-FLASH)序列采集动脉增强图像,增强图像与平扫蒙片自动减影。

### 1.3 评价指标

1.3.1 扫描时间 NCE-MRA 与 CE-MRA 均为三站式(腹盆部、大腿段、小腿段)扫描,检查技师观察每一站扫描时间并记录,NCE-MRA 需记录三站 TD 监测扫描时间。

1.3.2 图像分析 将采集数据传至西门子 MRI 工作站,以最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)重建完整的双下肢动脉图像,由 2 名影像科医师采用盲法共同评价评图像质量及动脉血管狭窄程度。

(1)图像质量评分:从解剖显示、静脉污染、软组织伪影方面采用 5 分法进行评分<sup>[7]</sup>。1 分:血管未见显影,无法诊断;2 分:动脉轮廓或边缘不清楚,或伴有严重的软组织或静脉伪影,诊断受限,但可以排除血管是否闭塞;3 分:动脉轮廓比较清楚,伴有



A: 舒张期采集“动脉亮血, 静脉亮血”; B: 收缩期采集“动脉黑血, 静脉亮血”; C: 减影后获取下肢动脉;  
D: 下肢动脉MIP重建

图1 NATIVE-SPACE成像原理

中度静脉或软组织伪影, 图像有诊断意义; 4分: 动脉轮廓和对比度清楚, 伴有轻度深静脉或软组织伪影, 诊断非常明确; 5分: 动脉轮廓清晰锐利, 无或伴有少许静脉或软组织伪影。

(2) 动脉狭窄程度: 下肢动脉分为髂总动脉、髂内动脉、髂外动脉、股浅动脉、腘动脉、胫前动脉、胫后动脉、腓动脉 8 个动脉节段, 狭窄程度 = (狭窄部近心端正常血管直径 - 狭窄部血管直径) / 狭窄部近心端正常血管直径 × 100%。动脉狭窄程度分为 4 级进行评分<sup>[8]</sup>, 0 分: 动脉管径正常; 1 分: 动脉狭窄程度 < 50%; 2 分: 动脉狭窄程度 ≥ 50%; 3 分: 动脉管腔闭塞。若某动脉节段有多处狭窄, 按狭窄程度级别高者归类。定义动脉狭窄程度 ≥ 50% 及动脉管腔闭塞为动脉显著性狭窄。

1.5 统计学方法 采用 *t* 检验、秩和检验和 Cohen's Kappa 检验。

## 2 结果

2.1 2 种方法扫描时间比较 NCE-MRA 腹盆段、大腿段、小腿段三站 TD 监测平均扫描时间均为 12 s, 每段扫描时间长短由心率决定, 30 例下肢动脉 NCE-MRA 扫描时间为 12.17 ~ 17.43 min, 平均 (13.95 ± 1.26) min, CE-MRA 扫描时间为 3.02 ~ 3.25 min, 平均 (3.16 ± 0.06) min, CE-MRA 检查时间明显短于 NCE-MRA ( $t = 47.20, P < 0.01$ )。

2.2 2 种方法图像质量比较 30 例下肢动脉病变病人都成功进行了下肢 NCE-MRA 及 CE-MRA 扫描 (见图 2 ~ 5), 共计 480 个动脉节段, 其中 CE-MRA 有 477 个 (99.4%) 动脉节段符合诊断要求, NCE-MRA 有 446 个 (92.9%) 动脉节段符合诊断要求。NCE-MRA 腹盆段、大腿段、小腿段三段评分均明显

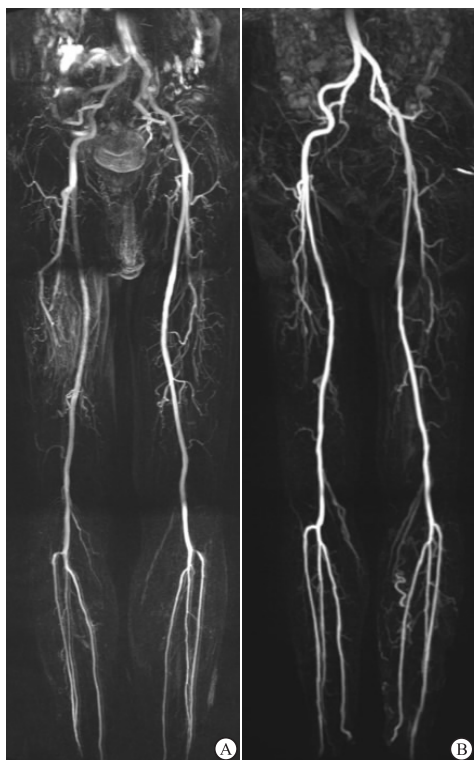
低于 CE-MRA ( $P < 0.05 \sim P < 0.01$ )。腹盆段 CE-MRA 图像质量优良率为 90%, 而 NCE-MRA 仅 10%; 大腿段 CE-MRA 图像质量优良率为 86.7%, NCE-MRA 为 63.3%; 小腿段 CE-MRA 图像质量优良率为 60%, NCE-MRA 为 40% (见表 2)。

表 2 NCE-MRA 与 CE-MRA 图像质量比较 ( $n = 30$ )

分组	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	$u_c$	$P$
腹盆段							
NCE-MRA	4	6	17	3	0	6.13	<0.01
CE-MRA	0	1	2	5	22		
大腿段							
NCE-MRA	1	2	8	17	2	4.32	<0.01
CE-MRA	0	0	4	6	20		
小腿段							
NCE-MRA	3	1	14	11	1	2.24	<0.05
CE-MRA	1	1	9	12	7		

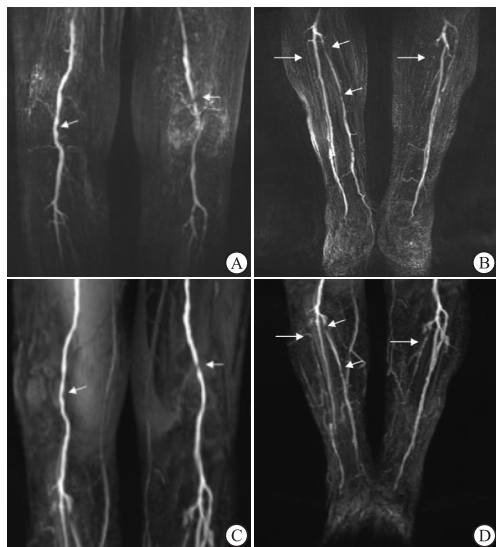
2.3 NCE-MRA 对下肢动脉显著性狭窄的诊断 30 例下肢动脉病人共获取 480 个动脉节段, 其中, NCE-MRA 检查中盆腹段有 21 个动脉节段、大腿段有 1 个动脉节段、小腿段有 12 个动脉节段不符合诊断要求, CE-MRA 有 3 个动脉节段不符合诊断要求, 故最后纳入动脉节段 443 个。NCE-MRA 显示正常动脉节段 115 个, 狭窄程度 < 50% 动脉节段 122 个, 狭窄程度 ≥ 50% 动脉节段 98 个, 闭塞动脉节段 108 个; 以 CE-MRA 为参照标准, NCE-MRA 对显著性狭窄动脉高估 37 个, 低估 13 个 (见表 3)。以 CE-MRA 图像作为标准, 计算 NCE-MRA 诊断不同分段下肢动脉显著性狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确性见表 4。Cohen's Kappa 检验显示, 2 种检查方法诊断下肢动脉显著性狭窄的

一致性较好 ( $Kappa = 0.783, P < 0.05$ )。



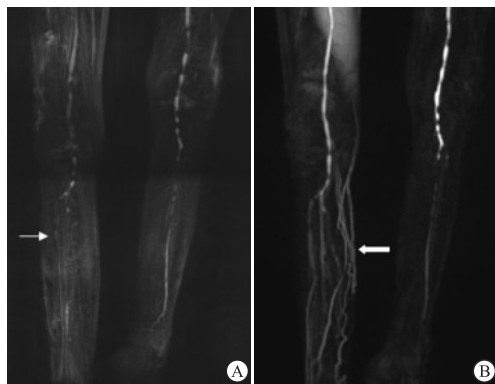
A: NCE-MRA; B: CE-MRA

图2 男, 64岁, 糖尿病下肢病变, NCE-MRA腹盆段软组织伪影较多, 2种方法MIP图像均有较高信噪比, 下肢动脉各节段动脉显示均良好, 右侧胫前动脉起始部1级狭窄



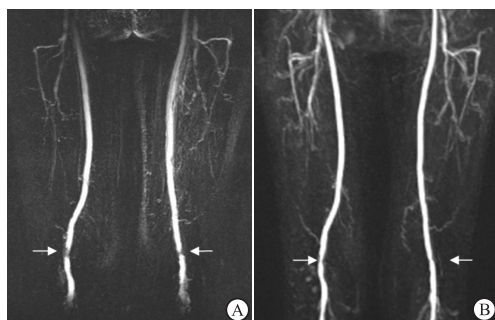
A, B: NCE-MRA; C, D: CE-MRA

图3 女, 84岁, 下肢动脉硬化闭塞症, 2种方法均显示双下肢多个动脉节段2~3级狭窄, 右侧胫前动脉闭塞, 对显著性狭窄的显示一致性好, 其中CE-MRA图像在双下肢内侧有浅静脉污染, 不影响诊断



A: NCE-MRA; B: CE-MRA

图4 女, 76岁, 下肢动脉闭塞性血管炎, 右下肢溃疡, 2种方法均显示双下肢多个动脉节段2~3级狭窄, 右侧胫后动脉、左侧胫前动脉、腓动脉闭塞, 由于病人右下肢血流缓慢, 血液流动不足, NCE-MRA图像对右侧胫前动脉及腓动脉显示不佳, 但尚能满足诊断要求; CE-MRA右下肢静脉污染严重, 可能与右下肢溃疡导致动静脉异常交通有关



A: NCE-MRA; B: CE-MRA

图5 男, 66岁, 糖尿病下肢病变, CE-MRA显示双侧股浅动脉2级狭窄, NCE-MRA图像高估狭窄级别

表 3 NCE-MRA 与 CE-MRA 对下肢动脉狭窄程度的分级对照 (节段)

CE-MRA	NCE-MRA				合计
	0分	1分	2分	3分	
0分	106	13	0	0	119
1分	9	97	19	0	125
2分	0	12	78	18	108
3分	0	0	1	90	91
合计	115	122	98	108	443

表 4 NCE-MRA 诊断不同分段动脉显著性狭窄的敏感性、特异性及预测值 (%)

动脉节段	n	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	准确性
腹盆段	159	91.49	92.86	84.31	96.30	92.45
大腿段	119	92.86	96.83	92.30	93.85	94.96
小腿段	165	95.83	86.96	91.09	93.75	92.12
全部	443	93.97	92.21	90.78	94.94	93.00

### 3 讨论

由于含钆类对比剂在肾功能不全病人中可能引起致命性并发症NSF, 而临床上很大部分下肢动脉

病变病人常伴有肾动脉病变,导致肾功能损害,因此不使用对比剂的 NCE-MRA 的临床应用逐渐受到关注<sup>[9]</sup>。早期的 NCE-MRA 技术有利用血液流入增强效应的 TOF 法和 PC 法,多应用于头颈部 MRA 的检查,但是下肢动脉病变的扫描范围一般从腹主动脉下段至足背,TOF 或 PC 法对于大范围扫描所需的时间非常长,下肢动脉病变病人尤其有静息痛者往往不能忍受长时间的检查而导致检查的失败。NATIVE-SPACE 序列是一种改进的基于心电图门控触发的三维快速自旋回波序列,采用了可变的翻转角技术减少特定吸收率<sup>[10]</sup>,非选择性的再聚焦脉冲缩短了回波间隔,与单次激发自旋回波序列相比大大提高了扫描的速度和空间分辨率<sup>[7]</sup>。本组研究 NCE-MRA 检查平均时间为  $(13.95 \pm 1.26)$  min,虽然比 CE-MRA 要费时,但是比传统的非增强检查技术已大大减少了检查所需的时间,使大部分病人可以耐受并完成检查。

本研究将下肢动脉分为三段(腹盆段、大腿段及小腿段)扫描,共计 480 个动脉节段,CE-MRA 和 NCE-MRA 分别有 477 (99.4%) 和 446 (92.9%) 个动脉节段符合诊断要求。NCE-MRA 腹盆段、大腿段、小腿段图像质量评分均低于 CE-MRA,提示与 CE-MRA 比较,NCE-MRA 的图像质量还有一定的差距,这与 WARD 等<sup>[11-12]</sup>利用 NATIVE-SPACE 序列对下肢动脉扫描所遇到的问题类似,究其原因,还是由于 NATIVE-SPACE 序列是一种基于半傅里叶转换的快速自旋回波序列,利用特殊的血流抑制脉冲和动静脉血流速度的差异,将舒张期采集“动脉亮血、静脉亮血”图像和收缩期采集“动脉黑血、静脉亮血”图像,经过减影后获取下肢动脉图像,自旋回波序列对血流速度和方向较为敏感,当下肢动脉出现严重狭窄时,血流速度缓慢,容易造成狭窄远端血流的不足而导致信号的丢失(见图 4A)。另外,我们发现 NCE-MRA 腹盆段、大腿段图像软组织伪影(见图 3A)及深静脉污染较 CE-MRA 更为严重,软组织伪影是由于腹盆段的图像易受肠道内容物电解质的干扰,场强越高,电解质效应更为明显;且腹盆段肠管的运动及腹部呼吸运动的影响,进一步影响图像质量。而深静脉的污染的出现是因为 TD 触发时间选择不恰当,使得舒张期和收缩期图像剪影后,静脉信号不能被完全消除,另外当病人心率不齐时,选择的 TD 触发时间与实际所需的触发时间并不一致,也会导致静脉的显影,但是动脉的对比信噪比远

高于静脉,一般对于诊断的影响有限。对于膝下动脉,我们发现小腿段 NCE-MRA 的图像出现静脉污染要少于 CE-MRA,且大部分为浅静脉的污染,并不影响诊断,而 CE-MRA 采用分段式扫描,当采集最后小腿段的图像时,由于静脉回流容易出现严重的静脉伪影,当下肢动脉病变病人合并小腿部溃疡感染,造成局部动静脉异常交通,静脉污染就更加明显(见图 4B)。

本研究结果显示,NCE-MRA 与 CE-MRA 对于动脉显著性狭窄诊断的一致性较好,NCE-MRA 诊断下肢动脉狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 93.97%、92.21%、90.78%、94.94%、93.00%,尤其是良好的阴性预测值,可以可靠地用于肾功能受损病人排除明显的下肢动脉狭窄病变。在本研究中,对动脉显著性狭窄,NCE-MRA 高估动脉节段 37 个,对动脉狭窄的高估也见于其他研究<sup>[7-8,13]</sup>。可能的原因是由于该段血管血流速度和方向紊乱,血液的湍流导致血流信号的丢失(见图 5);或者远端动脉狭窄严重甚至闭塞时,导致血流速度减慢,在舒张期和收缩期动脉信号相近,也会导致剪影后动脉信号的丢失;此外成角的分支血管如膝前动脉,其血流的减少,也会导致假阳性的狭窄。

本研究的不足在于未采用下肢动脉病变的“金标准”DSA 来评价 NCE-MRA 对动脉狭窄诊断的准确性,NCE-MRA 诊断准确性可能会有一些误差,且 NATIVE-SPACE 血管成像技术还存在一些不足和影响因素。但是 NATIVE-SPACE 运用于下肢动脉病变的检查,并不仅仅在于其部分图像质量的优劣,随着非增强技术的进一步提高和完善,NCE-MRA 可以作为一种非常有前景的检查技术,尤其适用于肾功能不全的下肢动脉病变病人,成为一种有效的影像检查手段。

#### [参 考 文 献]

- [1] SELVIN E, ERLINGER TP. Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States; results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2000 [J]. *Circulation*, 2004, 110(6):738.
- [2] KAZA RK, PLATT JF, GOODSITT MM, *et al.* Emerging techniques for dose optimization in abdominal CT [J]. *Radiographics*, 2014, 34(1):4.
- [3] 程大文,高玲,沈广澍,等. 三维动态增强 MRA 与 DSA 诊断下肢动脉硬化闭塞症的对比研究 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2015, 13(2):103.

实具有统计学意义,大脑中枢定位与侧别性优势功能的差异解释了这种可能性。额下沟的性别差异主要是因为左右方向所致,因此,额下沟在左右方向变异度大者,往往意味着其 Broca 区功能更为活跃。

额下沟开始出现的胎龄、发育完全及额下沟的弯曲度侧别性差异及性别差异不大,额下沟在后天发育中,由于大脑功能的差异导致后天发育出现变异,额下沟在越靠近大脑中轴处,后天发育变异度越小。额下沟在前后方向及左右方向变异度大者,其 Broca 区功能往往更为显著。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 崔志潭,陈仲欣,黄璇英. 国人大脑半球脑沟的形态[J]. 解剖学报,1980,11(2):182.
- [2] BLACK DF, DELONE DR, KAUFMANN TJ, *et al.* Retrospective analysis of interobserver spatial variability in the localization of Broca's and Wernicke's areas using three different fMRI language paradigms[J]. J Neuroimaging,2014,25(4):626.
- [3] 闫家阁,马永臻. 胎脑额叶脑沟发育规律的研究[J]. 临沂医学专科学校学报,1999,21(3):161.
- [4] LINDENBERG R, FANGERAU H, SEITZ RJ. "Broca's area" as a collective term? [J]. Brain Lang,2007,102(1):22.
- [5] LIAKAKIS G, NICKEL J, SEITZ RJ. Diversity of the inferior frontal gyrus—a Meta-analysis of neuroimaging studies[J]. Behav Brain Res,2011,225(1):341.
- [6] SWICK D, ASHLEY V, TURKEN U. Are the neural correlates of stopping and not going identical quantitative meta-analysis of two

response inhibition tasks[J]. Neuroimage,2011,56(3):1655.

- [7] CAI W, RYALI S, CHEN T, *et al.* Dissociable roles of right inferior frontal cortex and anterior insula in inhibitory control: evidence from intrinsic and task-related functional parcellation, connectivity, and response profile analyses across multiple datasets[J]. J Neurosci,2014,34(44):14652.
- [8] CAI W, CANNISTRACI CJ, GORE JC, *et al.* Sensorimotor-independent prefrontal activity during response inhibition[J]. Hum Brain Map,2014,35(5):2119.
- [9] ARON AR, ROBBINS TW, POLDRACK RA. Inhibition and the right inferior frontal cortex:one decade on[J]. Trends Cogn Sci, 2014,8(4):170.
- [10] HAMPSHIRE A. A functional network perspective on response inhibition and attentional control[J]. Nat Commun,2014,5(5):4073.
- [11] ORBAN P, DOYON J, PETRIDES M, *et al.* The richness of task-evoked hemodynamic responses defines a pseudohierarchy of functionally meaningful brain networks. [J]. Cereb Cortex,2015,25(9):2658.
- [12] KOCH K, PAULY K, KELLERMANN T, *et al.* Gender differences in the cognitive control of emotion: an fMRI study [J]. Neuropsychologia,2007,45(12):2744.
- [13] HILL AC, LAIRD AR, ROBINSON JL. Gender differences in working memory networks: a brainMap meta-analysis [J]. Biol Psychol,2014,102(5):18.

( 本文编辑 卢玉清 )

( 上接第 234 页 )

- [4] THOMSEN HS, MORCOS SK, ALMEN T, *et al.* Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrastmedia: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines [J]. Eur Radiol,2013,23(2):307.
- [5] MIYAZAKI M, AKAHANE M. Non-contrast enhanced MR angiography:established techniques[J]. J Magn Reson Imaging, 2012;35(1):1.
- [6] 王冬梅,宋云龙,王萍,等. 下肢动脉 3.0T Delta-Flow 非增强磁共振血管成像的应用:与增强磁共振血管成像对照研究 [J]. 中国医学影像学杂志,2015,23(4):293.
- [7] MOHRS OK, PETERSEN SE, HEIDT MC, *et al.* High-resolution 3D noncontrast-enhanced, ECG-gated, multi-step MR angiography of the lower extremities: comparison with contrast-enhanced MR angiography[J]. Eur Radiol,2011,21(2):434.
- [8] PARTOVI S, RASMUS M, SCHULTE AC, *et al.* ECG-triggered non-enhanced MR angiography of peripheral arteries in comparison to DSA in patients with peripheral artery occlusive disease[J]. Magn Reson Mater Phy,2013,26(3):271.
- [9] BLEY TA, FRANCOIS CJ, SCHIEBLER ML, *et al.* Non-contrast

enhanced MRA of renal artery stenosis: validation against DSA in a porcine model[J]. Eur Radio,2016,26(2):547.

- [10] 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, 2010,28(1):181.
- [11] WARD EV, GALIZIA MS, USMAN A, *et al.* Comparison of quiescent inflow single-shot and native space for nonenhanced peripheral MR angiography[J]. J Magn Reson Imaging,2013,38(6):1531.
- [12] 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(3):e91078.
- [13] SCHUBERT T, TAKES M, ASCHWANDEN M, *et al.* Non-enhanced, ECG-gated MR angiography of the pedal vasculature: comparison with contrast-enhanced MR angiography and digital subtraction angiography in peripheral arterial occlusive disease [J]. Eur Radiol,2016,26(8):2705.

( 本文编辑 卢玉清 )