

# 三维单次扫描多组织对比序列和磁化强度 预备梯度回波序列诊断颈动脉斑块内 出血的对比研究

杜艳妮 杨利新 王艳阳 赵轶轲 李德彪 于薇

**【摘要】** 目的 以组织病理学为诊断金标准,评价 3D 单次扫描多组织对比序列(MATCH)与 3D 磁化强度预备梯度回波序列(MPRAGE)对颈动脉斑块内出血(IPH)的诊断效能。方法 2014 至 2015 年搜集经超声检查诊断为颈动脉狭窄 $>50\%$ 且拟行颈动脉内膜剥脱术患者 30 例,术前分别行 MATCH、MPRAGE 及 3D 时间飞跃法(TOF)序列扫描,扫描范围以颈动脉分叉为中心覆盖全部斑块。所采集的影像数据用 MRI-Plaque View 半自动软件对易损斑块的 IPH 进行分析,采用 Kappa 检验分析 MATCH 与 MPRAGE 序列及两个序列与病理比较的一致性;与病理相比较,计算两个序列的敏感度、特异度。对两个序列的 ROI 进行信噪比(SNR)、对比信噪比(CNR)及对比比率(CR)的计算,采用 Wilcoxon 秩和检验比较两个序列的 SNR、CNR、CR 的统计学差异。结果 30 例患者最终 602 个影像层面及相对应的 95 层病理图结果进行分析, MATCH 和 MPRAGE 序列对斑块内出血的检出有很好的的一致性(Kappa=0.773,  $P<0.05$ );以 95 层相对应层面病理作为金标准, MATCH 和 MPRAGE 序列分别与病理进行一致性分析,同样得到很好的一致性(Kappa 值分别为 0.778 和 0.685,  $P<0.05$ );MATCH 序列对于 IPH 诊断的敏感度和特异度为 93.2%(68/73)和 90.9%(20/22);MPRAGE 序列诊断 IPH 的敏感度和特异度分别为 87.7%(64/73)和 90.9%(20/22);3D MATCH 与 3D MPRAGE 的 SNR、CNR、CR 差异均有统计学意义,MPRAGE 图像上 SNR 与 CNR 高于 MATCH 序列,而 MATCH 的 CR 高于 MPRAGE。结论 与 MPRAGE 序列相比较, MATCH 序列对于斑块内出血具有同样的诊断效能。

**【关键词】** 磁共振成像; 颈动脉狭窄; 对比研究

基金项目:国家自然科学基金(81541126, 81071196);卫生公益性行业科研专项项目(201402019);北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划项目(2013-2-005)

**Carotid intraplaque hemorrhage imaging using MRI: comparison of the diagnostic performance between multi-contrast atherosclerosis characterization and magnetization-prepared rapid acquisition gradient-echo with histology** Du Yanni\*, Yang Lixin, Wang Yanyang, Zhao Yike, Li Debiao, Yu Wei. \*Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100029, China

Corresponding author: Yu Wei, Email: nxyw1969@163.com

**【Abstract】 Objective** To compare the diagnostic performance of multi-contrast atherosclerosis characterization (MATCH) and magnetization-prepared rapid acquisition gradient-echo (MPRAGE) for the detection of IPH with histologic analysis as the reference standard. **Methods** Thirty individuals were collected in this study. They were diagnosed to have carotid stenosis $>50\%$  by ultrasound and scheduled for carotid endarterectomy from 2014 to 2015. 3 T carotid MR examinations using MPRAGE, MATCH and 3D TOF were performed in these patients. Axial images covered all plaques and centered at the bifurcation of the carotid artery. All image data sets were processed on a semi-automatic software (MRI-Plaque View, VPDiagnostics, US) to analyze the component of IPH for vulnerable plaques. The consistency between

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.06.003

作者单位:100029 首都医科大学附属北京安贞医院影像科(杜艳妮、赵轶轲、于薇),血管科(王艳阳);首都医科大学附属北京儿童医院影像科(杨利新);美国洛杉矶加利福尼亚大学生物工程系(李德彪)

通信作者:于薇,Email:nxyw1969@163.com

MATCH and MPRAGE was analyzed by using Cohen Kappa analysis. Comparison of the two sequences to the pathological results was performed in a similar manner. The sensitivity and specificity of the two sequences were obtained. The SNR, CNR and contrast ratio (CR) of the two regions of interest were calculated and Wilcoxon rank sum test was used to compare the difference between the two methods. **Results** Among 30 patients, a total of 602 available sections and 95 corresponding histology specimens were included in the analysis. When all 602 available sections were included in the analysis, MATCH yielded good agreement with MPRAGE (Kappa=0.773) on the detection of IPH. With pathological specimens as the gold standard, moderate to good agreement was shown for both MATCH and MPRAGE (Kappa=0.778, 0.685). The sensitivity and specificity for the detection of IPH was 93.2% (68/73) and 90.9% (20/22) for MATCH. For MPRAGE, the sensitivity and specificity was 87.7% (64/73) and 90.9% (20/22) respectively. The difference between MATCH and MPRAGE was statistically significant for SNR, CNR and CR. That is to say, SNR and CNR of MPRAGE were higher than those of MATCH ( $P < 0.05$ ), while CR of MATCH was higher than that of MPRAGE ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Compared to the MPRAGE sequence, MATCH technique demonstrates similar diagnostic performance for the detection of IPH.

**【Key words】** Magnetic resonance imaging; Carotid stenosis; Comparative study

**Fund programs:** National Natural Science Foundation of China (81541126, 81071196); Research Special Fund for Health Public Service Funded Project (201402019); Beijing Health System High Level Health Technical Personnel Training Program (2013-2-005)

缺血性脑卒中已经成为危害人类健康的常见病和多发病,具有较高的致残率和病死率<sup>[1]</sup>。颈动脉易损斑块破裂、脱落及继发的血栓形成是导致脑血管事件的主要原因之一<sup>[2-4]</sup>。斑块内出血 (intraplaque hemorrhage, IPH) 是斑块不稳定的重要特征<sup>[5-6]</sup>。颈动脉多对比高分辨率 MRI (high resolution MRI, HR-MRI) 作为一种无创性检查方法对斑块成分的分析具有较高的敏感度和特异度,可以准确识别斑块内出血<sup>[6-10]</sup>。有研究者对缺血性脑卒中患者行 HR-MRI 增强扫描,通过对动脉硬化斑块的强化程度分析,评估斑块破裂及继发改变的风险<sup>[11]</sup>。近年来,3D 磁化强度预备梯度回波序列 (magnetization-prepared rapid acquisition gradient-echo, MPRAGE) 被认为可以快速准确评估斑块内出血或血栓<sup>[12-13]</sup>。最新研发的单次扫描多组织对比序列 (multi-contrast atherosclerosis characterization, MATCH), 作为 3D 快速扫描序列, 单次 5 min 扫描可获得包括 T<sub>1</sub>WI、灰血序列 (gray blood) 及 T<sub>2</sub>WI 3 个对比图像, 可以识别 IPH、脂质核心、钙化以及斑块的形态学特征<sup>[14]</sup>。本研究以组织病理学为金标准, 比较 MATCH 与 MPRAGE 序列对 IPH 的诊断效能。

## 资料与方法

### 一、临床资料

回顾性搜集我院 2014 至 2015 年血管科就诊并拟行颈动脉内膜剥脱术 (carotid endarterectomy, CEA) 患者 30 例, 男 25 例、女 5 例; 年龄 52 ~ 80 岁,

平均 (67±9) 岁; 其中合并高血压 23 例、糖尿病 14 例、高胆固醇血症 25 例、冠心病 14 例、吸烟 19 例; 临床表现为头晕 7 例, 头晕、黑矇 5 例, 头晕伴意识丧失 2 例, 头晕伴言语障碍 2 例, 头晕伴视力模糊 2 例, 肢体活动障碍 2 例, 肢体活动障碍伴言语障碍 1 例, 肢体麻木伴视物障碍 1 例, 一过性意识丧失 1 例。入组标准为颈部血管超声显示至少一侧颈动脉狭窄程度 > 50%; 排除标准为有 MRI 检查禁忌证及不能行 CEA 患者。

### 二、MRI 检查技术

CEA 术前患者常规行颈动脉 MRI, 采用德国 Siemens Magnetom Verio 3.0 T MR 扫描仪和标准 8 通道专用线圈, 固定患者下颌及头颈部, 扫描时嘱患者保持静止并尽量减少吞咽动作, 仰卧位头先进, 常规先行 3D 时间飞跃法 (TOF) 扫描定位, 以获得颈动脉分叉的准确位置, 后行 MATCH 与 MPRAGE 序列扫描。所有序列扫描参数如下, 3D TOF: TR 3.60 ms, TE 21.00 ms, 反转角 25°, 带宽 250 MHz, 层厚 1 mm, 矩阵 256×256, 激励次数 2。MATCH 序列: 采用 3D 扰相快速小角度激发 (3D FLASH) 脉冲, TR 3.73 ms, TE 917.00 ms, 反转角 12°, 带宽 150 MHz, 层厚 2 mm, 矩阵 256×256, 激励次数 2。MPRAGE 序列: TR 3.50 ms, TE 540.00 ms, 反转角 15°, 带宽 130 MHz, 层厚 2 mm, 矩阵 256×256, 激励次数 2。扫描以颈动脉分叉为中心上下扫描, 层厚 2 mm, MATCH 扫描 18 层, MPRAGE 扫描 32 层, 保证覆盖斑块全部。

### 三、MR 图像分析

图像质量评级采用 5 级评判原则: 1 级为差,

5级为优异,1级表示图像中颈动脉管腔和血管外界轮廓不清,信噪比(SNR)低,且有明显的运动伪影;5级表示图像中颈动脉管腔和血管外界轮廓清晰,SNR高,极少或无运动伪影<sup>[15]</sup>。图像质量<3级的排除。图像分析由2名接受过系统培训有MRI及病理图像阅读经验的诊断者来完成,采用双盲法来判定及分析,若意见不一,2名诊断者进一步讨论分析,最终以讨论的一致意见为准。

1.IPH定义标准:MATCH图像上IPH定义为在T<sub>1</sub>WI呈高亮信号,与低信号的斑块内其他成分及相邻组织形成明显的对比<sup>[14]</sup>。MPRAGE图像上IPH诊断标准参照以往文献定义为斑块信号高于周围肌肉的信号2倍以上<sup>[16]</sup>。MRI图像的后处理采用上海辰光公司半自动软件(MRI-Plaque View, VP Diagnostics, US)完成,描画管腔及管壁后手动勾画出MATCH及MPRAGE序列的高信号区。

2.SNR和对比噪声比(CNR)测定:分别在MATCH和MPRAGE序列测量IPH区域、正常管壁、管腔的信号以及噪声(无伪影空气区的信号),计算SNR、CNR及对比比率(CR)<sup>[17]</sup>。SNR=0.655S/SD<sub>air</sub>(S为IPH区域中的平均信号强度,SD<sub>air</sub>为视野边角上空气部分的信号标准差,被认定为噪声值。空气区域中避免有明显的伪影和滤波伪影,避免SNR计算的明显偏差<sup>[18]</sup>);CNR=(S<sub>IPH</sub>-S<sub>Lumen</sub>)/SD<sub>air</sub>(S<sub>IPH</sub>为斑块内出血的信号值,S<sub>Lumen</sub>为管腔的信号值);CR指IPH区域与相对正常管壁信号差异的比率,计算公式为CR=(S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>)/S<sub>2</sub>(S<sub>1</sub>为IPH的信号值,S<sub>2</sub>为相对正常管壁的信号值<sup>[12,14]</sup>)。

#### 四、病理分析

取CEA后完整颈动脉标本,垂直于颈动脉长轴将标本切成4 mm的片段,标记颈动脉分叉;将颈动脉标本浸泡在10%的福尔马林缓冲液里4 h;然后浸泡在10%的甲酸中脱钙。处理后用石蜡包埋,每个蜡块连续切成4 μm的切片;后行HE染色及Masson染色。组织病理学切片采用双盲的原则进行分析,最终由病理科专家判定斑块性质及成分并作为金标准,对IPH的存在与否及位置做记录。对于不完整中断的斑块病理图,以尚存在的标本为参照,评估斑块内出血成分。

#### 五、MR图像与病理图像的匹配

以颈动脉分叉处层面为主要匹配的因素,MR图像层厚为2 mm,病理切片间隔为4 mm,相邻两层MR图像对应一层病理图;并参考管腔形态、面积等形态学标志和斑块内容物(大面积出血)位置

等进行次要匹配,经调整后,MATCH、MPRAGE图像与病理图层面均匹配良好者纳入研究。

#### 六、统计学方法

采用SPSS18.0统计软件进行分析。采用Kappa检验分析两个序列及两个序列与病理比较的一致性,计算敏感度、特异度;SNR、CNR及CR因不符合正态分布以中位数±四分位间距(M±Q)表示,两种序列间各参数的比较采用Wilcoxon秩和检验。Kappa≥0.75为两者一致性很好,Kappa<0.40为两者一致性较差。P<0.05为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、图像分析基本情况

30例(单侧23例,双侧7例)患者入组,具有明显粥样硬化斑块及斑块内出血的血管37条,共计666层MR图像,在图像上逐层进行分析,因图像质量<3级或匹配不佳排除64层,602层图像最后纳入分析;其中95层有相匹配的病理图。30例中,1例未见IPH,29例出现IPH。IPH在MATCH及MPRAGE序列的信号及病理特征见图1~4。

### 二、两种技术对出血的检出一致性及与病理对照

602层图像中,MATCH序列234层有IPH,MPRAGE序列195层有IPH(表1),两者判断IPH的一致性很好(Kappa=0.773,P<0.05)。以病理为金标准,对95层相对应层面进行比较分析,MATCH序列诊断IPH的敏感度、特异度及Kappa值分别为93.2%、90.9%及0.778;MPRAGE序列的敏感度、特异度及Kappa值分别为87.7%、90.9%及0.685(表2);MATCH、MPRAGE序列与病理均有较好的一致性,MATCH的敏感性较高。此外,本研究中发现2例假阳性病例,在MR的两个序列图像上均表现为较大面积的高信号,在病理相应层面上则为大量新生血管。

表1 MATCH、MPRAGE序列对IPH的显示情况(层)

MPRAGE序列	MATCH序列		合计
	IPH	无IPH	
IPH	183	12	195
无IPH	51	356	407
合计	234	368	602

注: MATCH序列;3D单次扫描多组织对比序列;MPRAGE序列;3D磁化强度预备梯度回波序列;IPH:斑块内出血

表2 MATCH、MPRAGE序列显示IPH与病理的比较(层)

病理	MATCH序列		合计	MPRAGE序列		合计
	IPH	无IPH		IPH	无IPH	
IPH	68	5	73	64	9	73
无IPH	2	20	22	2	20	22
合计	70	25	95	66	29	95

注: MATCH序列: 3D单次扫描多组织对比序列; MPRAGE序列: 3D磁化强度预备梯度回波序列; IPH: 斑块内出血

### 三、SNR、CNR和CR比较

选择在MATCH及MPRAGE图像上均有IPH的183层图像, MPRAGE图像上SNR与CNR高于MATCH序列, 而MATCH的CR高于MPRAGE(表3)。

表3 MATCH与MPRAGE序列183层图像的SNR、CNR及CR比较(M±Q)

扫描序列	SNR	CNR	CR
MATCH	60.7±71.0	76.2±93.7	4.2±3.8
MPRAGE	150.4±144.5	154.9±198.4	1.1±1.0
Z值	-9.7	-7.9	-13.7
P值	<0.01	<0.01	<0.01

注: MATCH序列: 3D单次扫描多组织对比序列; MPRAGE序列: 3D磁化强度预备梯度回波序列; M±Q: 中位数±四分位间距; SNR: 信噪比; CNR: 对比噪声比; CR: 对比比率

### 讨论

本研究结果表明, 以病理为金标准, MATCH与MPRAGE序列对于斑块内出血的检出具有同样诊断价值。MPRAGE作为重T<sub>1</sub>加权序列, 能抑制相对长T<sub>1</sub>弛豫的斑块其他成分, 从而易识别呈高信号的高铁血红蛋白(IPH), 并与周围组织形成良好对比<sup>[5]</sup>, 其检测斑块内出血准确性和可靠性已在众多的研究中得到证实。Moody等<sup>[7]</sup>在1.5 T MR上用3D MPRAGE序列评价有IPH的复杂斑块, 并与病

理比较, 敏感度和特异度均为84%。Bitar等<sup>[19]</sup>研究小组对在MPRAGE上显示有高信号的斑块与CEA术后病理进行对照研究, 结果表明斑块内出血检出的敏感度为97%、特异度为84%及Kappa值为0.75。随后, Ota等<sup>[12]</sup>对MPRAGE与病理行对照研究, 在剔除影响MR判断的因素(小面积IPH及严重钙化的斑块等)后, 敏感度、特异度及Kappa值分别为80%、97%、0.80。本研究中MPRAGE对IPH检出的敏感度87.7%、特异度90.9%及一致性0.685, 与国外研究结果一致。

本研究采用的MATCH以单次仅5 min扫描获得多对比图像为特点, 得到T<sub>1</sub>\*WI、灰血序列及T<sub>2</sub>WI 3组不同组织对比的图像<sup>[14]</sup>。其中T<sub>1</sub>\*WI以超重T<sub>1</sub>加权为基础, IPH表现为高亮信号, 与斑块中其他成分及周围被抑制的组织形成鲜明的对比, 再结合T<sub>2</sub>WI图, 近期斑块内出血在T<sub>2</sub>WI上为高信号, 急性期表现为等信号。通过与病理进行比较分析, 敏感度、特异度及一致性均取得良好的结果。研究结果证实MATCH序列可以作为评价斑块内出血的可靠方法。MATCH序列的优势还在于可以同时获得灰血图像用于识别斑块内钙化; T<sub>2</sub>WI提供斑块的整体形态学特点, 并连同T<sub>1</sub>\*WI图像一起有助于判定IPH的不同时期。未来, MATCH序列单次多对比图像在动脉粥样硬化斑块中的各成分判定中的价值有待进一步研究。

从病理的比较结果来看, MATCH诊断出血的一致性和敏感度略高于MPRAGE, 这可能是由于部分图像反转脉冲时间选择不合理从而使MPRAGE图像CR值较低有关。MPRAGE序列重复时间及回波时间均较短, 只有反转脉冲时间选择合适, 才能很好地形成重T<sub>1</sub>加权像。MATCH序列T<sub>1</sub>\*WI图像的CR明显高于MPRAGE, 斑块内出血与周围非出血血管壁的对比十分明显, 极易识别出血的部分,

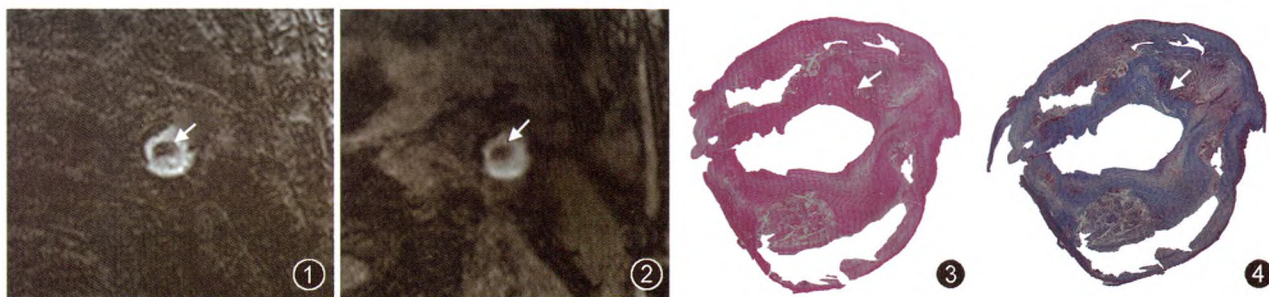


图1~4 男, 58岁, 间断头晕2年, 伴黑矇2次。3D单次扫描多组织对比(MATCH)序列中T<sub>1</sub>\*WI显示斑块内出血(IPH)呈明显高亮信号(图1, ↑), 与周围组织形成良好对比; 3D磁化强度预备梯度回波(MPRAGE)序列显示IPH呈高信号, 高于周围肌肉信号两倍以上(图2, ↑); 病理图片(图3, HE ×10; 图4, Masson染色 ×10)显示大的脂质坏死核心中有IPH(↑)

从而凸显了MATCH对于颈动脉斑块内出血识别的优势。另一个原因可能由于小面积出血或者斑块的严重钙化影响了IPH在MPRAGE图像上的显示<sup>[12]</sup>。

然而,对图像SNR及CNR的结果显示,MPRAGE序列的SNR及CNR均高于MATCH,且差异有统计学意义。我们考虑可能是由于MATCH序列短时间单次扫描且获得3个对比图像,T<sub>1</sub>WI在序列设计上着重显示斑块内出血,对其他成分和背影的抑制导致SNR及CNR降低。但MATCH中其他两个对比(T<sub>2</sub>WI及灰血)具有较高的信噪比,可以有效地补充斑块整体的形态学的观察。

本研究尚存在一些局限性。首先,本研究为计数资料的对照研究,对于斑块内出血面积尚未进行直接定量研究。此外,研究中发现的2例假阳性,这种现象表明新生血管内红细胞所含血红蛋白可能会导致重T<sub>1</sub>加权效应<sup>[5]</sup>,有待更多的病理研究证实。

综上所述,针对斑块内出血,MATCH与MPRAGE具有相同的诊断效能。尽管近期发表的文献表明MATCH具有扫描时间短<sup>[14]</sup>,周围组织成分的良好对比,IPH易被识别,使诊断者经验依赖性降低的优势,但这一结果的可重复性、有效性和临床的价值有待多中心研究证实。随着技术的发展及不断积累的临床经验,MATCH很有潜力成为评估颈动脉易损斑块成分及斑块破裂危险分层的可靠新技术。

**利益冲突** 本研究过程和结果均未受到相关设备、材料、药品企业的影响

## 参 考 文 献

- [1] Murray CJ, Lopez AD. Mortality by cause for eight regions of the world: global burden of disease study[J]. *Lancet*, 1997,349(9061):1269-1276. DOI: 10.1016/S0140-6736(96)07493-4.
- [2] Moreno PR, Purushothaman KR, Fuster V, et al. Plaque neovascularization is increased in ruptured atherosclerotic lesions of human aorta: implications for plaque vulnerability [J]. *Circulation*, 2004,110(14):2032-2038. DOI: 10.1161/01.CIR.0000143233.87854.23.
- [3] Virmani R, Kolodgie FD, Burke AP, et al. Atherosclerotic plaque progression and vulnerability to rupture: angiogenesis as a source of intraplaque hemorrhage[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2005,25(10):2054-2061. DOI: 10.1161/01.ATV.0000178991.71605.18.
- [4] Daskalopoulou SS, Daskalopoulos ME, Perrea D, et al. Carotid artery atherosclerosis: what is the evidence for drug action?[J]. *Curr Pharm Des*, 2007,13(11):1141-1159.
- [5] Murphy RE, Moody AR, Morgan PS, et al. Prevalence of complicated carotid atheroma as detected by magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with suspected carotid artery stenosis and previous acute cerebral ischemia

- [6] Gury-Paquet L, Millon A, Salami F, et al. Carotid plaque high-resolution MRI at 3 T: evaluation of a new imaging score for symptomatic plaque assessment[J]. *Magn Reson Imaging*, 2012,30(10):1424-1431. DOI: 10.1016/j.mri.2012.04.024.
- [7] Moody AR, Murphy RE, Morgan PS, et al. Characterization of complicated carotid plaque with magnetic resonance direct thrombus imaging in patients with cerebral ischemia[J]. *Circulation*, 2003,107(24):3047-3052. DOI: 10.1161/01.CIR.0000074222.61572.44.
- [8] Saam T, Ferguson MS, Yarnykh VL, et al. Quantitative evaluation of carotid plaque composition by in vivo MRI[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2005,25(1):234-239. DOI: 10.1161/01.ATV.0000149867.61851.31.
- [9] Chu B, Kampschulte A, Ferguson MS, et al. Hemorrhage in the atherosclerotic carotid plaque: a high-resolution MRI study [J]. *Stroke*, 2004,35(5):1079-1084. DOI: 10.1161/01.STR.0000125856.25309.86.
- [10] Yuan C, Mitsumori LM, Ferguson MS, et al. In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques[J]. *Circulation*, 2001,104(17):2051-2056.
- [11] 杨万群,黄飏,梁长虹,等.缺血性卒中患者颅内动脉硬斑块强化特征的高分辨MRI研究[J].*中华放射学杂志*,2014,(6):462-466. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.06.006.
- [12] Ota H, Yarnykh VL, Ferguson MS, et al. Carotid intraplaque hemorrhage imaging at 3.0-T MR imaging: comparison of the diagnostic performance of three T<sub>1</sub>-weighted sequences[J]. *Radiology*, 2010,254(2):551-563. DOI: 10.1148/radiol.09090535.
- [13] Mendes J, Parker DL, Kim SE, et al. Reduced blood flow artifact in intraplaque hemorrhage imaging using CineMPRAGE[J]. *Magn Reson Med*, 2013,69(5):1276-1284. DOI: 10.1002/mrm.24354.
- [14] Fan Z, Yu W, Xie Y, et al. Multi-contrast atherosclerosis characterization (MATCH) of carotid plaque with a single 5-min scan: technical development and clinical feasibility[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2014,16:53. DOI: 10.1186/s12968-014-0053-5.
- [15] Kerwin WS. Carotid artery disease and stroke: assessing risk with vessel wall MRI[J]. *ISRN Cardiol*, 2012,2012:180710. DOI: 10.5402/2012/180710.
- [16] Park JS, Kwak HS, Lee JM, et al. Association of carotid intraplaque hemorrhage and territorial acute infarction in patients with acute neurological symptoms using carotid magnetization-prepared rapid acquisition with gradient-echo [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2015,57(2):94-99. DOI: 10.3340/jkns.2015.57.2.94.
- [17] Kaufman L, Kramer DM, Crooks LE, et al. Measuring signal-to-noise ratios in MR imaging[J]. *Radiology*, 1989,173(1):265-267. DOI: 10.1148/radiology.173.1.2781018.
- [18] 王龙辰,金玮,李逸明,等.3.0T磁共振相控阵线圈信噪比计算方法的定量对比研究[J].*中国医疗器械杂志*,2013,(1):10-13. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7104.2013.01.003.
- [19] Bitar R, Moody AR, Leung G, et al. In vivo 3D high-spatial-resolution MR imaging of intraplaque hemorrhage [J]. *Radiology*, 2008,249(1):259-267. DOI: 10.1148/radiol.2491071517.

(收稿日期:2016-11-17)

(本文编辑:张琳琳)