

2 型糖尿病并缺血性脑卒中患者颅内动脉管壁高分辨磁共振成像技术的临床应用研究

谢佩含¹, 刘进才¹, 周宏¹, 杨娟¹, 卿伟鹏¹, 易善清², 游咏²

(南华大学附属第一医院 1.放射科,2.神经内科,湖南省衡阳市 421001)

[关键词] 2 型糖尿病; 缺血性脑卒中; 高分辨磁共振成像; 颅内动脉; 动脉粥样硬化

[摘要] **目的** 探讨高分辨磁共振成像(HR-MRI)技术(含 3D T1-VISTA)对 2 型糖尿病(T2DM)合并缺血性脑卒中患者颅内动脉管壁成像的临床应用价值。**方法** 收集我院临床初步诊断缺血性脑卒中或短暂性脑缺血发作 95 例患者的高清磁共振影像资料,排除图像质量不佳以及扫描层面倾斜无法进行数据测量的病例,共计 46 例患者的图像纳入最终分析。将病人分为 T2DM 组(17 例)、非 T2DM 组(29 例),分别测量右侧大脑中动脉(MCA)、左侧 MCA、基底动脉(BA)的管壁情况。**结果** HR-MRI 可以清晰显示颅内动脉管壁情况。MCA 斑块以下壁居多;BA 斑块以左侧壁最多见,其次为腹侧壁。3D T1-VISTA 可明确显示小斑块存在。T2DM 组和非 T2DM 组比较,右侧 MCA 的管腔面积(LA) ($P=0.003$)、管壁面积/管腔面积(WA/LA)比值($P=0.018$)及左侧 MCA 的 WA/LA 比值($P=0.015$)之差异具有统计学意义。**结论** HR-MRI 技术可以清楚显示 T2DM 并缺血性脑卒中患者颅内动脉管壁细节,能够发现动脉粥样硬化所致管壁增厚,鉴别脑梗死责任血管的斑块或血栓,可早期发现颅内血管病变。

[中图分类号] R445.2

[文献标识码] A

Clinical Application of High Resolution Magnetic Resonance Imaging for Intracranial Artery Wall in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus Complicated with Ischemic Stroke

XIE Pei-Han¹, LIU Jin-Cai¹, ZHOU Hong¹, YANG Juan¹, QING Wei-Peng¹, YI Shan-Qing², and YOU Yong²

(1.Department of Radiology, 2.Department of Neurology, the First Affiliated Hospital, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

[KEY WORDS] Type 2 Diabetes Mellitus; Ischemic Stroke; High Resolution Magnetic Resonance Imaging; Intracranial Artery; Atherosclerosis

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the application value of high resolution magnetic resonance imaging (HR-MRI) including 3D T1-VISTA sequence for intracranial artery wall imaging in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) complicated with ischemic stroke. **Methods** High definition magnetic resonance imaging data of 95 patients with ischemic stroke or transient ischemic attack were collected in our hospital. Some cases were excluded, because the poor image quality or scanning level tilt which might lead to unsatisfactory data measurement, and a total of 46 patients were included in the final analysis of the image data. The patients were divided into two groups: 17 cases in T2DM group, 29 cases in non-T2DM group. The vessel wall parameters of the right middle cerebral artery (MCA), left MCA, and basilar artery (BA) were measured. **Results** HR-MRI could clearly show the intracranial arterial wall. MCA plaques were mostly located in the inferior wall of vessel. BA plaques were mostly located in the left wall of vessel, next to the abdominal wall. 3D T1-VISTA could clearly show the existence of small plaques. In comparison between T2DM group and non-T2DM group, the differences of luminal area (LA) ($P=0.003$), wall area/luminal area (WA/LA) ratio ($P=0.018$) in right MCA and WA/LA ratio ($P=0.015$) in left MCA were statistically significant. **Conclusions** HR-MRI can clearly show the intracranial arterial wall detail in patients with T2DM complicated with ischemic stroke. It can find the wall

[收稿日期] 2016-06-12

[修回日期] 2016-07-21

[基金项目] 湖南省教育厅科学研究重点项目(14A126);衡阳市科学技术发展计划项目应用基础研究计划(2015KJ40)

[作者简介] 谢佩含,硕士研究生,住院医师,研究方向为磁共振新技术的临床应用,E-mail 为 1183296346@qq.com。通讯作者刘进才,主任医师,教授,研究方向为磁共振新技术的临床应用,E-mail 为 liujincai6353@163.com。周宏,博士研究生,主治医师,研究方向为磁共振新技术的临床应用。

thickening caused by atherosclerosis, and identify the plaque or thrombosis of responsible vessel in cerebral infarction.

HR-MRI can early detect the intracranial vascular lesions.

糖尿病是一种常见的慢性代谢性疾病。糖尿病患者动脉粥样硬化(atherosclerosis, As)发病率较非糖尿病患者明显增高。近年来研究表明,大多数2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者死于As并发症^[1]。颅内动脉粥样硬化性疾病(intracranial atherosclerotic disease, ICAD)是导致缺血性脑卒中最常见的原因^[2]。最新研究表明,运用三维容积各向同性快速自旋回波序列(three-dimensional volumetric isotropic turbo spin echo acquisition, 3D-VISTA)具有高信噪比,其判断大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)狭窄率与数字减影血管造影有良好的一致性,并且可以清楚显示管腔及管壁情况^[3-4]。本研究运用T1加权三维各向同性快速自旋回波序列(T1WI volumetric isotropic turbo spin echo acquisition, T1-VISTA)高分辨磁共振技术显示双侧MCA、基底动脉(basilar artery, BA)管壁情况以及相关影像特点,探讨3D T1-VISTA对T2DM合并ICAD的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集2015年5月至2016年2月我院临床初步诊断缺血性脑卒中或短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)患者95例,其中男性68例,女性27例,年龄38~88岁,告知患者磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查相关事项,签知情同意书。入选标准:临床初步诊断为缺血性脑卒中或TIA。排除标准:颅内肿瘤、颅内动脉瘤、脑血管畸形(动静脉畸形、海绵状血管瘤、静脉畸形等)。

1.2 检查方法

采用飞利浦Achieva 3.0 T超导磁共振8通道头部线圈行3D T1-VISTA、DWI(b值分别为0 mm²/s和1000 mm²/s)、3D-TOF-MRA、高清T2WI、轴位T1W-SE、T2W-TSE序列扫描。扫描序列及参数如下:(1)3D T1-VISTA序列:TR/TE=500 ms/18 ms, FOV:190 mm×190 mm×56 mm, 矩阵:316×317, 扫描时间:7 min 57 s。(2)DWI序列:TR/TE=2194 ms/84 ms, FOV:230 mm×230 mm×125 mm, 矩阵:152×121, 扫描时间:46 s。(3)3D-TOF-MRA:TR/TE=25 ms/3.5 ms, FOV:200 mm×200 mm×100 mm, 矩阵:

572×290, 扫描时间:9 min 8 s。(4)高清T2WI:TR/TE=3000 ms/53 ms, FOV:180 mm×200 mm×83 mm, 矩阵:360×398, 扫描时间:11 min。(5)T1W-SE:TR/TE=600 ms/10 ms, FOV:230 mm×183 mm×143 mm, 矩阵:256×163, 扫描时间:4 min 58 s。(6)T2W-TSE:TR/TE=3000 ms/80 ms, FOV:230 mm×184 mm×143 mm, 矩阵:400×255, 扫描时间:3 min 36 s。

1.3 图像后处理技术

原始数据导入MRI Systems Achieva Release 2.6.3.5工作站进行3D T1-VISTA多平面重建:针对MCA以及BA走行特点,选择垂直于双侧MCA距同侧大脑前动脉A1段起始部10 mm左右位置、BA小脑上动脉起始部下方10 mm左右位置为主要重建区域。多平面重建参数:层厚:0.4 mm, 层间距:-0.2 mm。使用工作站进行管壁数据测量,包含右侧MCA、左侧MCA、BA,单位为mm²。

1.4 图像分析

由两位放射诊断中、高级技术职称医师独立在工作站上进行图像观察分析,将重建后图像放大适宜倍数,将MCA管壁与脑脊液交界处定义为血管外边界,将血液与内膜交界点定义为血管内边界^[5]。判断动脉管壁是否增厚,测量血管面积(vessel area, VA)、管腔面积(luminal area, LA)、管壁面积(wall area, WA)、WA/LA比值等,存在异议时通过讨论达成一致。

1.5 图像质量评定

参照李克特量表(Likert scale)^[6]对图像质量分级。按照1~5分评定:非常满意(5分)、满意(4分)、一般(3分)、不满意(2分)、非常不满意(1分)。评分<3分的图像予以舍弃。

1.6 管壁结构分析标准

正常脑血管高分辨磁共振成像(high-resolution magnetic resonance imaging, HR-MRI)显示管壁菲薄或不可见,管壁厚度>1 mm提示增厚^[7]。斑块定义:局限性的偏心管壁增厚,最厚处超过管壁最薄处1.5倍以上^[7]。斑块分析标准:沿血管外周画正方形,连接两条对角线分成4个象限,MCA分为腹侧壁、背侧壁、上壁及下壁,BA分为腹侧壁、背侧壁、左侧壁及右侧壁,观察斑块位置、形态、信号、厚度等。若斑块覆盖范围>1个象限,则以斑块面积较大部分所处象限判定为斑块位置,斑块覆盖范围≥3

个象限定为环形斑块^[8]。以临近脑实质信号为参考,斑块信号分为等信号、稍低/低信号、稍高/高信号、混杂信号等。

1.7 统计学分析

图像测量者、数据统计及临床资料采集人员之间保持互盲。采用 IBM SPSS 22.0 软件完成数据处理、统计分析,计量资料符合正态分布,以 $\bar{x}\pm s$ 表示,计数资料采用频数、百分比表示。T2DM 组和非 T2DM 组 LA、VA、WA、WA/LA 比值的比较采用独立样本 *t* 检验,采用双侧检验, $P<0.05$ 为差异具有显著性。

2 结果

2.1 入选病例一般情况

最终入选患者 46 例,男性 30 例,女性 16 例,平均年龄 62.96 ± 11.55 岁,其中新发缺血性脑卒中 39 例(84.8%),T2DM 17 例(37.0%),高血压 33 例(71.7%),高脂血症 11 例(23.9%),吸烟 16 例(34.8%)。

2.2 图像质量

参照李克特量表对图像质量分级^[6](表 1),21 例因缺失图像及评分 <3 分的图像予以舍弃。28 例患者图像因扫描层面倾斜无法进行数据测量而被排除。最终共有 46 例患者的图像适合进行参数测量及定量分析而纳入最终分析。HR-MRI 各序列合格图像率均较高,由于扫描序列先后不同以及患者耐受情况,出现常规 T1WI 及 T2WI 扫描成功率较 DWI 序列低的现象,但仍然可以达到长时间扫描高清序列的图像合格率。

表 1. 缺血性脑卒中或 TIA 患者 HR-MRI 图像质量情况(例)

Table 1. HR-MRI imaging quality in patients with ischemic stroke or TIA (cases)

项 目	李克特评分					图像 不完善	图像 合格率
	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分		
T1-VISTA	2	10	13	10	51	9	77.89%
高清 T2WI	2	16	13	15	43	6	74.74%
3D-TOF-MRA	1	2	5	11	76	0	74.74%
DWI	0	0	1	18	76	0	100.0%
T1W	3	7	28	10	41	6	83.16%
T2W	6	13	21	10	40	5	74.74%

2.3 HR-MRI 血管壁成像

纳入分析的 46 例患者中,有 19 例患者发现 21

处斑块,呈等信号 11 处,稍低/低信号 8 处,稍高/高信号 1 处,混杂信号 1 处。斑块最小厚度 0.6 mm,最大厚度 16 mm。其中 4 处位于右侧 MCA,3 处位于左侧 MCA,12 处位于 BA,1 处位于右侧大脑后动脉 P1 段下壁,1 处位于左侧大脑后动脉 P1 段下壁。MCA 斑块大多位于 M1 段(水平段),1 例位于血管上壁,1 例位于背侧壁,4 例位于下壁,1 例位于腹侧壁;BA 斑块多位于血管中上段,1 例位于背侧壁,4 例位于腹侧壁,5 例位于左侧壁,1 例位于右侧壁,1 例为环形斑块(图 1)。MCA 斑块以下壁居多;BA 斑块以左侧壁最多见,其次为腹侧壁。在 19 例伴有颅内动脉斑块患者中,T2DM 患者 8 例,非 T2DM 患者 11 例。

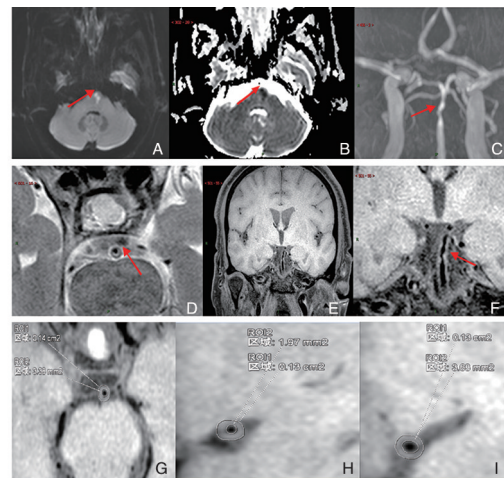


图 1. BA、MCA 的 HR-MRI 图 A、B 为桥脑左侧急性脑梗死;C、D、E、F 依次为 3D TOF-MRA、高清 T2WI、T1-VISTA 图像以及放大适当倍数后显示 BA 的 T1-VISTA 图像,3D TOF-MRA 示责任血管 BA 局部明显狭窄,高清 T2WI 示 BA 背侧壁新月形斑块附着,长 T2 信号,T1-VISTA 示 BA 多处管壁增厚,并直观显示斑块的位置、大小、形态及信号特点;G、H、I 为选择垂直于 BA 小脑上动脉起始部下方 10 mm 左右位置、双侧 MCA 距同侧大脑前动脉 A1 段起始部 10 mm 左右位置重建 3D T1-VISTA 图像,分别测量 BA、右侧 MCA、左侧 MCA 血管面积和管腔面积。

Figure 1. HR-MRI image of BA and MCA

纳入分析的 46 例患者中,右侧 MCA 的 LA、VA 为 7.43 ± 2.08 mm²、 18.09 ± 3.20 mm²,左侧 MCA 的 LA、VA 为 7.41 ± 1.65 mm²、 18.32 ± 3.56 mm²,BA 的 LA、VA 为 7.94 ± 3.43 mm²、 21.25 ± 4.98 mm²。管壁面积计算:WA = VA-LA,右侧 MCA、左侧 MCA、BA 对应的管壁面积分别为 10.67 ± 2.19 mm²、 10.91 ± 2.38 mm²、 13.31 ± 2.82 mm²。右侧 MCA、左侧 MCA、BA 对应的 WA/LA 比值分别为 1.63 ± 0.96 、 1.52 ± 0.36 、 2.04 ± 1.45 。

2.4 3D T1-VISTA 成像与 MRA 比较

比较 46 例患者 3D T1-VISTA 与 MRA 图像,发现其中 3 例患者 MRA 显示正常或可疑狭窄,而 3D T1-VISTA 可明确显示小斑块存在(图 2)。MRA 显示颅内整体血管的狭窄情况具有一定优势,但

MRA 背景抑制较差,大多斑块 T1WI 信号相对较高,可能掩盖了 MRA 最大密度投影图像上的信号丢失,此外载体动脉如果出现正性重构也可能不会引起可识别的管腔狭窄。

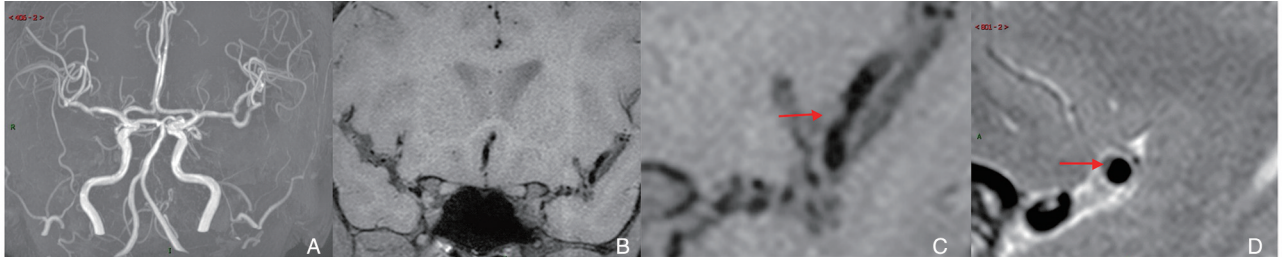


图 2. 3D T1-VISTA 成像与 3D-TOF MRA 比较 A 为 3D-TOF MRA, 颅内动脉主干及大分支未见管腔狭窄; B、C 为 3D T1-VISTA, 清楚显示左侧 MCA 斑块伴管壁增厚, 管腔轻度狭窄; D 为高清 T2WI, 显示左侧 MCA 腹侧壁可见新月形小斑块, 呈等信号。

Figure 2. Comparison between 3D T1-VISTA imaging and 3D-TOF MRA

2.5 T2DM 及非 T2DM 颅内血管重建区域血管参数比较

T2DM 组($n=17$)和非 T2DM 组($n=29$)血管参数比较,两组右侧 MCA 的 LA、WA/LA 比值存在显著性差异($P<0.05$),两组左侧 MCA 的 WA/LA 比值存在显著性差异($P=0.015$),两组 BA 的 LA、VA、WA、WA/LA 比值没有显著性差异(表 2)。

表 2. T2DM 组及非 T2DM 组血管参数比较

Table 2. Comparison of vessel parameters between T2DM group and non-T2DM group

血管参数	T2DM 组	非 T2DM 组	<i>t</i>	<i>P</i>
右侧 MCA				
LA(mm^2)	6.28±2.00	8.15±1.82	3.205	0.003
VA(mm^2)	17.82±3.84	18.26±2.80	0.435	0.666
WA(mm^2)	11.54±2.72	10.11±1.60	-1.971	0.061
WA/LA	2.16±1.35	1.29±0.30	-2.624	0.018
左侧 MCA				
LA(mm^2)	7.15±1.90	7.55±1.51	0.770	0.446
VA(mm^2)	18.94±4.34	17.96±3.06	-0.869	0.390
WA(mm^2)	11.78±2.62	10.41±2.13	-1.893	0.065
WA/LA	1.70±0.32	1.42±0.35	-2.528	0.015
BA				
LA(mm^2)	8.41±3.61	7.68±3.36	-0.677	0.502
VA(mm^2)	22.25±5.77	20.68±4.49	-1.006	0.320
WA(mm^2)	13.84±3.25	13.00±2.55	-0.950	0.348
WA/LA	1.90±1.00	2.11±1.67	0.457	0.650

3 讨论

近年来,我国糖尿病患病率呈快速增长趋势,

研究^[9-10]发现糖尿病、高血压、血脂异常以及吸烟等为斑块形成的常见危险因素。在中国,33%~50%脑卒中和 50%以上的 TIA 存在症状性动脉粥样硬化性颅内动脉狭窄^[11-12]。颅内动脉狭窄是脑血管疾病的重要病因,其中 As 导致的狭窄最为常见,粥样斑块的形成和破裂往往是诱发缺血性脑卒中的直接原因^[13-15],因此,开展颅内 As 的研究在我国有非常重要的临床意义。

由于颅内动脉位置深、管径小、走行迂曲、血流状态复杂等因素,常规的检查方法难以获得满意的图像。近年来,随着高场强磁共振扫描技术的进步,HR-MRI 技术已广泛应用于临床。该技术主要通过“黑血”与“亮血”技术显示管壁情况及管腔狭窄程度。但常规 HR-MRI 无法克服由于颅内血管的过于迂曲引起的血管狭窄程度被高估,对管壁厚度的评价存在偏倚^[16],而 3D T1-VISTA 具有各向同性体素,可以通过减少部分容积效应更清楚显示颅内血管管壁情况,并且可以进行任何平面的图像重建,全方位展示管腔及管壁情况,最大限度地减少因血管迂曲导致的对管壁厚度的高估。

本研究结果表明,3D T1-VISTA 可以清楚地显示 BA、MCA 以及大脑后动脉主干的管壁增厚程度、斑块位置、形态、信号、厚度等。正常人的颅内血管壁薄或不显示,而 As 患者的动脉管壁常有不同程度增厚,本研究结果显示 T2DM 组和非 T2DM 组双侧 MCA 的 WA/LA 比值、右侧 MCA 的 LA 具有统计学差异,说明 T2DM 患者较非 T2DM 患者更容易出现管壁增厚,从而导致 ICAD。但两组右侧 MCA 的

VA、WA,左侧 MCA 的 LA、VA、WA 以及 BA 的 WA、LA、VA、WA/LA 比值无显著差异,可能是由于 LA 减小不明显或者本研究中选择样本量较少所致,或者 BA 较其他颅内动脉管径大,以致比值差异性不明显。在 19 例伴有颅内动脉斑块患者中,T2DM 患者 8 例,非 T2DM 患者 11 例。BA 斑块以左侧壁最多见,其次为腹侧壁;MCA 斑块则以下壁居多。

虽然 MRA 对显示颅内外整体血管的狭窄情况具有一定优势,但 MRA 背景抑制较差,大多斑块 T1WI 信号相对较高,从而掩盖了 MRA 最大密度投影图像上的信号丢失。通过比较 3D T1-VISTA 与 MRA 图像,本研究发现 3 例患者 MRA 显示正常或可疑狭窄,而 3D T1-VISTA 显示小斑块存在,这对临床诊断早期动脉粥样硬化有参考价值。

3D T1-VISTA 成像时间长,部分患者不能坚持,易产生运动伪影。3D T1-VISTA 虽能够清楚观察斑块信号、形态,但由于无法进行病理学对照,根据斑块信号特点判定斑块的成分存在一定的局限性,现多采用颈动脉的研究结果推断颅内动脉斑块成分及纤维帽的情况^[17-18]。本研究组下一步将对动脉粥样硬化患者行 T1-VISTA 增强扫描,观察斑块强化特征,并总结影像改变,以建立优化的 HR-MRI 扫描方案。

综上所述,3D T1-VISTA 序列通过任意平面重建,能够清晰显示血管壁及斑块情况,同时也能显示 MRA 难以发现的小斑块。3D T1-VISTA 序列观察到 T2DM 组双侧 MCA 主干较非 T2DM 组具有更大的 WA/LA 比值,证实 T2DM 可能与颅内动脉粥样硬化性狭窄有密切关系。3D T1-VISTA 序列成像是基础成像序列的有益补充,提高了对糖尿病患者脑动脉粥样硬化病变检出和评价的准确性。融合 3D T1-VISTA 的 HR-MRI 技术可以用于糖尿病相关 As 的早期诊断,有助于临床早发现、早干预、早治疗,因此具有广阔的临床应用前景。

[参考文献]

[1] An Y, Zhang P, Wang J, et al. Cardiovascular and all-cause mortality over a 23-year period among Chinese with newly diagnosed diabetes in the Da Qing IGT and diabetes study [J]. *Diabetes Care*, 2015, 38(7): 1 365-371.

[2] Arenillas JF. Intracranial atherosclerosis: current concepts [J]. *Stroke*, 2011, 42(1 Suppl): 20-23.

[3] Ye Q, Steinman DA, Qin Q, et al. Intracranial arterial wall imaging using three-dimensional high isotropic resolution black blood MRI at 3.0 tesla [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2011, 34(1): 22-30.

[4] 吴靖雯, 王显龙, 黄凡衡, 等. 大脑中动脉狭窄的 3D-VISTA 诊断价值 [J]. *临床放射学杂志*, 2016, 35(1): 8-12.

[5] Ma N, Jiang WX, Ma L, et al. Arterial remodeling of advanced basilar atherosclerosis: a 3-tesla MRI study [J]. *Neurology*, 2010, 75(3): 253-258.

[6] Dewes P, Frellesen C, Scholtz JE, et al. Low-dose abdominal computed tomography for detection of urinary stone disease-Impact of additional spectral shaping of the X-ray beam on image quality and dose parameters [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(6): 1 058-062.

[7] 李明利, 徐蔚海, 冯逢, 等. 磁共振颅内动脉斑块成像技术的临床应用 [J]. *中国医学科学院学报*, 2012, 34(5): 443-449.

[8] 李梅芳, 胡培铅, 王双青, 等. 3.0 T HR-MRI 对脑动脉粥样硬化显像优势的初步研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2015, 34(4): 510-513.

[9] Ojha R, Huang D, An H, et al. Distribution of ischemic infarction and stenosis of intra- and extracranial arteries in young Chinese patients with ischemic stroke [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2015, 15(1): 1-9.

[10] 唐焱, 周宏, 罗光华, 等. 缺血性脑卒中患者 CAS 斑块超声、CT 血管造影及临床相关危险因素分析 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2016, 24(4): 391-395.

[11] Wong LKS. Global burden of intracranial atherosclerosis [J]. *Int J Stroke*, 2006, 1(3): 158-159.

[12] Wong KS, Huang YN, Gao S, et al. Intracranial stenosis in Chinese patients with acute stroke [J]. *Neurology*, 1998, 50(3): 812-813.

[13] Ryu CW, Kwak HS, Jahng GH, et al. High-resolution MRI of intracranial atherosclerotic disease [J]. *Neurointervention*, 2014, 9(1): 9-20.

[14] Gao T, Yu W, Liu C. Mechanisms of ischemic stroke in patients with intracranial atherosclerosis: A high-resolution magnetic resonance imaging study [J]. *Exp Ther Med*, 2014, 7(5): 1 415-419.

[15] Yamauchi H, Higashi T, Kagawa S, et al. Chronic hemodynamic compromise and cerebral ischemic events in asymptomatic or remote symptomatic large-artery intracranial occlusive disease [J]. *Am J Neuroradiol*, 2013, 34(9): 1 704-710.

[16] 高佩虹, 赵斌, 王光彬. 颅内动脉高分辨磁共振成像研究进展 [J]. *国际医学放射学杂志*, 2012, 35(4): 331-333.

[17] Degnan AJ, Gallagher G, Teng Z, et al. MR angiography and imaging for the evaluation of middle cerebral artery atherosclerotic disease [J]. *Am J Neuroradiol*, 2012, 33(8): 1 427-435.

[18] Ryu C, Jahng GE, Choi W, et al. High resolution wall and lumen MRI of the middle cerebral arteries at 3 tesla [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2009, 27(5): 433-442.

(此文编辑 曾学清)