

3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像诊断脑血管病的价值

赵启利, 吴丽鹏, 张杨, 张曦, 郑艳龙
廊坊市人民医院磁共振 CT 科, 河北 廊坊 065000

【摘要】目的:分析观察三维T₁加权可变翻转角快速自旋回波(3D T₁-SPACE)高分辨率磁共振管壁成像在脑血管病诊断中的应用价值。**方法:**选择100例缺血性脑血管病患者行3D T₁-SPACE高分辨率磁共振管壁成像,根据有无症状分为有症状组($n=61$)和无症状组($n=39$),比较两组患者血管和斑块量化指标[病变层面血管面积(VA_{MLN})、病变层面管腔面积(LA_{MLN})、参考层面血管面积(VA_{RL})、参考层面管腔面积(LA_{RL})、狭窄率、斑块负荷、重构指数(RI)、偏心指数(EI)以及正性重构、偏心斑块、斑块表面不规则、斑块位置前壁比例],采用Logistic回归模型分析影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素。**结果:**两组VA_{MLN}、LA_{MLN}、VA_{RL}、LA_{RL}、狭窄率以及斑块负荷比较,差异无统计学意义($P>0.05$),有症状组RI、EI显著大于无症状组($P<0.05$),正性重构、偏心斑块、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置比例显著高于无症状组($P<0.05$);Logistic回归分析结果显示,管腔正性重构、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置是影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素。**结论:**3D T₁-SPACE高分辨率磁共振管壁成像可有效评估脑血管病患者动脉斑块特征,症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄通常伴有管腔正性重构、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置特征,对预测患者发生脑血管意外风险和分级具有指导意义。

【关键词】脑血管病;症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄;三维T₁加权可变翻转角快速自旋回波技术;高分辨率磁共振管壁成像

【中图分类号】R743;R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)09-1103-05

Diagnostic value of 3D T₁-SPACE high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging in cerebrovascular diseases

ZHAO Qili, WU Lipeng, ZHANG Yang, ZHANG Xi, ZHENG Yanlong

Department of MRI and CT, the People's Hospital of Langfang City, Langfang 065000, China

Abstract: Objective To analyze and observe the application value of three-dimensional T₁ weighted sampling perfection with application-optimized contrast using different flip angle evolutions (3D T₁-SPACE) high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging in the diagnosis of cerebrovascular diseases. **Methods** A total of 100 patients with ischemic cerebrovascular diseases who received 3D T₁-SPACE high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging were enrolled and then divided into symptomatic group ($n=61$) and asymptomatic group ($n=39$) according to whether they were symptomatic or not. The quantitative indicators of blood vessels and plaques were compared between two groups of patients, and the indicators included vessel area at lesion level (VA_{MLN}), lumen area at lesion level (LA_{MLN}), vessel area at reference level (VA_{RL}), lumen area at reference level (LA_{RL}), stenosis rate, plaque load, remodeling index (RI), eccentricity index (EI) and the proportions of positive remodeling, eccentric plaque, irregular plaque surface and plaque at the anterior wall. Logistic regression model was used to analyze the independent risk factors affecting middle cerebral artery stenosis of symptomatic atherosclerosis. **Results** No statistical difference was found between two groups in VA_{MLN}, LA_{MLN}, VA_{RL}, LA_{RL}, stenosis rate and plaque load ($P>0.05$). The RI and EI of symptomatic group were significantly higher than those of asymptomatic group ($P<0.05$), and the proportions of positive remodeling, eccentric plaque, irregular plaque surface and plaque at the anterior wall were also significantly higher than those of asymptomatic group ($P<0.05$). Logistic regression analysis results revealed that lumen positive remodeling, irregular plaque surface and plaque at the anterior wall were the independent risk factors affecting middle cerebral artery stenosis of symptomatic atherosclerosis. **Conclusion** 3D T₁-SPACE high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging can be used to effectively assess the characteristics of arterial

【收稿日期】2021-05-12

【基金项目】河北省科技计划项目(182777176)

【作者简介】赵启利,主任医师,研究方向:头颈血管的医学影像诊断,E-mail: zhaoqili35@163.com

【通信作者】张杨,主治医师,研究方向:头颈血管的医学影像诊断,E-mail: 70017134@qq.com

plaques in patients with cerebrovascular diseases. The middle cerebral artery stenosis of symptomatic atherosclerosis is usually accompanied by lumen positive remodeling, irregular plaque surface and plaque at the anterior wall, having a guiding significance for predicting the risk and classification of cerebrovascular accidents in patients.

Keywords: cerebrovascular disease; middle cerebral artery stenosis of symptomatic atherosclerosis; three-dimensional T₁ weighted sampling perfection with application-optimized contrast using different flip angle evolutions; high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging

前言

脑血管病是神经内科常见且多发的疾病之一，约占神经系统总住院病例的1/4~1/2，该病可引起脑组织缺血或出血性意外^[1]。脑血管病病因以及临床表现复杂，其中以缺血性脑血管病最为常见，颅内动脉粥样硬化狭窄和闭塞是诱发缺血性脑血管病变的重要因素^[2]。证据表明，深入分析脑血管病的病因和潜在危险因素，可为寻找脑血管病的最佳治疗方法提供支持^[3]。数字减影血管造影是诊断脑血管病的金标准，但该方法存在一定比例的对比剂过敏、神经系统并发症等风险^[4]。三维T₁加权可变反转角快速自旋回波(3D T₁-SPACE)高分辨率磁共振管壁成像能够进行三维、高空间分辨率以及大范围颅内动脉管壁成像，进而对颅内动脉管壁进行全方位成像，同时还可显示颅内斑块成分及斑块负荷，有可能成为脑血管病病因分型的新手段^[5]。本研究旨在分析3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像在缺血性脑血管病诊断中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择2018年1月至2020年1月于廊坊市人民医院进行3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像检查的100例缺血性脑血管病患者，其中男67例，女33例；年龄40~80岁，平均年龄(61.24±9.37)岁。纳入标准：(1)根据常规磁共振检查和临床症状明确患者既往存在缺血性脑梗死；(2)磁共振血管成像检查显示大脑中动脉(MCA)狭窄程度>30%。排除标准：(1)合并动脉炎等引起的缺血脑卒中；(2)排除高度疑似心源性栓子所导致的脑卒中；(3)颈动脉超声显示颅内病变血管同侧颅外动脉狭窄程度>50%；(4)磁共振检查禁忌证；(5)患者无法配合检查。根据有无症状将100例脑血管病患者分为有症状组(*n*=61)和无症状组(*n*=39)，其中有症状定义为15 d内MCA供血区发生缺血性卒中或者短暂性脑缺血发作，无症状定义为无脑缺血事件发生或者缺血事件累及MCA以外血管区域。两组患者性别分布、年龄构成、高血压、糖尿病、高血脂、吸烟、酗酒比例以及血糖、

糖化血红蛋白(HbA1c)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)水平比较，差异无统计学意义(*P*>0.05)，具有可比性，见表1。本研究经廊坊市人民医院医学伦理委员会审核及通过，患者签订知情同意书。

表1 两组患者基线资料比较
Tab.1 Comparison of baseline data between two groups

| 指标 | 有症状组 (<i>n</i> =61) | 无症状组 (<i>n</i> =39) | χ ² / <i>t</i> 值 | <i>P</i> 值 |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|
| 性别[例(%)] | | | 0.243 | 0.622 |
| 男 | 42(68.85) | 25(64.10) | | |
| 女 | 19(31.15) | 14(35.90) | | |
| 年龄/岁 | 61.52±9.40 | 60.80±9.31 | 0.375 | 0.709 |
| 高血压[例(%)] | 25(40.98) | 23(58.97) | 3.085 | 0.079 |
| 糖尿病[例(%)] | 19(31.15) | 16(41.03) | 1.020 | 0.312 |
| 高血脂[例(%)] | 22(36.07) | 19(48.72) | 1.574 | 0.210 |
| 吸烟[例(%)] | 17(27.87) | 15(38.46) | 1.227 | 0.268 |
| 酗酒[例(%)] | 7(11.48) | 7(17.95) | 0.828 | 0.363 |
| 葡萄糖/mmol·L ⁻¹ | 7.41±1.63 | 7.82±1.66 | 1.218 | 0.226 |
| HbA1c/% | 6.80±1.01 | 6.85±1.12 | 0.231 | 0.818 |
| TC/mmol·L ⁻¹ | 4.89±0.77 | 5.17±0.85 | 1.703 | 0.092 |
| TG/mmol·L ⁻¹ | 2.01±0.52 | 2.13±0.48 | 1.159 | 0.249 |
| HDL-C/mmol·L ⁻¹ | 1.93±0.46 | 1.99±0.50 | 0.615 | 0.540 |
| LDL-C/mmol·L ⁻¹ | 2.75±0.49 | 2.62±0.53 | 1.253 | 0.213 |

1.2 检查方法及图像分析

采用Skyra 3.0T超导磁共振成像扫描仪(德国，西门子公司)和32通道颅颈联合高分辨率线圈进行检查。首先进行常规三维时间飞跃法(3D-TOF)磁共振成像检查，包括黑血技术的T₁加权成像(T₁WI)、T₂加权成像(T₂WI)以及质子密度加权成像(PDWI)。扫描序列参数：T₁WI：重复时间(TR)/回波时间(TE)：700/26 ms，激励次数：2；T₂WI：TR/TE：2 800/50 ms，激励次数：4；PDWI：TR/TE：1 800/29 ms，激励次数：2，T₁WI、T₂WI和PDWI均采用：层数：9，层厚：2 mm，层间距：0.5 mm，矩阵：256×256，FOV：140 mm×140 mm。然后应用3D T₁-SPACE序列垂直于目标血管获得图

像,斜冠状位覆盖前后循环主要血管,空间分辨率:0.5 mm×0.5 mm×0.5 mm,TR/TE:2 000/38 ms,扫描时间:7.9 min,对比剂为钆喷酸葡胺注射液(广州康臣药业有限公司,国药准字H10950270),0.4 mL/kg体质量静脉注射,测量狭窄血管以及评估斑块稳定性。数据采用全脑管壁成像后处理软件处理,将图像放大2~3倍,手动勾勒血管壁外轮廓和管腔轮廓,测量相应血管面积(VA)和管腔面积(LA),病变层面VA和LA选取血管最狭窄处(MLN)横断面图像测量,参考层面(RL)VA和LA选取MCA近心端和远心端两处无明显斑块横断面图像测量,取平均值,测量最狭窄层面最

大管壁厚度(WT_{max})以及最小管壁厚度(WT_{min}),并计算如下参数:狭窄率=(1-LA_{MLN}/LA_{RL})×100%;斑块负荷=[(VA_{MLN}-LA_{MLN})/VA_{MLN}]×100%;重构指数(RI)=VA_{MLN}/VA_{RL},RI≥1.05表示正性重构,RI<1.05表示非正性重构;偏心指数(EI)=(WT_{max}-WT_{min})×100%,EI≥0.5表示偏心斑块,EI<0.5表示同心斑块。由2名具有丰富经验的影像科医师采用盲法对3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像图像进行评价,经过商量最终达成一致意见,示例见图1。血管和斑块量化指标由1名经验丰富的影像科医师于1个月内进行2次测量,并取平均值作为最终测量结果。

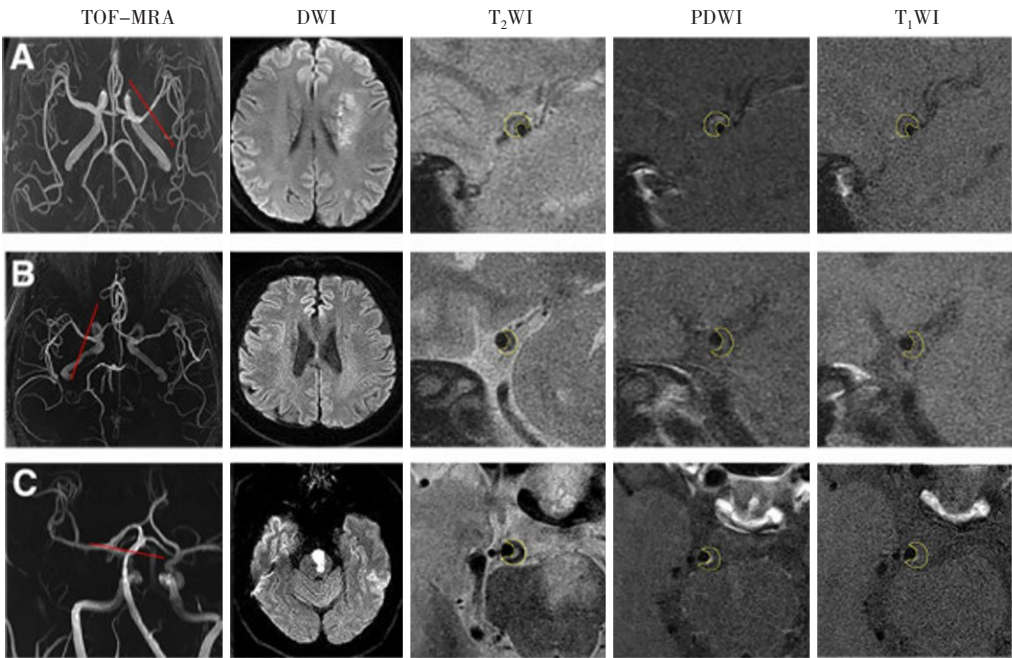


图1 3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像显示MCA和基底动脉动脉粥样硬化斑块

Fig.1 Atherosclerotic plaques in MCA and basilar artery shown by 3D T₁-SPACE high-resolution magnetic resonance vessel wall imaging

A:男,63岁,左脑急性缺血性脑卒中,TOF-MRA显示左侧MCA狭窄,DWI显示左侧基底节片状急性梗塞,3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像(T₂WI、PDWI和T₁WI)显示左侧MCA斑块;B:女,60岁,无任何症状,TOF-MRA显示右侧MCA狭窄,DWI未显示急性梗塞,3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像(T₂WI、PDWI和T₁WI)显示右侧MCA斑块;C:男,58岁,急性缺血性脑卒中,TOF-MRA显示基底动脉狭窄,DWI显示左侧脑干中急性梗塞,3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像(T₂WI、PDWI和T₁WI)显示斑块

1.3 统计学方法

应用SPSS19.0软件分析数据,计数数据以百分比或率(%)表示,比较采用χ²检验;符合正态分布的计量数据用均数±标准差表示,比较采用独立t检验;危险因素采用Logistic回归模型分析。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者血管和斑块量化指标比较

两组VA_{MLN}、LA_{MLN}、VA_{RL}、LA_{RL}、狭窄率以及斑块负荷比较,差异无统计学意义(P>0.05),有症状组RI、EI显著大于无症状组(P<0.05),正性重构、偏心

斑块、斑块表面不规则以及斑块位置上壁比例显著高于无症状组(P<0.05)。见表2。

2.2 Logistic回归分析影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素

将单因素分析具有差异性的变量(正性重构、偏心斑块、斑块表面不规则、斑块位于上壁)作为多因素分析的协变量,临床症状作为因变量(有=1;无=0),利用逐步向前法进行Logistic回归分析。结果显示管腔正性重构、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置是影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素,见表3。

表2 两组患者血管和斑块量化指标比较

Tab.2 Comparison of quantitative indicators of blood vessels and plaques between two groups

| 指标 | 有症状组 (n=61) | 无症状组 (n=39) | χ^2/t 值 | P值 |
|------------------------------------|----------------|----------------|--------------|--------|
| VA _{MLN} /mm ² | 15.48±2.73 | 14.79±2.65 | 1.247 | 0.215 |
| LA _{MLN} /mm ² | 5.29±1.01 | 5.53±1.12 | 1.111 | 0.270 |
| VA _{RL} /mm ² | 14.51±2.60 | 14.83±2.49 | 0.610 | 0.543 |
| LA _{RL} /mm ² | 9.72±1.84 | 10.05±1.71 | 0.899 | 0.371 |
| 狭窄率/% | 45.60±8.57 | 44.91±7.36 | 0.414 | 0.680 |
| 斑块负荷/% | 65.84±9.23 | 62.62±9.04 | 1.715 | 0.090 |
| RI | 1.07±0.15 | 1.00±0.13 | 2.395 | 0.019 |
| EI | 0.83±0.11 | 0.66±0.09 | 8.073 | <0.001 |
| 正性重构[例(%)] | 37(60.66) | 13(33.33) | 7.104 | 0.008 |
| 偏心斑块[例(%)] | 49(80.33) | 21(53.85) | 7.945 | 0.005 |
| 斑块表面不规则[例(%)] | 35(57.38) | 10(25.64) | 9.681 | 0.002 |
| 斑块位置[例(%)] | | | | |
| 前壁 | 17(27.87) | 14(35.90) | 0.717 | 0.397 |
| 上壁 | 22(36.07) | 6(15.38) | 5.047 | 0.025 |
| 后壁 | 10(16.39) | 8(20.51) | 0.274 | 0.601 |
| 下壁 | 12(19.67) | 11(28.21) | 0.978 | 0.323 |

VA_{MLN}:病变层面血管面积;LA_{MLN}:病变层面管腔面积;VA_{RL}:参考层面血管面积;LA_{RL}:参考层面管腔面积;RI:重构指数;EI:偏心指数

表3 影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素

Tab.3 Independent risk factors affecting middle cerebral artery stenosis of symptomatic atherosclerosis

| 指标 | β值 | SE值 | Wald χ^2 值 | OR值 | 95% CI值 | P值 |
|---------|-------|-------|-----------------|-------|--------------|--------|
| 正性重构 | 1.162 | 0.421 | 7.618 | 3.196 | 1.401~7.295 | 0.006 |
| 偏心斑块 | 0.806 | 0.527 | 2.339 | 2.239 | 0.797~6.290 | 0.127 |
| 斑块表面不规则 | 1.737 | 0.485 | 12.827 | 5.680 | 2.195~14.696 | <0.001 |
| 斑块位于上壁 | 0.984 | 0.455 | 4.677 | 2.675 | 1.097~6.526 | 0.031 |

因无创、高分辨率以及多对比度等明显优势,受到诸多学者的关注^[16]。3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像不仅具有较高的空间分辨率及软组织对比能力,还可清晰显示全脑血管管腔和管壁情况和评估斑块特征,继而判断斑块稳定性^[17]。既往研究表明,以数字减影血管造影为金标准,高分辨率磁共振管壁成像评估MCA中重度狭窄和闭塞的敏感性及特异度均显著高于计算机断层血管成像,且与数字减影血管造影有较好的一致性^[18]。本研究结果显示有症状组和无症状组患者VA_{MLN}、LA_{MLN}、VA_{RL}、LA_{RL}、狭窄率以及斑块负荷比较差异无统计学意义,但有症状组RI、EI显著大于无症状组,正性重构、偏心斑块、斑块表面不规则以及斑块位置前壁比例显著高于无症状组,表明MCA斑块不稳定更容易诱发脑血管病

3 讨论

脑血管病主要包括缺血性脑血管病、出血性脑血管病以及动脉粥样硬化性疾病等^[6]。缺血性脑血管病最为常见,占全部脑血管病的60%~80%,是全世界范围内老年患者死亡的第2大原因^[7]。调查显示我国居民每年用于诊治缺血性脑血管病的费用约500亿元,极大地增加了家庭及社会负担^[8]。因此,积极预防和控制脑血管病成为目前亟待解决的公共健康问题。

颅内动脉粥样硬化是导致缺血性脑血管病的最主要病因,其可使多个动脉节段受累,并以MCA为主^[9]。报道表明,除管腔狭窄程度之外,易损斑块的破裂亦是引起缺血性脑血管病的重要原因^[10]。研究显示管腔狭窄仅可预测1/4的有症状患者及1/10的无症状患者,而很大比例的70%以上狭窄的患者长时间内并无脑梗死发生^[11]。越来越多的证据也认为,管腔狭窄仅能够提示颅内病变进展情况,并不能够真实反映动脉粥样硬化严重程度,亦无法判别脑血管病病因^[12-14]。故经颅多普勒超声、计算机断层血管成像、数字减影血管造影和磁共振血管成像等技术因仅可显示管腔结构而无法显示管壁结构,均具有一定局限性^[15]。高分辨率磁共振管壁成像技术,

的发生。具体分析,正性重构在动脉粥样硬化病变早期较为常见,但因血管无明显狭窄致使常规影像技术难以诊断,而3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像对斑块进行成像有助于预测早期动脉粥样硬化病变,进一步明确脑血管病变病因,可为脑血管病分型提供更多理论根据。Guo等^[19]通过对比无症状和有症状MCA动脉粥样硬化狭窄患者血管壁特点,结果显示有症状患者正性重构更为常见,且血管面积和斑块符合更大,存在正性重构的斑块更易发生破裂。有研究认为,偏心斑块即是易损斑块,偏心性狭窄更容易促进血栓形成,从而增加脑血管病风险^[20]。余德君等^[21]研究表明斑块表面不规则说明斑块不稳定,容易出现脱落而堵塞MCA下游分支,进而导致相应供血区域发生脑梗死。Xu等^[22]研究结果亦指

出,相比于无症状组,症状组MCA狭窄斑块多位于上壁,且位于上壁的斑块多见于发生穿支动脉梗死患者中。进一步Logistic回归分析结果显示,管腔正性重构、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置是影响症状性动脉粥样硬化大脑中动脉狭窄的独立危险因素。3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像可为脑血管病诊断和治疗提供进一步的线索,从而积极控制危险因素,及早进行抗血栓治疗。但本研究仍有一定局限性,所收集病例数有限,3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像获得的斑块影像学特征缺乏病理活检对照研究,此外,对于管腔和血管壁面积的测量不够精确以及成像时间较长可能受运动伪影干扰,且缺乏长期动态监测,故后续有待收集更多病例,进行多时间段的3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像检查,以深入探讨脑血管病患者管壁特征的动态改变,进而明确管壁特征对脑血管病的诊断价值。

综上所述,3D T₁-SPACE 高分辨率磁共振管壁成像可有效评估脑血管病患者动脉斑块特征,有症状大脑中动脉狭窄通常伴有管腔正性重构、斑块表面不规则以及斑块位于上壁位置特征,对预测患者发生脑血管意外风险和分级具有指导意义,在脑血管病诊断方面具有一定的应用前景。

【参考文献】

- [1] GOLDSTEIN L B. Introduction for focused updates in cerebrovascular disease[J]. *Stroke*, 2020, 51(3): 708-710.
- [2] 曾进胜,蒲传强. 我国各类主要脑血管病诊断要点演变与更新[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9): 681-683.
ZENG J S, PU C Q. Evolution and renewal of diagnostic criteria for main types of cerebrovascular diseases in China[J]. *Chinese Journal of Neurology*, 2019, 52(9): 681-683.
- [3] YOUNG C C, BONOW R H, BARROS G, et al. Magnetic resonance vessel wall imaging in cerebrovascular diseases[J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 47(6): 4-11.
- [4] JEON H J, LEE J Y, CHO B M, et al. Four-year experience using an advanced interdisciplinary hybrid operating room: potentials in treatment of cerebrovascular disease[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2019, 62(1): 35-45.
- [5] 袁煥初,郑晓林,邹玉坚,等. 3D SPACE 序列及后处理在显示大脑中动脉硬化中的临床价值[J]. *放射学实践*, 2020, 35(5): 601-607.
YUAN H C, ZHENG X L, ZOU Y J, et al. The clinical values of 3D SPACE sequence and post-processing in displaying middle cerebral arterial sclerosis[J]. *Radiologic Practice*, 2020, 35(5): 601-607.
- [6] 宋宇,晁迎九,徐运军. 磁共振3D TOF-MRA 和 ZTE-MRA 在脑血管成像的对比[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(12): 1529-1533.
SONG Y, CHAO Y J, XU Y J. Comparison between 3D TOF-MRA and ZTE-MRA in the imaging of cerebral vessels[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2020, 37(12): 1529-1533.
- [7] LIAO C H, CHEN W H, LEE C H, et al. Treating cerebrovascular diseases in hybrid operating room equipped with a robotic angiographic fluoroscopy system: level of necessity and 5-year experiences[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2019, 161(3): 611-619.
- [8] 赵艺皓,程云飞,李君,等. 城乡脑血管疾病致残人群服务需求满足的差异性调查研究[J]. *中国全科医学*, 2019, 22(23): 2833-2840.
ZHAO Y H, CHENG Y F, LI J, et al. Differences in demand and satisfaction of multi-level services between rural and urban people with disability caused by cerebrovascular disease[J]. *Chinese General Practice*, 2019, 22(23): 2833-2840.
- [9] SONG J W, WASSERMAN B A. Vessel wall MR imaging of intracranial atherosclerosis[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2020, 10(4): 982-993.
- [10] 周笑莹,张华. 颈动脉易损斑块脂质核心的影像学研究进展[J]. *实用放射学杂志*, 2019, 35(8): 1356-1358.
ZHOU X Y, ZHANG H. Advances in imaging diagnosis of lipid cores of vulnerable carotid plaques[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2019, 35(8): 1356-1358.
- [11] LU S S, GE S, SU C Q, et al. MRI of plaque characteristics and relationship with downstream perfusion and cerebral infarction in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 48(1): 66-73.
- [12] SAFIAN R D. Asymptomatic carotid artery stenosis: revascularization[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2017, 59(6): 591-600.
- [13] LIU S, LUO Y, WANG C, et al. Combination of plaque characteristics, pial collaterals, and hypertension contributes to misery perfusion in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 51(1): 195-204.
- [14] YU Y N, LIU M W, VILLABLANCA J P, et al. Middle cerebral artery plaque hyperintensity on T₂-weighted vessel wall imaging is associated with ischemic stroke[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(11): 1886-1892.
- [15] 李鑫,郎文娟,石锴,等. 联合核磁共振 3D CUBE T₁ 高分辨率成像和磁敏感技术评估急性缺血性脑卒中患者的临床预后及其应用价值[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2020, 37(5): 393-397.
LI X, LANG W J, SHI K, et al. Clinical prognosis of patients with acute ischemic stroke and its application value were evaluated using 3D CUBE T₁ high resolution imaging and magnetic sensitivity techniques[J]. *Journal of Apoplexy and Nervous Diseases*, 2020, 37(5): 393-397.
- [16] KESAV P, KRISHNAVADANA B, KESAVADAS C, et al. Utility of intracranial high-resolution vessel wall magnetic resonance imaging in differentiating intracranial vasculopathic diseases causing ischemic stroke[J]. *Neuroradiology*, 2019, 61(4): 389-396.
- [17] 王新丽,王欣宇,陈振,等. 颅内动脉粥样硬化斑块易损性的三维高分辨磁共振研究[J]. *中国医学影像学杂志*, 2019, 27(1): 20-24.
WANG X L, WANG X Y, CHEN Z, et al. Three-dimensional high resolution magnetic resonance on the vulnerability of intracranial atherosclerotic plaque[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging*, 2019, 27(1): 20-24.
- [18] LIU Q, HUANG J, DEGNAN A J, et al. Comparison of high-resolution MRI with CT angiography and digital subtraction angiography for the evaluation of middle cerebral artery atherosclerotic steno-occlusive disease [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2013, 29(7): 1491-1498.
- [19] GUO R, ZHANG X, ZHU X, et al. Morphologic characteristics of severe basilar artery atherosclerotic stenosis on 3D high-resolution MRI[J]. *BMC Neurol*, 2018, 18(1): 206-215.
- [20] RAN Y, WANG Y, ZHU M, et al. Higher plaque burden of middle cerebral artery is associated with recurrent ischemic stroke: a quantitative magnetic resonance imaging study[J]. *Stroke*, 2020, 51(2): 659-662.
- [21] 余德君,吴艳秋,张宇阳,等. 高分辨MRI 三维可变翻转角快速自旋回波成像技术在评估大脑中动脉斑块特征与脑梗死发生关系的研究[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(5): 870-874.
SHE D J, WU Y Q, ZHANG Y Y, et al. Evaluation of the relations between ischemic stroke and middle cerebral artery plaque characteristics by three dimensional-sampling perfection with application-optimized contrasts using different flip angle evolutions of high-resolution magnetic resonance imaging[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2020, 39(5): 870-874.
- [22] XU W H, LI M L, GAO S, et al. Plaque distribution of stenotic middle cerebral artery and its clinical relevance[J]. *Stroke*, 2011, 42(10): 2957-2959.

(编辑:黄开颜)