

论 著

探讨能谱计算机断层(CT)联合磁共振(MR)高分辨率管壁成像(HR-VWI)对颈动脉斑块成分的评估价值*

张雨晴* 金海洋 李奎
徐州市第一人民医院(江苏徐州 221000)

【摘要】目的 探讨能谱计算机断层(CT)联合磁共振(MR)高分辨率管壁成像(HR-VWI)对颈动脉斑块成分的评估价值。**方法** 回顾性分析82例采取颈动脉内膜剥脱术治疗的颈动脉粥样硬化患者病历资料,均于术前行颈动脉能谱CT与MR HR-VWI检查,并以病理结果为参照,分析此二者单独及联合评估颈动脉斑块成分的价值。**结果** 82例患者,经术后病理学检查分析,共获得斑块194处,其中钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质分别为35处、55、44、60处;能谱CT检查出钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质分别为30、41、34、56处,MR HR-VWI检查出上述斑块成分分别有27、48、38、45处,能谱CT联合MR HR-VWI检查出上述斑块成分分别有34、54、43、59处;钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质中的CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率,两两比较差异有统计学意义($P<0.05$);能谱CT检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质成分与病理学检查结果的符合率分别为82.86%、74.55%、75.00%、88.33%,MR HR-VWI检查上述各斑块成分与病理学结果的符合率分别为77.14%、83.64%、81.82%、75.00%,能谱CT联合MR HR-VWI联合与病理学结果的符合率分别为97.14%、96.36%、95.45%、98.33%,联合检查符合率均高于各自单独检查($P<0.05$)。**结论** 能谱CT与MR HR-VWI均可有效分析颈动脉钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质成分,且此二者联合对颈动脉斑块成分的评估价值更高。

【关键词】 能谱计算机断层; 颈动脉斑块;
MR高分辨率管壁成像; 成分分析
【中图分类号】 R445.3
【文献标识码】 A
【基金项目】 国家自然科学基金项目(31571187)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.09.019

Evaluation Value of Energy Spectrum Computed Tomography (CT) Combined with Magnetic Resonance (MR) High-Resolution Wall Imaging(HR-VWI) in Carotid Plaque Composition*

ZHANG Yu-qing*, JIN Hai-yang, LI Kui.
Xuzhou First People's Hospital, Xuzhou 221000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of energy spectrum computed tomography (CT) combined with magnetic resonance (MR) high-resolution wall imaging (HR-VWI) in the evaluation of carotid plaque components. **Methods** The medical records of 82 patients with carotid atherosclerosis treated by carotid endarterectomy were analyzed retrospectively, and they were examined by carotid energy spectrum CT and MR HR-VWI before operation. According to the pathological results, the values of the two methods in single and combination evaluation the carotid plaque components were analyzed. **Results** After postoperative pathological examination and analysis, 194 plaques were obtained in 82 patients, and the calcified plaque, fibrous matrix, thrombotic tissue and lipid were 35, 55, 44 and 60 places respectively. The calcified plaque, fibrous matrix, thrombotic tissue and lipid detected by energy spectrum CT were 30, 41, 34 and 56 places respectively, and the above plaque components detected by MR HR-VWI were 27, 48, 38 and 45 places respectively, and the above plaque components detected by energy spectrum CT combined with MR HR-VWI were 34, 54, 43 and 59 places respectively. The CT value, effective atomic number and energy spectrum curve slope in calcified plaques, fibrous matrix, thrombotic tissue and lipid were significantly different ($P<0.05$). The coincidence rates of energy spectrum CT examination of calcified plaques, fibrous matrix, thrombotic tissue and lipid composition with pathological examination were 82.86%, 74.55%, 75.00% and 88.33% respectively, and concordance rates of the above plaque components of MR HR-VWI composition with pathological results were 77.14%, 83.64%, 81.82% and 75.00% respectively, and coincidence rates of energy spectrum CT combined with MR HR-VWI composition with pathological results were 97.14%, 96.36%, 95.45% and 98.33% respectively, and the coincidence rates of joint examination were higher than those of individual examination ($P<0.05$). **Conclusion** Both energy spectrum CT and MR HR-VWI can effectively analyze the carotid calcified plaques, fibrous matrix, thrombotic tissue and lipid, and the combination of the two has higher evaluation value for carotid plaque components.

Keywords: Energy Spectrum Computed Tomography; MR High Resolution Wall Imaging; Carotid Plaque; Component Analysis

颈动脉斑块不断累积可导致管腔狭窄而引起脑动脉供血不足,且不稳定斑块极易脱落,诱发脑卒中^[1]。能谱计算机断层(CT)可打破传统颈动脉CT血管成像的局限性,实现对斑块各成分的区分^[2];磁共振(MR)高分辨率管壁成像(HR-VWI)具有相对较高的软组织分辨率,已被证实能够区分斑块成分^[3]。但上述方法单独评估时均有一定的不足,能谱CT图像上可出现非真实性的阴影或干扰(伪影)而影响对病情的判断,MR HR-VWI难以鉴别动脉严重狭窄和闭塞、容易夸大狭窄程度,而二者联合能否相互配合进行优势互补以提高对斑块各具体成分的评估价值尚有待进一步探讨。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2019年9月至2021年6月在徐州市第一人民医院实施颈动脉内膜剥脱术治疗的82例颈动脉粥样硬化患者病历资料。

纳入标准: 研究对象均经临床诊断为颈动脉粥样硬化,且行颈动脉内膜剥脱术^[4];所有患者均接受头颈部能谱CT和MR HR-VWI扫描,且颈动脉内膜增厚在同一层面血管直径30%及以上;均有完整的资料记录。排除标准:伴多发性大动脉炎;伴精神疾患;对比剂过敏。患者一般情况见表1。本研究已由医院伦理委员会批准。

表1 患者基线资料

患者	性别		年龄(岁)	合并症				吸烟	短暂性脑缺血发作	脑梗死	无症状
	男	女		糖尿病	高血压	冠心病	高脂血症				
82	49	33	60.00±11.02	18	24	9	21	27	35	30	17

1.2 方法

(1)能谱CT检查方法

使用美国GE公司能谱CT(256排Revolution CT)对受检对象实施头颈部CT血管成像检查。取受检对象取仰卧位,扫描范围从主动脉弓上缘直到颅内鞍上2cm处,由头部至足部。将碘帕醇注射液(规格:370mg/ml)作为对比剂,采用CT专用双筒高压注射器经静脉注射,共注射65ml,注射流率为5.0ml/s。参数:管电压设置为80/140kV,管电流设置为630mA,准直器宽40×0.625mm,层厚0.625mm,层间隔0.625mm,螺距0.984:

【第一作者】张雨晴,女,技师,主要研究方向:CT成像对疾病的研究。E-mail: ddyskt9563173@163.com

【通讯作者】张雨晴

1, 转速5s, 矩阵512×512。扫描完成后, 对全部混合能量图进行处理, 将获得的单能量图像导入能谱GEAwV4.6工作站中再次实施图像后处理, 取恰当的感兴趣区(ROI), 通过能谱CT专用分析软件解析检查出来的斑块, 获取其相应的能谱曲线以及有效原子序数, 同时对能谱衰减曲线的斜率即能谱曲线上两点CT值差与两点能量差的比值进行计算。

把能谱扫描模式获得的图像导入GSI观察与分析系统, 经过自动分析得到最佳对比噪声比单能量图像, 然后对斑块各成分CT值、有效原子序数进行测量; 在斑块上设定直径为5~10mm的ROI, 获得相应区域, 取得CT值衰减曲线和能谱曲线(40~140keV各能量水平的CT值)斜率; 最后再对斑块不同位置的曲线斜率进行测量, 且将其与物质CT值衰减标准曲线进行对照, 获得斑块成分。见图1。

(2)MR HR-VWI检查方法

采用美国GE 3.0T HD MR扫描仪进行MR高分辨率血管成像, 采集成像序列包括三维相位对比法, 对颈动脉形态、分叉位置进行初步显示, 然后根据分叉及狭窄位置进行定位, 进行三维时间飞跃(3D TOF)序列(TR: 25.0ms, TE: 3.8ms, 层厚: 2.0mm, 频率: 320)、T₁WI序列(TR: 2000.0ms, TE: 15.6ms, 层厚: 4.0mm, 频率: 320)、T₂WI序列(TR: 2000.0ms, TE: 15.9ms, 层厚: 4.0mm, 频率: 320)、PDWI(TR: 2000.0ms, TE: 85.0ms, 层厚: 4.0mm, 频率: 320)等序列扫描。扫描后首先对MR HR-VWI图像进行评分, 其中管腔管壁以及斑块内成分均能够清晰显示, 记为4分, 表明图像质量最佳; 管腔管壁能够清晰显示, 而斑块内成分表现为部分清晰显示, 则记作3分, 表明图像质量好; 若管腔管壁呈现为部分清晰显示, 而斑块内成分显示不好, 则记为2分, 表明图像质量一般; 若管腔管壁以及斑块内成分均显示不好, 则记为1分, 表明图像质量差。3D TOF成像序列用于管腔狭窄程度测量; T₁WI序列用于显示血管壁情况。对于MR HR-

VWI图像分级≥3分者, 进行斑块组织成分分析、稳定性判断及各成分斑块的管腔面积(LA)、管壁厚度(WT)、管壁面积(WA)处理。

(3)影像学图像分析

能谱CT、MR HR-VWI检查后, 所得图像均由2名影像科医生(1名经验丰富的主治医师、1名副主任医师)进行双盲法阅片, 对斑块组织成分进行判定, 若出现意见不一致的情况, 则由主任医师参与商定, 给出最终判定结果。

(4)病理学检查

患者在接受颈动脉内膜剥脱术治疗后, 对手术获得的颈动脉斑块做病理分析。将斑块标本以4%多聚甲醛浸泡24h, 通过冰冻切片、石蜡切片、HE染色、油红O染色、Masson三染等步骤, 利用专用图像分析软件进行切片病理学分析。

1.3 观察指标

(1)MR HR-VWI检查各检查图像质量评分及各检查方式获得的斑块数量与斑块成分: 参考能谱CT及MR HR-VWI图像中斑块成分分析标准^[5-6]。

(2)各成分斑块的CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率比较。

(3)各成分斑块的MR HR-VWI检查表现。

(4)能谱CT、MR HR-VWI单独及联合评估颈动脉斑块成分的效能: 分析各检查方式单独与联合检查颈动脉钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质与病理结果的符合率, 其中联合检查是以任意一项检查显示为阳性结果即为联合检查阳性。

1.4 统计学方法 数据分析采用SPSS 20统计学软件。计量资料经检验符合正态分布, 以($\bar{x} \pm s$)描述, 多样本比较采用单因素方差分析和SNK-q检验; 计数资料以“例/百分比”表示, 各检查项目单独与联合判断斑块成分与病理结果的符合率比较采用 χ^2 检验; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

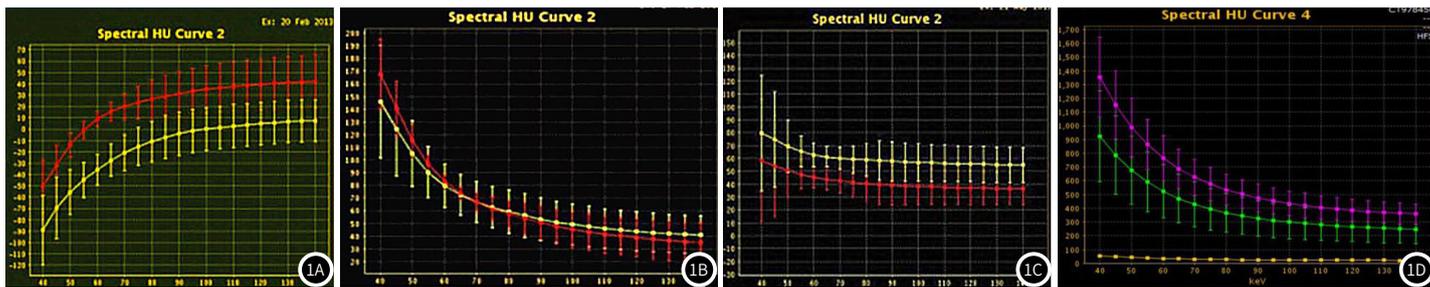


图1A-1D 颈动脉斑块内各成分能谱CT曲线; 图1A 脂质成分能谱曲线(红色、黄色曲线分别代表脂质、皮下脂肪组织); 图1B 纤维基质成分能谱曲线(黄色、黄色曲线分别代表纤维基质、周围肌肉组织); 图1C 血栓样组织成分能谱曲线(黄色、红色曲线分别代表血栓样组织、血液); 图1D 钙化成分能谱曲线(绿色、紫色曲线分别代表钙化、骨骼)

2 结果

2.1 病理检查结果 经病理学检查分析, 82例患者术后共获得斑块194处, 其中钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质分别为35处(18.04%)、55处(28.35%)、44处(22.68%)、60处(30.93%)。

2.2 MR HR-VWI检查各检查图像质量评分及各检查方式获得的斑块数量与斑块成分 82例行MR HR-VWI检查的患者中, 经图像质量评分后, 其中图像质量评分为3分者49例, 图像质量评分为4分者33例。

能谱CT及MR HR-VWI检查出斑块分别有161处和158处。其中能谱CT检查出钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质分别有30处(18.63%)、41处(25.47%)、34处(21.12%)及56处(34.78%), 而MR HR-VWI检查出上述斑块成分对应分别有27处(17.09%)、48处(27.59%)、38处(24.05%)与45处(28.48%)。

2.3 各成分斑块的CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率 钙化斑块、纤维基质、血栓样组织及脂质中的CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率, 两两比较差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表2。

2.4 各成分斑块的MR HR-VWI检查表现 钙化斑块在T₁WI、T₂WI、PDWI、TOF等序列上均呈低信号; 纤维基质斑块在T₁WI、TOF序列上显示为等和低信号, 而在T₂WI、PDWI序列上显示为信号多; 脂质在T₁WI序列上显示为低信号, 而在T₂WI、PDWI和TOF序列上表现为等、略高信号; 血栓样组织在T₁WI、T₂WI、PDWI序

列上呈现明显高信号, 在TOF序列上呈现混杂、高信号。

2.5 能谱CT、MR HR-VWI及二者联合评价颈动脉斑块成分的效能 在能谱CT检查出的30处钙化斑块中有29处与病理结果相符合, 41处纤维基质均与病理结果相符合, 34处血栓样组织中有33处与病理结果相符合, 56处脂质中有53处与病理结果相符合, 能谱CT检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质与病理结果的符合率分别为82.86%(29/35)、74.55%(41/55)、75.00%(33/44)、88.33%(53/60); MR HR-VWI检查出的27处钙化斑块均与病理结果相符合, 48处纤维基质中有46处与病理结果相符合, 38处血栓样组织中有36处与病理结果相符合, 45处脂质均与病理结果相符合, MR HR-VWI检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质与病理结果的符合率分别为77.14%(27/35)、83.64%(46/55)、81.82%(36/44)、75.00%(45/60)。能谱CT、MR HR-VWI联合检查出颈动脉斑块190处, 其中钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质分别有34处(17.89%)、54处(28.42%)、43处(22.63%)、59处(31.05%), 其中钙化斑块、脂质均与病理结果相符合, 53处纤维基质与病理结果相符合, 41处血栓样组织与病理结果相符合, 能谱CT、MR HR-VWI联合检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质与病理结果的符合率分别为97.14%(34/35)、96.36%(53/55)、95.45%(42/44)、98.33%(59/60)。能谱CT、MR HR-VWI联合检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质与

病理结果的符合率均高于各自单独检查(钙化斑块: $\chi^2=3.968$ 、6.248, $P=0.046$ 、0.012; 纤维基质: $\chi^2=10.532$ 、4.949, $P=0.001$ 、0.026; 血栓样组织: $\chi^2=7.311$ 、4.062, $P=0.007$ 、0.044; 脂质: $\chi^2=4.821$ 、14.135, $P=0.028$ 、0.000)。

表2 各成分斑块的CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率比较

斑块成分	数量	CT值(HU)	有效原子序数	能谱曲线斜率
钙化斑块	30	600.48±112.34	11.48±2.04	3.88±0.67
纤维基质	41	85.64±15.92 ^a	8.64±1.51 ^a	2.36±0.47 ^a
血栓样组织	34	61.52±12.09 ^{ab}	7.29±1.19 ^{ab}	0.45±0.08 ^{ab}
脂质	56	-52.18±10.07 ^{abc}	3.24±0.55 ^{abc}	-3.53±0.62 ^{abc}
F		1183.199	286.506	1670.019
P		0.000	0.000	0.000

注:与钙化斑块比较,^a $P<0.05$;与纤维基质比较,^b $P<0.05$;与血栓样组织比较,^c $P<0.05$ 。

3 讨论

颈动脉斑块形成是常见的血管壁病变,有研究表明^[7],一旦斑块破裂便会诱发形成血栓,增加急性心肌或脑梗死等的发生风险。目前,能谱CT与MR HR-VWI检查是判断斑块病变形态结构的两种常用方式,报道表明^[8-9],能谱CT分析较传统CT可准确显示颈动脉斑块各成分的分佈;MR-VWI较其可准确判断出不稳定性斑块。以上报道对2种检查方法在颈动脉斑块分析中的价值均给予了肯定,但单独应用时均在识别斑块成分方面存在一定的局限性。因此,本研究特分析二者联合应用于颈动脉斑块成分的分析中,以为临床工作提供更加准确的指导。

能谱CT具有物质分离与能谱技术,能够通过物质CT衰减曲线而对板内纤维成分、血栓样组织和脂质成分进行有效区分,并且能够通过物质分离技术而定量分析与鉴别斑块内物质。本研究结果显示,CT值、有效原子序数、能谱曲线斜率在钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质中均依次降低,表明能谱CT相关参数在不同的成分斑块中表现不一,可据此对颈动脉斑块成分进行评估。有研究表明^[10],能谱CT检查方法可通过不同的CT值标准曲线来判断斑块内各种主要成分及其比例,此与本研究结果相符合。因此,能谱CT可有效分析颈动脉斑块成分,此可为临床工作中判断颈动脉斑块成分提供量化依据。

MR HR-VWI检查对软组织的分辨率极高,能够以多种不同的序列信号如T₁WI、T₂WI、PDWI、TOF等的特征变化而对斑块内钙化、脂质等各成分进行鉴别,提供丰富的组织信息,还可通过注射对比剂的方式了解斑块的稳定性^[11]。本研究结果显示,钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质在T₁WI、T₂WI、PDWI、TOF等序列上的信号特征不同,表明可据此对斑块成分进行分析。相关研究报道^[12],颈动脉钙化斑块在MR HR-VWI检查TOF序列中较易辨认;颈动脉斑块的纤维基质成分的信号强度表现不一,可能是与胶原、平滑肌纤维以及血管成分的不同和背景信号强弱有关;颈动脉斑块的血栓样组织成分的影像学表现主要与其含铁血红素的氧化状态相关,大多会在各序列中显示为明显高信号;颈动脉斑块脂质成分因具有较高的氢离子含量,易在T₁WI与PDWI序列上显示高/等强度信号。因此,临床中可借助MR HR-VWI检查而对颈动脉斑块成分进行鉴别分析,进而评估斑块性质,从而预测患者危险性,及时制定相应预防与治疗措施。

此外,本研究结果发现,能谱CT与MR HR-VWI联合检查钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质成分与病理学检查结果的符合率均较各自单独检查高,表明能谱CT联合MR HR-VWI在评估颈动脉斑块成分方面能够获得更佳的临床应用价值。周顺厚^[13]等和李树合^[14]等报道显示,能谱CT检查评估钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质成分的灵敏度分别为78.40%、82.13%、82.40%、81.76%,准确度分别为86.40%、88.40%、89.12%、90.38%,另MR HR-VWI检查评估上述各斑块成分的灵敏度分别为79.00%、83.00%、83.28%、82.34%,准确度分别为87.21%、90.20%、90.03%、89.38%,表明能谱CT、MR HR-VWI在评估

颈动脉斑块成分上均有较好的应用价值,但鉴别评估价值均有一定的上升空间。在本研究中,将能谱CT与MR HR-VWI联合应用于颈动脉斑块成分的鉴别评估中,其相互配合可进行优势互补,能够更为准确地评价患者的斑块成分,为临床上患者干预方案的制定提供参考。因此,在临床工作中,可对颈动脉粥样硬化患者行能谱CT与MR HR-VWI联合检查,以为颈动脉斑块成分的分析提供更加可靠的影像学依据。另林光耀^[15]等研究报道,能谱CT联合MR HR-VWI诊断颈动脉斑块稳定性的敏感度、特异性分别为87.5%、95.2%,较能谱CT(78.1%、85.7%)和MR HR-VWI(81.3%、90.5%)有所提高,表明能谱CT联合MR HR-VWI可提高对颈动脉斑块稳定性的诊断效能。本研究与上述报道相比较,着重分析能谱CT、MR HR-VWI联合对颈动脉斑块具体成分的评估价值,能够更好地识别斑块内高风险成分,为临床预测脑血管事件、积极干预和改善患者的预后提供更准确、客观的依据。

综上所述,能谱CT与MR HR-VWI均可对颈动脉板内钙化斑块、纤维基质、血栓样组织、脂质成分进行较好地分析,但此二者联合评估颈动脉斑块成分的临床价值更高,对进一步评估患者颈动脉粥样硬化斑块的风险等具有重要指导意义。

参考文献

- [1] Kawai K, Fujii K, Shirakawa M, et al. Comparison of angiography and histopathology for the evaluation of carotid plaque characteristics: an ex vivo validation study[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(2): 231-239.
- [2] Wang JJ, Fan SJ, Wang LL. Clinical relevance of gemstone spectral CT in the diagnosis of carotid atherosclerosis[J]. Exp Ther Med, 2017, 13(6): 2629-2636.
- [3] 冯金艳, 邱丽华. MRI检查对颈动脉粥样硬化斑块的诊断价值研究[J]. 陕西医学杂志, 2019, 48(4): 61-63.
- [4] Müller MD, Lyrer PA, Brown MM. Carotid Artery Stenting Versus Endarterectomy for Treatment of Carotid Artery Stenosis[J]. Stroke, 2021, 52(1): e3-e5.
- [5] Shinohara Y, Sakamoto M, Kuya K, et al. Assessment of carotid plaque composition using fast-kV switching dual-energy CT with gemstone detector: comparison with extracorporeal and virtual histology-intravascular ultrasound[J]. Neuroradiology, 2015, 57(9): 889-895.
- [6] 罗南, 刘一, 范占明. MRI评估颈动脉粥样硬化斑块成分, 类型及其与临床症状的相关性[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2013, 12(23): 10519-10524.
- [7] Kao AH, Lertratanakul A, Elliott JR, et al. Relation of carotid intima-media thickness and plaque with incident cardiovascular events in women with systemic lupus erythematosus [J]. Am J Cardiol, 2013, 112(7): 1025-1032.
- [8] Wang JJ, Fan SJ, Wang LL, et al. Clinical relevance of gemstone spectral CT in the diagnosis of carotid atherosclerosis[J]. Exp Ther Med, 2019, 18(6): 4528.
- [9] Hingwala DR, Chandrasekhakan K, Thomas B. Atherosclerotic Carotid Plaques: Multimodality Imaging with Contrast-enhanced Ultrasound, Computed Tomography, and Magnetic Resonance Imaging[J]. Ann Indian Acad Neurol, 2017, 20(4): 378-386.
- [10] 刘良进, 毕俊英, 曹艳妮, 等. 能谱CT成像对颈动脉粥样硬化斑块性质评估及其与脑梗卒中发生率的关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(1): 44-46.
- [11] Di Napoli A, Cheng SF, Gregson J, et al. Arterial Spin Labeling MRI in Carotid Stenosis: Arterial Transit Artifacts May Predict Symptoms[J]. Radiology, 2020, 297(3): 652-660.
- [12] 罗和川. MRI诊断颈动脉粥样硬化斑块成分的Meta分析[D]. 重庆, 重庆医科大学, 2019.
- [13] 周顺厚, 陈焱群, 崔冰, 等. 能谱CT血管成像在颈动脉斑块影像学特征评价中的应用价值[J]. 现代医用影像学, 2017, 26(6): 1583-1586.
- [14] 李树合, 周定标, 姜昕, 等. 高分辨MRI对颈动脉粥样硬化斑块成分显示的病理对照研究[J]. 中华神经外科杂志, 2007, 23(7): 514-516.
- [15] 林光耀, 隋愚, 李依明, 等. 能谱CT联合MR高分辨率管壁成像对颈动脉斑块成分分析、病理对照及诊断效能[J]. 中国临床医学影像杂志, 2022, 33(1): 15-19, 23.

(收稿日期: 2022-11-03)

(校对编辑: 姚丽娜)