

❖ 头颈部影像学

Analysis of the components of carotid plaque and relationship with cerebral infarction with spectral CTA

JI Zhiyan, LIU Dexiang, CHEN Xianjie, HE Xueping, XIANG Zhiming*

(Department of Radiology, Guangzhou Panyu Central Hospital, Guangzhou 511400, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the feasibility of energy spectrum CT angiography (CTA) in distinguishing the components of atherosclerosis plaque in carotid artery, and to analyze the relationship of different type atherosclerosis plaque with cerebral infarction. **Methods** Energy spectrum CTA and head MRI were performed on 60 patients with carotid artery stenosis detected with ultrasound. CT value and effective atomic number of plaque, fat, muscle and bone tissue were measured, respectively. The characteristic energy spectrum curve of average CT value in 40—140 keV single energy image were obtained, and slope of energy spectrum curve was calculated. Cerebral infarction was evaluated based on MRI results. According to the results of energy spectrum CTA, the plaques were divided into lipid plaque, lipid core-dominated mixed plaque, fibrous composites-dominated mixed plaque, fibrous plaque and calcified plaque. The lipid plaque and lipid/fiber mixed plaque were classified as unstable plaque, and the fibrous plaque and calcified plaque were classified as stable plaque. The differences of the slope of energy spectrum curve and effective atomic number in patients of each type plaques were compared. The incidences of cerebral infarction in patients with various types of plaques were correlated. **Results** A total of 109 carotid plaques were enrolled, including 21 lipid plaque, 11 lipid core-dominated mixed plaque, 30 fibrous composites-dominated mixed plaque, 15 fibrous plaque and 32 calcified plaque. Statistical differences of the corresponding energy curve slope and effective atomic number were found among different type plaques ($F=1\,494.83, 2\,108.74$, both $P<0.01$). Totally 19, 11, 19, 10 and 20 patients were found with lipid plaque, lipid core-dominated mixed plaque, fibrous composites-dominated mixed plaque, fibrous plaque and calcified plaque, among them MRI detected cerebral infarction in 13, 6, 7, 2 and 1 patient, and the incidence of cerebral infarction was 68.42% (13/19), 54.55% (6/11), 36.84% (7/19), 11.11% (1/9), and 0 (0/20), respectively. The incidence of cerebral infarction in all 60 patients was 45.00% (27/60), in those with unstable plaque or stable plaque was 53.06% (26/49) and 3.33% (1/30), respectively. **Conclusion** Energy spectrum CTA could be used for detailed analysis on the components and types of carotid plaques. The more the lipid components of plaque, the worse its stability, and the higher the risk of cerebral infarction.

[Keywords] plaque; cerebral infarction; tomography, X-ray computer; angiography

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.09.008

能谱 CTA 分析颈动脉斑块成分及其与脑梗死的关系

姬智艳, 刘德祥, 陈显杰, 贺雪萍, 向之明*

(广州市番禺区中心医院影像科, 广东 广州 511400)

[摘要] **目的** 探讨能谱 CT 血管成像(CTA)区分颈动脉粥样硬化斑块成分的可行性,并分析斑块类型与脑梗死的相关性。**方法** 对 60 例经超声检出的颈动脉狭窄患者行头颈部能谱 CTA 和颅脑 MRI。分别测量斑块、脂肪、肌肉和骨骼

[基金项目] 广东省自然科学基金项目(2015A030313753)、广州市民生科技攻关计划项目(201903010032)、广州市番禺区科技计划项目(2017-Z04-69)。

[第一作者] 姬智艳(1981—),女,河北邯郸人,硕士,主治医师。研究方向:头颈部影像诊断学。E-mail: jizhiyan@163.com

[通信作者] 向之明,广州市番禺区中心医院影像科,511400。E-mail: xzmzg@126.com

[收稿日期] 2019-08-08 **[修回日期]** 2020-01-17

组织的 CT 值及有效原子序数,获得 40~140 keV 单能量图像平均 CT 值的特征能谱曲线,计算能谱曲线斜率。根据 MRI 结果评估患者是否存在脑梗死;根据能谱 CTA 结果将斑块分为脂质斑块、脂质核心为主的混合斑块、纤维成分为主的混合斑块、纤维斑块及钙化斑块,将脂质斑块和脂质/纤维混合斑块归为不稳定斑块,纤维斑块和钙化斑块归为稳定斑块。比较各斑块的能谱曲线斜率及有效原子序数差异;计算存在各类型斑块患者的脑梗死发生率。**结果** 共纳入 109 个斑块,包括 21 个脂质斑块、11 个脂质核心为主混合斑块、30 个纤维成分为主混合斑块、15 个纤维斑块及 32 个钙化斑块。各斑块能谱曲线斜率及有效原子序数差异均有统计学意义($F=1\,494.83, 2\,108.74, P$ 均 <0.01)。19 例存在脂质斑块,11 例见脂质核心为主混合斑块,19 例存在纤维成分为主混合斑块,10 例见纤维斑块,20 例见钙化斑块。MRI 于各类型斑块患者中分别检出 13 例、6 例、7 例、2 例及 1 例脑梗死,相应脑梗死发生率分别为 68.42%(13/19)、54.55%(6/11)、36.84%(7/19)、11.11%(1/9)及 0(0/20);60 例总体脑梗死发生率为 45.00%(27/60),其中存在不稳定斑块和稳定斑块患者脑梗死发生率分别为 53.06%(26/49)和 3.33%(1/30)。**结论** 能谱 CTA 可用于细化分析颈动脉斑块成分及类型。斑块脂质成分越多,稳定性越差,患者发生脑梗死的风险越高。

[关键词] 斑块;脑梗死;体层摄影术,X 线计算机;血管造影术

[中图分类号] R543.4; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2020)09-1309-05

颈动脉粥样硬化病变是脑梗死的危险因素,所形成的颈动脉斑块可致颈动脉狭窄致颅内血流灌注不足,不稳定斑块脱落则形成栓子,栓塞颅内血管而诱发脑梗死^[1]。宝石能谱 CT 具有单能量成像、物质分离及能谱曲线等分析颈动脉斑块形态及成分的功能^[2-3]。本研究探讨宝石能谱 CT 血管成像(CT angiography, CTA)区分颈动脉斑块成分的可行性,并分析其与脑梗死的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2018 年 8 月—2019 年 12 月 60 例于广州番禺中心医院经彩色多普勒超声确诊的颈动脉斑块(颈动脉狭窄率 35.38%~67.25%)患者,男 34 例,女 26 例,年龄 40~75 岁,中位年龄 59 岁。纳入标准:①临床症状主要为肢体麻木、乏力、头疼或头晕、言语不清、口角歪斜及偏身感觉障碍等;②于超声检查后 1 个月内接受头颈部能谱 CTA 和颅脑 MRI,CTA 图像清晰,无血管发育畸形等。

1.2 仪器与方法 采用 GE Discovery CT750 HD 宝石能谱 CT 机行头颈部 CTA。嘱患者仰卧,由足部向头部方向扫描,范围自主动脉弓至颅顶。扫描参数:管电压 80 kVp 与 140 kVp 瞬时切换,管电流 630 mA,机架旋转时间为 0.5 s/r,探测器宽度 0.625 mm×64, SFOV 25.0 cm,层厚及层距均 0.625 mm。完成平扫后,以流率 4.5 ml/s 经右侧肘静脉注射对比剂碘海醇 80 ml 或 1.5 ml/kg 体质量(>80 ml),

选取升主动脉中部为 ROI,设置 CT 阈值为 100 HU,达到峰值后延迟 5 s,以 0.6×0.625 mm GSI 模式行能谱 CT 扫描。采用 Siemens Avanto 1.5T 超导 MR 仪行颅脑 MRI,采集 T1W、T2W、FLAIR 及 DWI 等序列图像。

1.3 图像分析 将能谱 CTA 原始数据导入 GE ADW4.6 工作站,由 2 名具有 8 年以上头颈部影像学诊断经验的主治医师于 3 个层面图像所示颈动脉斑块上手动勾画面积约 2 mm^2 的 ROI,测量其 CT 值及有效原子序数,取均值为结果,获得其 40~140 keV 单能量图像平均 CT 值的特征能谱曲线;之后于邻近脂肪、肌肉和骨骼组织处分别勾画 ROI,获得相应能谱曲线。采用曲线上对应 40 keV 和 90 keV 的 2 点法计算能谱曲线斜率。判断斑块成分:①斑块曲线与脂肪组织平行(呈弓背向上趋势)且 CT 值 <0 HU 者为脂质斑块(图 1);②斑块曲线与脂肪组织平行且 CT 值分布于 0 HU 上下者为含脂质和纤维成分的混合斑块;CT 值 <0 HU

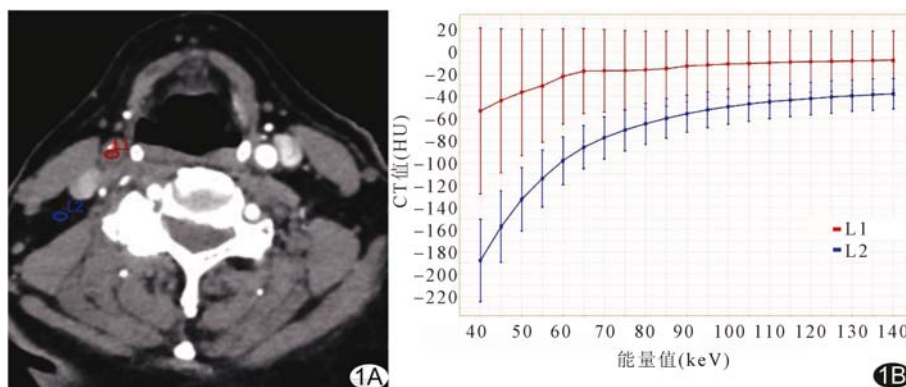


图 1 患者男,58 岁,右侧颈动脉 CTA A. 于斑块(L1)和邻近脂肪组织(L2)勾画 ROI; B. 斑块的能谱曲线与脂肪组织趋势一致,CT 值 <0 HU,提示为脂质斑块

者为以脂质核心为主的斑块(图 2);平均 CT 值 >0 HU 者为以纤维为主的斑块(图 3);③斑块曲线与肌肉组织平行(呈缓慢下降趋势),CT 值 >0 HU,且位于骨骼组织曲线下方者为纤维斑块(图 4);④斑块曲线与骨骼组织平行(呈快速下降趋势)且 CT 值 >0 HU 者为钙化斑块(图 5)。根据美国心脏协会斑块分型标准,将脂质斑块和脂质/纤维混合斑块归为不稳定斑块,纤维斑块和钙化斑块归为稳定斑块。根据 MRI 结果评估患者是否存在脑梗死。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用单因素方差分析比较各斑块的能谱曲线斜率及有效原子序数差异,以 LSD 法行组间两两比较。计算各类型斑块患者脑梗死发生率。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

共 109 个斑块纳入研究,每例 1~4 个,包括 21 个脂质斑块、11 个脂质核心为主的混合斑块、30 个纤维成分为主的混合斑块、15 个纤维斑块及 32 个钙化斑块。各斑块能谱曲线斜率差异有统计学意义($F = 1\,494.83$, $P < 0.01$);两两比较,脂质斑块、脂质核心为主混合斑块、纤维成分为主混合斑块间差异均无统计学意义(P 均 >0.05),其余各斑块间差异均有统计学意义(P 均 <0.01)。各斑块有效原子序数差异有统计学意义($F = 2\,108.74$, $P < 0.01$);两两比较,各斑块间差异均有统计学意义(P 均 <0.01)。见表 1。

60 例中,19 例存在脂质斑块,11 例见脂质核心为主混合斑块,19 例存在纤维成分为主混合斑块,10 例见纤维斑块,20 例见钙化斑块;其中 19 例同时存在 2

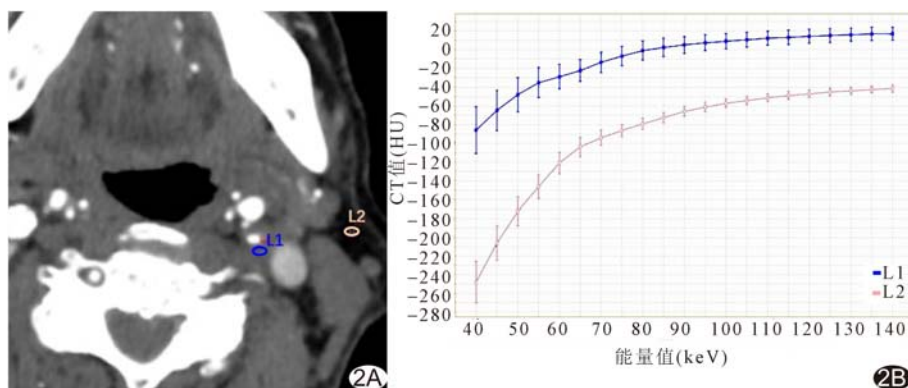


图 2 患者女,62 岁,左侧颈动脉 CTA A. 于邻近脂肪组织(L1)和斑块(L2)勾画 ROI; B. 斑块的能谱曲线与脂肪组织基本平行,CT 值分布于 0 HU 上下且平均值 <0 HU,提示为以脂质核心为主的脂质/纤维混合斑块

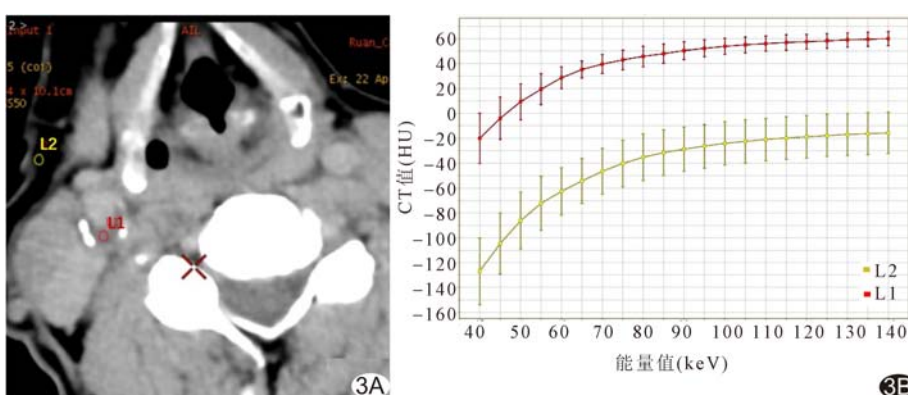


图 3 患者男,65 岁,右侧颈动脉 CTA A. 于斑块(L1)和邻近脂肪组织(L2)勾画 ROI; B. 斑块的能谱曲线与脂肪组织基本平行,CT 值在 0 HU 上下分布且平均值 >0 HU,提示为以纤维成分为主的脂质/纤维混合斑块

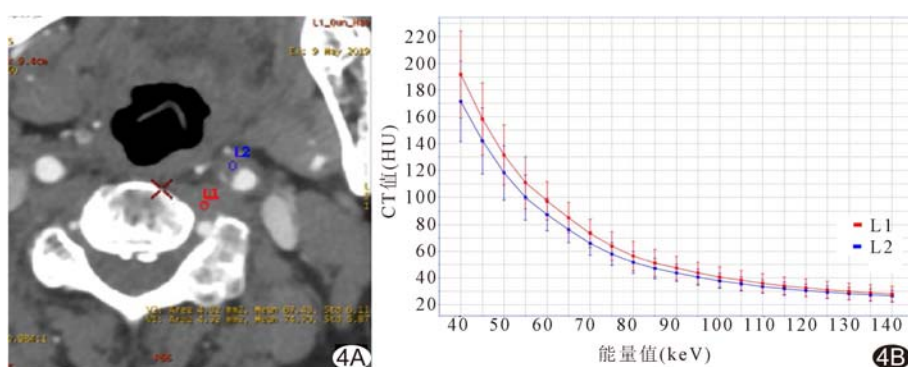


图 4 患者男,57 岁,左侧颈动脉 CTA A. 于斑块(L1)和邻近肌肉组织(L2)勾画 ROI; B. 斑块能谱曲线与肌肉组织基本重合,CT 值 >0 HU 但显著小于钙化斑块和骨骼组织,提示为纤维斑块

种以上不同性质斑块。MRI 于各类型斑块患者中分别检出 13 例、6 例、7 例、2 例及 1 例脑梗死,其中 2 例同时存在 2 种类型斑块;排除斑块交叉后,相应脑梗死发生率分别为 68.42% (13/19)、54.55% (6/11)、36.84% (7/19)、11.11% (1/9)、0 (0/20)。60 例患者总

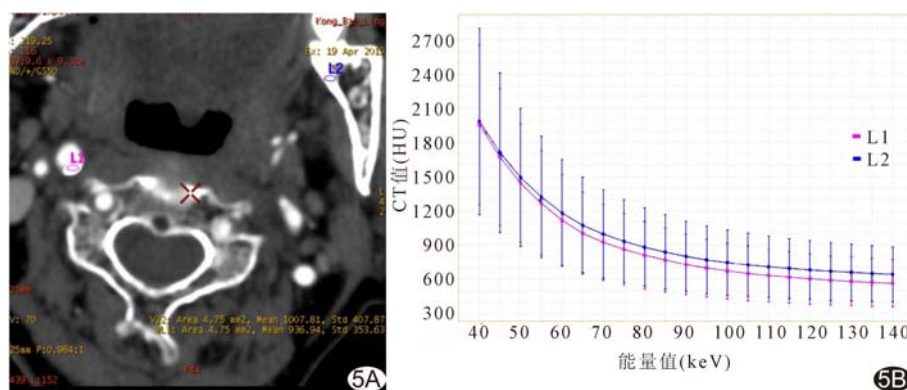


图 5 患者女, 63 岁, 右侧颈动脉 CTA A. 于斑块(L1)和邻近骨骼组织(L2)勾画 ROI; B. 斑效能谱曲线与骨骼组织基本重合, 提示为钙化斑块

表 1 各类型斑块间能谱曲线参数值比较 ($\bar{x} \pm s$)

斑块类型	能谱曲线斜率	有效原子序数
脂质斑块 ($n=21$)	-1.56 ± 0.29	2.52 ± 0.27
脂质核心为主混合斑块 ($n=11$)	-1.69 ± 0.32	4.35 ± 0.34
纤维为主混合斑块 ($n=30$)	-1.62 ± 0.27	6.71 ± 0.65
纤维斑块 ($n=15$)	2.85 ± 0.47	9.75 ± 0.62
钙化斑块 ($n=32$)	22.76 ± 0.68	16.54 ± 1.25
F 值	1 494.83	2 108.74
P 值	<0.01	<0.01

体脑梗死发生率为 45.00% (27/60), 其中存在不稳定斑块和稳定斑块患者脑梗死发生率分别为 53.06% (26/49) 和 3.33% (1/30)。

3 讨论

非侵入性准确分析颈动脉斑块成分及稳定性对预防及诊疗脑梗死具有重要临床意义^[1,4-6]。能谱 CTA 利用单球管瞬时同向高低双能切换技术, 结合宝石探测器的快速响应能力, 可获得单能量高清图、能谱曲线图及有效原子序数图等^[7-11], 相比传统 CTA 显著降低了对比剂用量和辐射剂量^[12]。多项能谱 CTA 分析颈动脉斑块成分与病理对照研究^[8-9,13-14]结果显示, 能谱 CTA 可有效识别钙化、纤维、脂质斑块及斑块出血、溃疡等, 奠定了其用于分析颈动脉斑块成分的基础。

本研究中纤维斑块的能谱曲线斜率和有效原子序数值与文献^[7,15]报道基本一致; 根据能谱曲线和有效原子序数结果, 进一步将含脂质成分斑块分为单纯脂质斑块、脂质核心为主脂质/纤维混合斑块、纤维成分为主脂质/纤维混合斑块, 3 者能谱曲线斜率与脂肪组织近似, 且其间无明显差异, 而 3 者有效原子序数差异有统计学意义, 表明能谱 CTA 可用于分析颈动脉斑块类型。既往研究结果显示脂质斑块的能谱曲线斜率和有效原子序数分别为 (-3.46 ± 0.62) 、 $(3.73 \pm$

$0.88)$ ^[7] 和 (-3.54 ± 0.78) 、 (3.24 ± 0.80) ^[15], 本组以脂质成分为主的 2 类斑块 (单纯脂质斑块、脂质核心为主混合斑块) 的有效原子序数与之相似, 而能谱曲线斜率绝对值较低。

本组 60 例患者颈动脉狭窄率均 $<70\%$, 总体脑梗死发生率仍高达 45%, 提示相比斑块大小, 斑块成分是发生脑梗死更重要的危险因素; 其中不稳定斑块和稳定斑块患者脑梗死发生率分别为 53.06% 和 3.33%, 单纯脂

质斑块、脂质核心为主混合斑块及纤维成分为主混合斑块患者脑梗死发生率分别为 68.42%、54.55% 和 36.84%, 表明斑块内脂质成分含量与发生脑梗死相关, 斑块脂质成分越多, 其稳定性越差, 患者发生脑梗死的风险越高。已有研究^[1,5,10]证实不稳定斑块 (包含脂质、薄纤维帽、出血、溃疡等) 与脑梗死呈正相关, 而稳定斑块 (纤维、钙化) 与发生脑梗死呈负相关。

综上所述, 能谱 CTA 可有效细化分析颈动脉斑块成分及类型; 斑块脂质成分越多, 稳定性越差, 患者发生脑梗死的风险越高。本研究不足之处: ①样本量较少, 无斑块内出血病例; ②未经病理学检查证实斑块成分; ③无法直接证实斑块成分与脑梗死的关系; 有待增加样本量进一步深入研究。

[参考文献]

- [1] DEMARCO J K, HUSTON J 3rd. Imaging of high-risk carotid artery plaques: Current status and future directions [J]. Neurosurg Focus, 2014, 36(1):E1.
- [2] 许云, 倪炯, 王培军. CT 评估颈动脉粥样硬化的研究进展 [J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(2):295-298.
- [3] SHINOHARA Y, SAKAMOTO M, KUYA K, et al. Carotid plaque evaluation using gemstone spectral imaging: Comparison with magnetic resonance angiography [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2017, 26(7):1535-1540.
- [4] SCOUTT L M, GUNABUSHANAM G. Carotid ultrasound [J]. Radiol Clin North Am, 2019, 57(3):501-518.
- [5] BARADARAN H, AL-DASUQI K, KNIGHT-GREENFIELD A, et al. Association between carotid plaque features on CTA and cerebrovascular ischemia: A systematic review and meta-analysis [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(12):2321-2326.
- [6] DENG F, HAO X, TANG Z, et al. Carotid plaque magnetic

- resonance imaging and recurrent stroke risk: A protocol for systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(18):e15410.
- [7] 任小璐, 刘云, 王杏娟, 等. 能谱 CT 评估颈动脉粥样硬化非钙化斑块成分[J]. *中国医学影像技术*, 2013, 29(2):202-205.
- [8] 吴晶涛, 朱庆强, 朱文荣, 等. 能谱 CT 重建模式与 64 层 CT 重建模式对于颈动脉粥样硬化斑块评估能力的对比分析[J]. *中华放射学杂志*, 2015, 49(1):29-32.
- [9] LIU X J, WANG J H, ZHANG P, et al. Identifying the characters of carotid plaques by gemstone spectral imaging and pathologic correlation[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2016, 9(6):8912-8924.
- [10] WANG J J, FAN S J, WANG L L, et al. Clinical relevance of gemstone spectral CT in the diagnosis of carotid atherosclerosis[J]. *Exp Ther Med*, 2017, 13(6):2629-2636.
- [11] 黄琳, 吕发金. CT 评估不稳定性颈动脉斑块研究进展[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2018, 15(12):765-768.
- [12] 薛蕴菁, 刘元芬, 夏伟委, 等. 能谱 CT 结合低剂量碘对比剂个体化方案成像在颈动脉 CT 血管成像中的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2015, 49(10):774-777.
- [13] MANNELLI L, MACDONALD L, MANCINI M, et al. Dual energy computed tomography quantification of carotid plaques calcification: Comparison between monochromatic and polychromatic energies with pathology correlation[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(5):1238-1246.
- [14] MANNIL M, RAMACHANDRAN J, de MARTINI I V, et al. Modified dual-energy algorithm for calcified plaque removal evaluation in carotid computed tomography angiography and comparison with digital subtraction angiography[J]. *Invest Radiol*, 2017, 52(11):680-685.
- [15] 赵超, 张昊, 宫长水. 能谱 CT 成像对颈动脉粥样硬化斑块成分的解析[J]. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(22):56-57.

《中国医学影像技术》被数据库收录情况

《中国医学影像技术》杂志是由中国科学院主管, 中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊, 被以下数据库收录:

百种中国杰出学术期刊(2010、2011 年)

中国精品科技期刊

《中文核心期刊要目总览》收录期刊

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

中国科学引文数据库核心期刊

WHO《西太平洋地区医学索引》(WPRIM)来源期刊

荷兰《医学文摘》收录源期刊

英国《科学文摘》收录源期刊

俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊

《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊