

**双层探测器光谱CT虚拟单能量CTA技术对脑血管成像的价值**

李文, 张志伟, 左子钰, 万承鑫, 唐煜, 杨亚敬

The Value of Virtual Monoenergetic Computed Tomography Angiography with Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography for Imaging Cerebral Vessels

LI Wen, ZHANG Zhiwei, ZUO Ziyu, WAN Chengxin, TANG Yu, and YANG Yajing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.074>**您可能感兴趣的其他文章****Articles you may be interested in****双能量CT虚拟单能量成像在鉴别脊柱急慢性压缩骨折中的应用价值**

The Application Value of Dual-Energy CT Virtual Monoenergetic Imaging in the Differential Diagnosis of acute and Chronic Spinal Compression Fractures

CT理论与应用研究. 2021, 30(2): 209–216

双源CT双能量虚拟平扫对直肠癌壁外血管侵犯的诊断价值

Diagnostic Value of Dual-source CT Dual-energy Virtual Non-contrasting Extramural Vascular Invasions of Rectal Cancer

CT理论与应用研究. 2024, 33(1): 42–48

虚拟单能图像与常规CT图像的图像质量对比

Comparison of Image Quality between Virtual Monochromatic Images and Conventional CT Images

CT理论与应用研究. 2022, 31(2): 219–226

能谱CT单能量结合ASiR技术对腹部静脉成像质量的优化研究

The Evaluation of Imaging Quality of Abdominal Vein by Combining Spectral CT Optimal Monotromatic Img and ASiR Technique

CT理论与应用研究. 2019, 28(1): 61–72

能谱CT最佳单能量成像在胃底静脉曲张出血内镜术前的应用价值

The Value of Optimal Monochromatic Spectral CT Imaging in Gastric Variceal Bleeding before Endoscopic Treatment

CT理论与应用研究. 2021, 30(5): 603–609

能谱CT单能量成像结合MAR技术降低金属植入物伪影的体模研究

Utility of Spectral CT Monochromatic Imaging with Metal Artifacts Reduction (MAR) for the Reduction of Metal Artifacts of Embolization Coil Implants

CT理论与应用研究. 2019, 28(5): 529–539



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李文, 张志伟, 左子钰, 等. 双层探测器光谱CT虚拟单能量CTA技术对脑血管成像的价值[J]. CT理论与应用研究(中英文), 2024, 33(6): 669-675. DOI:[10.15953/j.ctta.2024.074](https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.074).

LI W, ZHANG Z W, ZUO Z Y, et al. The Value of Virtual Monoenergetic Computed Tomography Angiography with Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography for Imaging Cerebral Vessels[J]. CT Theory and Applications, 2024, 33(6): 669-675. DOI:[10.15953/j.ctta.2024.074](https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.074). (in Chinese).

双层探测器光谱CT虚拟单能量CTA 技术对脑血管成像的价值

李文¹, 张志伟^{1✉}, 左子钰¹, 万承鑫¹, 唐煜², 杨亚敬¹

1. 重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400416

2. 重庆大学附属黔江医院放射科, 重庆 409099

摘要: 目的: 探讨双层探测器光谱CT虚拟单能量(VMI)(≤70keV)CTA技术对脑小血管成像的应用价值。方法: 回顾性分析在Philips IQon CT行头颈部CTA检查的52例患者的影像资料, 获得常规120kVp混合能量图像和光谱数据重建的40~70keV(间隔10keV)CTA图像。测量大脑中动脉M1段的CT值、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)和同层面血管旁脑实质的CT值和噪声(SD), 并由两名医师以5分法分别对中大脑中动脉的容积再现(VRT)图像和豆纹动脉的最大密度投影(MIP)图像评分并进行比较。结果: 于40~70keV VMI测得的血管CT值、SNR、CNR随着能级降低显著递增, SD值仅稍增, 与常规图像相比差异多有统计学意义; 主观评价中, 40keV和50keV组VRT图像评分为5(5, 5)、5(4, 5); MIP图像评分为4(3, 4)、4(3, 5), 两组主观评分均优于其他组, 两组间差异均无统计学意义。结论: 双层探测器光谱CT小于70keV的虚拟单能量CTA技术可以有效提高脑血管远端分支和豆纹动脉的显示效果, 常规推荐50keV VMI。

关键词: 双层探测器光谱CT; 头颈血管造影术; 虚拟单能量

DOI:[10.15953/j.ctta.2024.074](https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.074) 中图分类号: R814.42; R816.1 文献标识码: A

近年来随着我国人口老龄化及人们生活方式的改变, 颈动脉狭窄、脑血管疾病及脑卒中的发病率越来越高, 脑小血管疾病的检出对脑卒中的防治尤为重要^[1]。头颈CT血管成像(CT angiography, CTA)检查简便、快速、可靠, 是筛查和诊断头颈血管性疾病的重要手段^[2-3]。然而, 其受扫描时机、扫描范围、对比剂注射方案等多种因素的影响, 部分CTA检查显示脑小血管, 尤其是远端分支小血管成像质量较差^[3]。能谱CT虚拟单能量图像(virtual monoenergetic image, VMI)低能量段(<70keV)能明显提高碘对比剂CT值, 优化CTA图像质量^[4-6]。

本研究通过比较双层探测器光谱CT 40~70keV(间隔10keV)虚拟单能量成像技术与120kVp常规混合能量图像对脑远端小血管的显示效果, 探讨其在脑血管成像中的优势与临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2023年8月至2024年5月于重庆医科大学附属第一医院接受头颈部CTA检查患者的影像资料, 其中男性25例, 女性27例, 年龄22~84岁, 平均年龄(56.4±13.3)岁。

纳入标准: 头颈CTA检查采用双层探测器光谱CT能谱扫描, 且能谱基础图像(spectral based image, SBI)数据完整。排除标准: ①运动或金属伪影明显, 影响图像质量; ②既往有头颈部手术史者; ③颈内动脉或椎动脉严重狭窄患者。

本研究已通过医院伦理委员会批准, 审查批号为K2023-230。

1.2 仪器与方法

采用 Philips IQon Spectral CT 扫描仪。嘱咐患者仰卧位, 头先进, 采用双筒高压注射器经右侧肘正中静脉以 4 mL/s 流率注射 60~70 mL 碘帕醇 (370 mgI/mL) 后行头颈 CTA 扫描, 范围自主动脉弓下缘至颅顶。

参数设置: 管电压 120 kVp, 自动调节管电流, 准直器宽度 64×0.625 mm, 螺距 0.985, X 线管转速 0.5 s/r, 矩阵 512×512 ; 自动追踪降主动脉触发扫描, 阈值设置为 100 HU。

采用混合迭代算法 (iDose 4, Level 3) 获得 120 kVp 常规图像, 将 SBI 导入 ISP (IntelliSpace Portal V9) 后处理工作站进行单能量投影空间光谱重建 (Spectral B, Level 3) 生成 (40~70 keV) VMIs; 层厚 1 mm, 层间距 1 mm。采用多平面重组 (multi-planar reformatting, MPR)、容积再现 (volume rendering technique, VRT)、最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP) 等后处理方法重组图像。

1.3 图像质量评价

1.3.1 客观评价

由一名具有 5 年以上工作经验的影像医师分别于 120 kVp 组和 VMIs 组图像中双侧大脑中动脉 (middle cerebral artery, MCA) M1 水平段血管横截面勾画感兴趣区 (region of interest, ROI), 其直径为血管直径的 2/3, 尽量避开血管壁及钙化斑放置, 测量血管 CT 值; 于同层面密度均匀的脑实质区域勾画 ROI (面积约 30 mm^2), 避开血管、侧脑室、骨质等其他结构, 测量其 CT 值、标准差 (standard deviation, SD); 采用系统中复制粘贴的方法, 保证 5 组图像同层面中 ROI 大小、范围及形态一致, 共连续测量 3 次, 取平均值。

以 SD 值作为图像背景噪声, 计算信噪比 (signal noise ratio, SNR) 和对比噪声比 (contrast to noise ratio, CNR) ^[7]:

$$\text{SNR} = \text{CT值}_{\text{血管}} / \text{SD}; \text{CNR} = (\text{CT值}_{\text{血管}} - \text{CT值}_{\text{脑实质}}) / \text{SD} \quad (1)$$

1.3.2 主观评价

由两名具有 5 年以上工作经验的影像医师采用 5 分法共同评价 5 组 VRT、MIP 图像的质量, 有异议时, 共同讨论达成一致意见。

(1) VRT 图像主观评价: 以颈内动脉为一级分支, 大脑中动脉 M1 段为二级分支, 血管每出现一次分叉, 则血管分支级数 +1, 对大脑中动脉 M2/M3/M4 段的显示情况进行评分。评分参考标准 ^[8]: 5 分, 能清晰显示脑血管主干及其 4 级及以上分支, 小血管清晰、边缘锐利; 4 分, 能比较清晰显示脑血管主干及其 4 级及以上分支, 小血管较清楚、边缘不够锐利; 3 分, 脑血管主干及 3 级血管显示较清晰、边缘较锐利, 3 级以上分支小血管显示欠清楚; 2 分, 血管显影较浅淡, 3 级分支血管显示欠清晰、边缘不够锐利, 3 级以上分支小血管显示不清; 1 分, 血管显影浅淡, 仅能显示脑血管 2 级或以下分支, 不能显示和检测出小血管病变。

(2) MIP 图像主观评价: 对豆纹动脉显示情况进行评分。评分参考标准: 5 分, 豆纹动脉形态显示清晰, 边缘锐利; 4 分, 豆纹动脉形态显示较清晰, 边缘一般; 3 分, 豆纹动脉形态可见, 边缘较模糊; 2 分, 豆纹动脉形态隐约可见, 边缘模糊; 1 分, 豆纹动脉形态未见显示。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析, 符合正态分布的计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 采用单因素方差分析比较 5 组图像客观指标差异, 组间分析根据方差齐性采用 LSD-t 检验或 Tamhane T2 检验; 不符合正态分布的计量资料用个数 (频数) 和 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 采用 Friedman 秩和检验比较图像主观评分差异, 组间分析采用配对 Wilcoxon 检验。

$P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量客观评价

5组间图像质量的客观指标结果及比较详情见表1, VMIs组图像CT值、SNR、CNR均高于常规120 kVp组, 除70 keV VMI组与120 kVp组血管CT值差异无统计学意义; 血管CT值、SNR、CNR随着能级降低逐渐提高, 其中40 keV VMI组最高, 组间两两比较差异均有统计学意义。

表1 5组图像质量的客观评价
Table 1 Objective rating of image quality in five groups

评价指标	组别 ($\bar{x} \pm s$, n=52)					统计检验	
	120 kVp 组	70 keV VMI 组	60 keV VMI 组	50 keV VMI 组	40 keV VMI 组	F	P
CT _{血管} /HU	346 ± 67	347 ± 67 ^a	475 ± 97	687 ± 146	1052 ± 233	171.588	< 0.001
SD	9.81 ± 2.21 ^e	7.52 ± 1.80 ^c	7.78 ± 1.84 ^{bd}	8.31 ± 1.94 ^c	9.34 ± 2.22 ^a	12.028	< 0.001
SNR	37.09 ± 11.08	49.10 ± 16.03	64.93 ± 21.88	87.67 ± 29.89	119.78 ± 43.03	77.296	< 0.001
CNR	33.05 ± 10.16	43.88 ± 15.07	59.31 ± 20.83	81.37 ± 28.52	112.69 ± 41.49	78.635	< 0.001

注: a表示该组与120 kVp组比较差异无统计学意义; b表示该组与70 keV VMI组比较差异无统计学意义; c表示该组与60 keV VMI组比较差异无统计学意义; d表示该组与50 keV VMI组比较差异无统计学意义; e表示该组与40 keV VMI组比较差异无统计学意义。

VMIs组(>40 keV)图像噪声SD值均低于常规120 kVp组; 图像噪声随着单能级降低稍有上升, 除40 keV VS. 120 kVp、70 keV VS. 60 keV、60 keV VS. 50 keV VMIs组图像噪声差异无统计学意义外, 其余各组两两比较差异均有统计学意义。

2.2 图像质量主观评价

5组间图像的VRT、MIP评分及比较, 40~60 keV VMIs组VRT、MIP图像评分均高于常规120 kVp组, 70 keV组与120 kVp组VRT、MIP图像主观评分差异无统计学意义。

VRT图像主观评价中, 40 keV组评分最高, 5分占比率100%, 70 keV、60 keV、50 keV组评分依次提高; MIP图像主观评价中, 50 keV组评分最高, 5分占比率46.2%, 70 keV、60 keV、40 keV组评分依次提高。40 keV和50 keV组VRT图像评分为5(5, 5)、5(4, 5); MIP图像评分为4(3, 4)、4(3, 5), 两组主观评分均优于其他组, 两组间差异均无统计学意义(表2、表3和图1、图2)。

表2 5组VRT图像的主观评分
Table 2 Subjective rating of five sets of VRT images

主观评分	组别(例数(频数), n=52)					统计检验	
	120 kVp 组	70 keV VMI 组	60 keV VMI 组	50 keV VMI 组	40 keV VMI 组	Z	P
5分	6(11.5%)	7(13.5%)	17(32.7%)	38(73.1%)	52(100%)		
4分	15(28.8%)	14(26.9%)	20(38.5%)	11(21.2%)	0(0%)		
3分	13(25%)	13(25%)	9(17.3%)	3(5.8%)	0(0%)	169	< 0.001
2分	13(25%)	13(25%)	6(11.5%)	0(0%)	0(0%)		
1分	5(9.6%)	5(9.6%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)		
M(Q ₁ , Q ₂)	3(1, 4) ^b	3(1, 4) ^a	4(2, 4)	5(4, 5) ^e	5(5, 5) ^d		

注: a表示该组与120 kVp组比较差异无统计学意义; b表示该组与70 keV VMI组比较差异无统计学意义; c表示该组与60 keV VMI组比较差异无统计学意义; d表示该组与50 keV VMI组比较差异无统计学意义; e表示该组与40 keV VMI组比较差异无统计学意义。

3 讨论

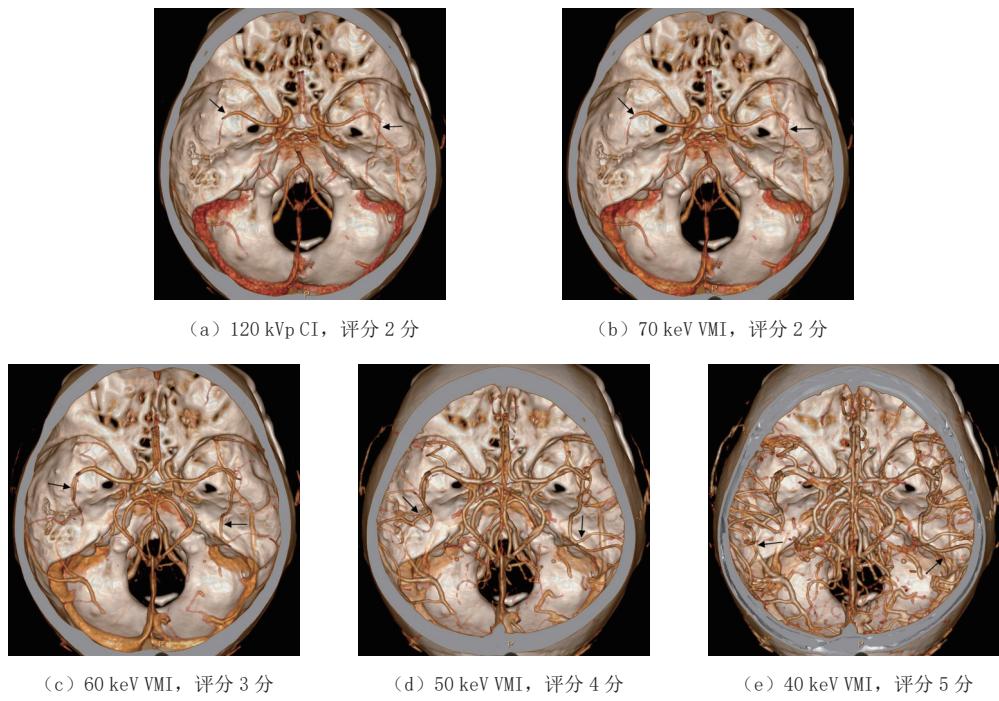
脑小血管疾病的检出率对脑卒中防治起重要作用^[1], 双层探测器光谱CT通过虚拟低单能量CTA技术, 可以提高血管CT值, 优化CTA图像质量^[4-5]。本研究发现, 虚拟单能量CTA(40~70 keV)可以

提高脑小血管的 CT 值、CNR、SNR 和 VRT、MIP 图像质量, 其中 40 keV 和 50 keV VMI 对小血管分支数、清晰度及锐利度的显示效果优于其余能级。

表 3 5 组 MIP 图像的主观评分
Table 3 Subjective rating of five groups of MIP images

主观评分	组别(例数(频数), $n=52$)					统计检验	
	120 kVp 组	70 keV VMI 组	60 keV VMI 组	50 keV VMI 组	40 keV VMI 组	Z	P
5 分	3 (5.8%)	3 (5.8%)	15 (28.8%)	24 (46.2%)	23 (44.2%)		
4 分	15 (28.8%)	23 (44.2%)	26 (50.0%)	24 (46.2%)	20 (38.5%)		
3 分	22 (42.3%)	23 (44.2%)	10 (19.2%)	4 (7.7%)	8 (15.4%)	37	< 0.001
2 分	11 (21.2%)	3 (5.8%)	1 (1.9%)	0 (0%)	1 (1.9%)		
1 分	1 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
$M(Q_1, Q_3)$	3 (2, 4) ^b	3 (3, 4) ^a	4 (3, 5) ^c	4 (3, 5) ^c	4 (3, 4) ^d		

注: a 表示该组与 120 kVp 组比较差异无统计学意义; b 表示该组与 70 keV VMI 组比较差异无统计学意义; c 表示该组与 60 keV VMI 组比较差异无统计学意义; d 表示该组与 50 keV VMI 组比较差异无统计学意义; e 表示该组与 40 keV VMI 组比较差异无统计学意义。



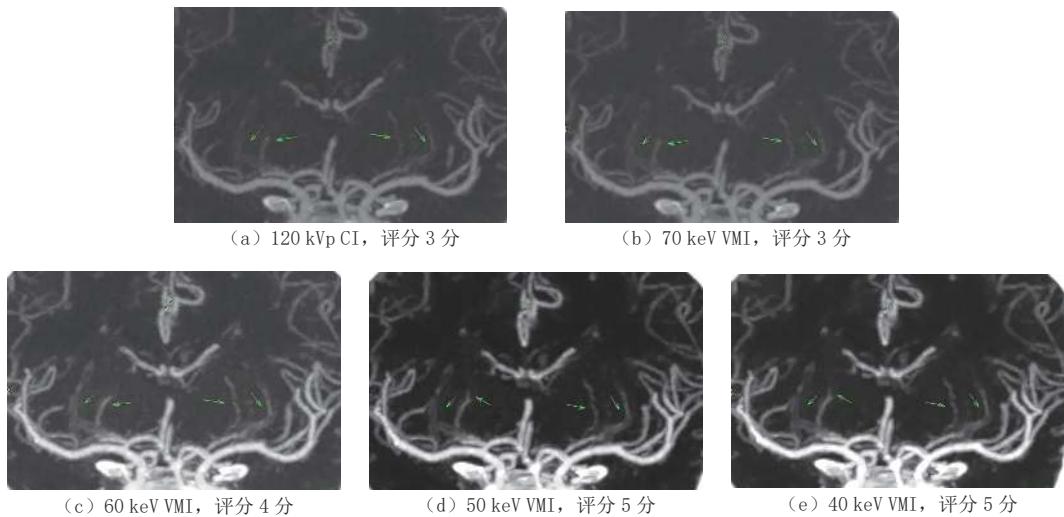
注: 图中箭头所示为不同能级下显示较好的大脑中动脉远端级别分支, 小血管显示分级数越高、清晰度越好评分越高。

图 1 同一病例不同能级 VRT 图像及其主观评分
Fig. 1 VRT images and subjective scores of different energy levels in the same case

双层探测器光谱 CT 可以由原始数据全息光谱图像 (spectral-based imaging, SBI) 回顾性生成 40~200 keV 共 161 级单能量图像, 其中 75~70 keV 图像被认为与常规 120 kVp 图像质量相当, 70 keV 以下低能级图像可以优化碘的增强效果, 提高靶血管对比度, 更好地观察组织细节^[4, 9]。本研究结果 (70~40 keV) VMI 组图像质量均优于常规 120 kVp 组, 进一步证实了此观点。但传统双能量 CT, 随着单能级的降低, 图像噪声明显增加, 限制了较低能级 (50~40 keV) 单能量图像的应用。

在本研究中, 随着单能级降低噪声增加, 其中 60 keV 与 70 keV、50 keV 与 60 keV、40 keV 与 120 kVp 组噪声差异无统计学意义, 表明低单能级图像随着能级降低, 噪声仅稍增, 且最低单能级与常规 120 kVp 混合能级图像噪声相似。这可能与光谱 CT 图像重建采用迭代重建技术 (iDose4) 联合反相

关噪声技术有关,且其在探测器端采取高、低能数据的分离,保证了能谱数据采集的“同源、同时、同向”^[9-10],使其在低能级有效降低噪声和提高图像质量方面相比传统能谱设备更具有优势,此与 Kalisz 等^[11]相关研究结果一致。



注: 图中箭头所示为不同能级下豆纹动脉显示情况,血管清晰度、边缘锐利度显示越好,评分越高。

图 2 同一病例不同能级 MIP 图像及其主观评分

Fig. 2 MIP images and subjective scores of different energy levels in the same case

本研究发现,血管 CT 值、SNR、CNR 随着能级降低显著提高,可能原因是碘物质随着能级的降低具有更高的衰减,当无限接近于碘的 k 缘 (33 keV),光电效应显著增加^[12],从而 CT 值显著提高;结合低单能级图像噪声整体均较低,故脑血管 SNR、CNR 也随能级降低显著递增,其中 40 keV 最高。

VRT 主观评分随着能级降低递增,40 keV 评分最高,考虑原因为随着能级递减,脑血管 CT 值显著提高,从而提高了远端脑小血管的显示。本研究中,在常规 VRT 图像中仅 6 例 (11.5%) 可清晰显示大脑中动脉 4 级及以上脑小血管,在 50 keV VMI 可提高至 38 例 (73%),而在 40 keV VMI 增加到 52 例 (100%),意味着低能级单能量技术可以显著提高脑小血管分支数及其远端清晰度和锐利度。40 keV 组和 50 keV 组比较无统计学差异,可能原因是大部分病例 (73%) 在 50 keV 时就已经可以清晰显示 MCA 四级及以上的脑小血管,故与 40 keV 显示效果相似。

豆纹动脉是发源于大脑动脉环的小穿支动脉的集合,主要负责给大脑基底神经节及其附近区域供血,穿支动脉闭塞所致的腔隙性梗塞约占所有卒中总数的 20%^[13]。相关研究^[14]表明在低 keV 下通过优化窗口设置可提高图像对比度从而有利于观察血管显示情况,本研究参考 Zopfs 等^[15]和 D' Angelo 等^[16]建议的窗口设置,再结合患者个体情况调整最佳窗口,从而对豆纹动脉显示情况行 MIP 主观评价。结果表明,低于 70 keV 的单能量图像可以提高豆纹动脉清晰度、边缘锐利度。其中,50 keV 评分高于 40 keV 可能原因是豆纹动脉中碘充盈不均,40 keV 下碘物质光电效应最显著,从而显得血管边缘模糊、不锐利。VRT、MIP 主观评价中,40 keV 与 50 keV 图像质量均优于其余能级,但两者差异无统计学意义,基于最高能级的 VMI 图像质量最接近常规图像原则^[6,17],推荐常规采用 50 keV 单能量 CTA 技术来提高脑血管的成像质量。廖海等^[18]、宋婷婷等^[19]也发现在脑动脉 CTA 中采用能谱单能量成像技术可提高图像质量,50 keV 为最佳,与本研究结果相似。

本研究的不足及展望。病例有限,但采用个体内比较,其他影响结果的因素可控,对结果影响较小;本研究仅探讨常规对比剂用量及流速下单能级图像对脑小血管显示的影响,后续将进一步探讨单能量 CTA 在降低对比剂用量的价值。

综上所述,双层探测器光谱 CT 小于 70 keV 的虚拟单能量 CTA 技术可以有效提高脑血管的成像质量,在临床工作中常规推荐使用 50 keV VMI。

参考文献

- [1] 王陇德, 彭斌, 张鸿祺, 等. 《中国脑卒中防治报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136–144. WANG L D, PENG B, ZHANG H Q, et al. Brief report on stroke prevention and treatment in China, 2020[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases, 2022, 19(2): 136–144. (in Chinese).
- [2] NEUHAUS V, GROBÉ H N, ABDULLAYEV N, et al. Comparison of virtual monoenergetic and polyenergetic images reconstructed from dual-layer detector CT angiography of the head and neck[J]. European Radiology, 2018, 28(3): 1102–1110.
- [3] 付永春, 江滨, 张磊, 等. 双层探测器能谱 CT 60 keV 单能图像在头颈部 CTA 中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(5): 449–453. FU Y C, JIANG B, ZHANG L, et al. Double-layer detector spectrum CT 60 keV single energy images CTA of head and neck[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2021, 29(5): 449–453. (in Chinese).
- [4] 中华医学会放射学分会, 中国医师协会放射医师分会, 安徽省影像临床医学研究中心. 能量 CT 临床应用中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(5): 476–487.
- [5] McCOLLOUGH C H, BOEDEKER K, CODY D, et al. Principles and applications of multienergy CT: Report of AAPM task group 291[J]. Medical Physics, 2020, 47(7): e881–e912.
- [6] 郭红红, 曹珊, 杨晨, 等. 光谱 CT 虚拟单能量图像优化胸部增强 CT 显示肺动脉[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(9): 1395–1400. GUO H H, CAO S, YANG C, et al. Virtual monoenergetic image of spectral chest CT for optimizing displaying of pulmonary arteries in enhanced chest CT[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2022, 38(9): 1395–1400. (in Chinese).
- [7] 王永胜, 张鹏宇, 李方中, 等. 不同管电压对头颈部 CTA 图像质量影响的研究[J]. CT 理论与应用研究, 2022, 31(5): 631–638. DOI:10.15953/j.ctta.2022.026. WANG Y S, ZHANG P Y, LI F Z, et al. Study on the influence of head and neck CTA image quality under different tube voltages[J]. CT Theory and Applications, 2022, 31(5): 631–638. DOI: 10.15953/j.ctta.2022.026. (in Chinese).
- [8] 柴学, 张龙江, 卢光明, 等. 双能量 CT 头颅血管成像的影像质量、辐射剂量及初步临床应用[J]. 中华放射学杂志, 2009, 43(7): 725–729. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.07.016. CHAI X, ZHANG L J, LU G M, et al. Dual energy CT intracranial angiography: Image quality, radiation dose and initial application results[J]. Chinese Journal of Radiology, 2009, 43(7): 725–729. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.07.016. (in Chinese).
- [9] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组. 双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识 (第一版)[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7): 635–643.
- [10] 罗昆, 董仟, 杨明, 等. 双层探测器光谱 CT 单能量成像联合个性化注射方案在颅脑 CT 血管成像中的应用研究[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(2): 196–200. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20210419-00382. LUO K, DONG Q, YANG M, et al. The application value of monoenergetic imaging on dual-layer spectral detector CT combined with individual injection protocol in brain CT angiography[J]. Chinese Journal of Radiology, 2022, 56(2): 196–200. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20210419-00382. (in Chinese).
- [11] KALISZ K, RASSOULI N, DHANANTWARI A, et al. Noise characteristics of virtual monoenergetic images from a novel detector-based spectral CT scanner[J]. European Journal Radiology, 2018, 98: 118–125. DOI:10.1016/j.ejrad.2017.11.005.
- [12] 梁晓雪. 双源 CT 双能量肺动脉成像低剂量扫描的应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2022.
- [13] 孔庆乐. 颅内穿支动脉的高分辨率磁共振成像[D]. 北京: 中国科学院大学, 2020.
- [14] de CECCO C N, CARUSO D, SCHOEPP U J, et al. Optimization of window settings for virtual monoenergetic imaging in dual-energy CT of the liver: A multi-reader evaluation of standard monoenergetic and advanced image-based monoenergetic datasets[J]. European Journal Radiology, 2016, 85(4): 695–699. DOI:10.1016/j.ejrad.2016.01.007.
- [15] ZOPFS D, LENNARTZ S, ABDULLAYEV N, et al. Generally applicable window settings of low-keV virtual monoenergetic reconstructions in dual-layer CT angiography of the head and neck[J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(8): 3408–3417. DOI:10.21037/qims-20-1140.
- [16] D'ANGELO T, LENGA L, ARENDT C T, et al. Carotid and cerebrovascular dual-energy computed tomography angiography: Optimization of window settings for virtual monoenergetic imaging reconstruction[J]. European Journal of Radiology, 2020, 130: 109166–109166. DOI:10.1016/j.ejrad.2020.109166.
- [17] 吕天翎. 基于深度学习的双能 CT 成像[D]. 南京: 东南大学, 2022.
- [18] 廖海, 邓德茂, 黄增超, 等. CT 能谱单能量成像用于提高脑血管 CTA 成像质量[J]. 中国介入影像与治疗学, 2014, 11(10): 680–683. LIAO H, DENG D M, HUANG Z C, et al. Spectral CT monochromatic imaging in improving the image quality

- of head CT angiography[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2014, 11(10): 680–683. (in Chinese).
- [19] 宋婷婷, 李真林, 赵俐红, 等. 低管电流能谱单能量结合多模型自适应统计迭代重组算法技术对头颅 CT 血管成像图像质量及辐射剂量影响: 体模与临床研究[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(11): 998–1004.
- SONG T N, LI Z L, ZHAO L H, et al. Virtual monochromatic images in low tube current dual-energy spectral imaging combined with adaptive statistical iterative reconstruction in head CT angiography: Phantom and clinical study[J]. Chinese Journal of Radiology, 2019, 53(11): 998–1004. (in Chinese).

The Value of Virtual Monoenergetic Computed Tomography Angiography with Dual-layer Detector Spectral Computed Tomography for Imaging Cerebral Vessels

LI Wen¹, ZHANG Zhiwei^{1✉}, ZUO Ziyu¹, WAN Chengxin¹, TANG Yu², YANG Yajing¹

1. Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

2. Department of Radiology, Qianjiang Hospital Affiliated to Chongqing University, Chongqing 409099, China

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the application value of virtual monoenergetic (VMI) (≤ 70 keV) computed tomography angiography (CTA) in imaging small cerebral vessels with dual-layer detector spectral CT. Methods: The imaging data of 52 patients who underwent head and neck CTA using Philips IQon CT were retrospectively analyzed. Conventional 120 kVp mixed energy images and 40~70 keV (10 keV interval) VMI CTA images reconstructed using spectral data were obtained. The CT value, signal-to-noise ratio (SNR), contrast noise ratio (CNR), and CT value and noise (SD) of the paravascular cerebral parenchyma at the same level were measured in the M1 segment of the middle cerebral artery. The image quality of the middle cerebral artery in volume reconstruction (VRT) and lepidopleural artery in maximum density projection (MIP) was scored by two physicians using a 5-point Likert scale. The evaluation results between the different groups were compared. Results: The CT, SNR, and CNR values of blood vessels at 40~70 keV VMI increased with a decrease in energy level, and the SD values increased slightly, with more statistically significant differences compared with conventional images. In the subjective evaluation, the VRT images in the 40 keV and 50 keV groups were 5 (5, 5) and 5 (4, 5), respectively, and the MIP image scores were 4 (3, 4) and 4 (3, 5), respectively. The subjective scores of both groups were better than those of the other groups, with no statistically significant difference. Conclusion: Virtual monoenergetic CTA technology with dual-layer spectral CT < 70 keV can effectively improve the display effect of the distal branch of the cerebral small vessels and legume artery, and 50 keV VMI CTA is recommended.

Keywords: dual-layer detector spectral CT; head and neck CTA; virtual monoenergetic images



作者简介: 李文, 女, 学士, 重庆医科大学附属第一医院放射科主管技师, 主要从事 DR、CT、MRI 操作及应用等方面的研究, E-mail: liwen@cqmu@163.com;
张志伟[✉], 男, 博士, 重庆医科大学附属第一医院放射科副主任技师, 重庆医科大学影像技术学系办公室主任、硕士生导师, 主要从事影像技术规范化临床应用和新技术应用研究, E-mail: zhangzhiwei@cqmu@163.com。