

光谱 CT 显示左结肠动脉的最佳虚拟单能量

陈海静,李青青,赵卫,胡继红,吴岩,杨亚英

【摘要】 目的:探讨双层探测器光谱 CT 显示左结肠动脉(LCA)的最佳虚拟单能量,旨在为腹腔镜直肠癌根治术前评估 LCA 提供帮助。**方法:**回顾性分析在本院行腹部 CT 血管成像(CTA)扫描的 100 例患者的影像学资料,将动脉期原始图像重组为混合能量图像以及基于能谱的间隔 10 keV 的 40~70 keV 的单能量图像。对 5 组图像 LCA 的 CT 值、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、图像噪声以及图像质量评分进行比较。**结果:**40~70 keV 组单能量图像 LCA 的 CT 值、噪声、CNR、SNR 随着能级的升高呈递减趋势。常规混合能量图像组及 40~70 keV 单能量图像组两两比较,各组间 CT 值、SNR、CNR、噪声差异有统计学意义($P<0.05$)。40 keV 组图像 LCA 的 CT 值、CNR、SNR 均高于其他组,噪声低于常规混合能量图像组。两名影像科医师图像质量主观评价的一致性良好($0.40\leq\text{Kappa 值}<0.75$),各组间图像主观评分差异均有统计学意义(P 均 <0.001)。40 keV 组图像主观评分最高,40~70 keV 组单能量图像质量均高于常规混合能量图像。**结论:**40 keV 为显示 LCA 的最佳虚拟单能量,显示血管清晰、边缘锐利,能更清晰显示 LCA 及其解剖变异,利于外科医生腹腔镜直肠癌根治术的顺利进行。

【关键词】 双层探测器光谱 CT; 左结肠动脉; 虚拟单能量图像; 图像质量

【中图分类号】 R814.42; R735.37 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)03-0388-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.03.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The optimal virtual single energy of spectral CT for displaying the left colonic artery CHEN Hai-jing, LI Qing-qing, ZHAO Wei, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to investigate the optimal virtual single energy of double-layer detector spectral CT for displaying the left colonic artery (LCA), so as to provide assistance for the evaluation of LCA before laparoscopic radical rectal resection. **Methods:** The images of 100 patients who underwent abdominal CT angiography in our hospital were retrospectively analyzed. The original images of the arterial phase were reconstructed into mixed energy images and four groups of single energy images based on energy spectrum of 40~70keV with an interval of 10keV. The CT value, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), image noise and image quality scores of the LCA of the five groups of images were compared. **Results:** The CT value, noise, CNR and SNR of the LCA of single-energy images in the 40~70keV group decreased with the increase of energy level. Compared with the conventional mixed energy image group and the 40~70keV single-energy image group, the differences in CT value, SNR, CNR and noise between the groups were statistically significant ($P<0.05$). The CT value, CNR, and SNR of the LCA of the 40keV group were higher than those of other groups, and the noise was lower than that of the conventional mixed energy image group. The subjective evaluation of image quality of the two radiologists was consistent well ($0.40\leq\text{Kappa value}<0.75$), and the subjective score of image was statistically significant between the groups ($P<0.001$). The subjective score of images in the 40keV group was the highest, and the single-energy image quality in the 40~70keV group was higher than that of conventional mixed energy images. **Conclusion:** 40keV is the best virtual single energy display of LCA, showing clear blood vessels with sharp

作者单位:650032 昆明,昆明医科大学第一附属医院医学影像科

作者简介:陈海静(1998-),女,广西玉林人,硕士研究生,主要从事腹部及头颈影像学诊断工作。

通讯作者:杨亚英, E-mail: yayingyang@163.com

基金项目:云南省放射与治疗临床医学研究中心专项基金子课题项目(202102AA100067);云南省科技厅科技计划项目(202101AY070001-103)

edges, which can more clearly display LCA and its anatomical variants, which is conducive to the smooth progress of laparoscopic radical rectal cancer resection by surgeons.

【Key words】 Double-layer detector spectral CT; Left colonic artery; Virtual single-energy images; Image quality

左结肠动脉(left colic artery, LCA)被定义为起源于肠系膜下动脉(inferior mesenteric artery, IMA)并流向降结肠的动脉血管,是 IMA 的第一个分支。根据 LCA 的存在以及汇入和共干情况,可以将 LCA 分为以下四种解剖变异类型^[1]: I 型, LCA 从 IMA 主干独立发出; II 型, LCA 和乙状结肠动脉(sigmoid artery, SA)共干; III 型, LCA、SA 以及直肠上动脉(superior rectal artery, SRA)共干; IV 型, LCA 缺如。直肠癌是最常见的消化道恶性肿瘤之一,腹腔镜直肠癌根治术作为一种微创手术正被越来越多地使用, LCA 及其起源是腹腔镜直肠癌根治术的一个关键点, LCA 的潜在缺如和频繁变异使得手术更具挑战^[2]。因此,为了达到安全、有效的腹腔镜直肠癌根治,术前评估 LCA 至关重要。

双层探测器光谱 CT 实现“同时、同源、同向”的双能量成像,一次扫描可以获得包括 40~200 keV 共 161 个能级,低能量图像能够增加不同组织结构之间的对比,优化动脉成像^[3]。本研究拟寻找双层探测器光谱 CT 显示左结肠动脉的最佳虚拟单能量,旨在为腹腔镜直肠癌根治术术前评估 LCA 提供指导。

材料与方法

1. 研究对象

收集 2022 年 10 月—2023 年 2 月在昆明医科大学第一附属医院行腹部 CT 血管成像(computer tomography angiography, CTA)扫描的患者。纳入标准:行腹部 CTA 扫描。排除标准:① LCA 缺如;② 既往有腹部外伤、手术史,或存在可能影响到血管走行的腹部疾病;③ 碘对比剂过敏;④ 有严重伪影(呼吸运动伪影或腰椎内固定影),影响观察。最终纳入 100 例患者,其中男 60 例,女 40 例,年龄 20~85 岁,平均(53.8±14.3)岁。100 例患者检查前均签署知情同意书。

2. 设备与方法

所有患者均采用 Philips IQon spectrum CT 仪行腹部 CTA 扫描。扫描范围为自膈肌顶部至耻骨联合下缘水平。扫描参数:管电压 120 kVp,自动管电流调节技术,准直器宽度 64×0.625 mm, X 线管转速 0.5 s/周;螺距 0.985,矩阵 512×512。对比剂注射方案:采用非离子型碘对比剂碘海醇(350 mg I/mL),剂量 80~100 mL(1.2~1.5 mL/kg 体重),采用双筒高压注射器经肘正中静脉以 4 mL/s 的流率注射对比剂,

并以相同流率注射生理盐水 30 mL 冲管。

扫描结束后,将动脉期获得的数据分别进行混合迭代重组和投影空间光谱重组,前者获得的图像作为常规混合能量组,后者获得全息光谱图像(spectral based image, SBI),采用 Philips 星云后处理工作站,利用 SBI 从 40~70 keV 每间隔 10 keV 重建出 1 组虚拟单能量图像,所有图像层厚及层间距均为 1 mm。

3. 图像分析

由一名影像科医师在同层面 LCA、竖脊肌及皮下脂肪勾画感兴趣区(region of interest, ROI),将所勾画的 ROI 采用复制粘贴的方式,确保每组图像 ROI 大小、位置一致, LCA 勾画时应使 ROI 位于动脉内,尽量避开血管壁, ROI 大小约 2 mm²。分别测量各组图像同层面 LCA、竖脊肌及皮下脂肪的 CT 值及标准差(standard deviation, SD),以皮下脂肪 SD 作为背景噪声^[4],计算各 ROI 的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、对比噪声比(signal-to-noise ratio, CNR),其中

$$SNR = \frac{CT_{LCA}}{SD_{LCA}} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{CT_{LCA} - CT_{竖脊肌}}{SD_{皮下脂肪}} \quad (2)$$

由两名分别有 2 年和 6 年影像诊断经验的影像科医师在双盲的情况下,采用 5 分法对 LCA 图像质量进行评价:5 分, LCA 显示清晰可见,边缘非常锐利;4 分, LCA 显示尚清晰,边缘比较锐利;3 分, LCA 可见,边缘欠清晰;2 分, LCA 显示模糊,边缘模糊;1 分, LCA 未显影,血管结构不能分辨。当意见出现分歧时,经共同协商达成一致。

4. 统计学方法

采用 IBM SPSS 26.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示,对每组图像客观评价的 CT 值、CNR、SNR、噪声组间差异比较采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD 法。各组主观评分采用多组独立样本秩和检验(Kruskal Wallis H)进行比较。以 P<0.05 为差异具有统计学意义。采用 Kappa 检验对两名影像科医师主观评分一致性进行评估:Kappa 值<0.40,一致性差;0.40≤Kappa 值<0.75,一致性良好;Kappa 值≥0.75,一致性较好。

结果

1. 图像质量的客观评价

40~70 keV 组单能量图像 LCA 的 CT 值、噪声、CNR、SNR 随着能级的升高呈递减趋势。常规混合能量图像组及 40~70 keV 单能量图像组两两比较,各组间 CT 值、SNR、CNR、噪声差异有统计学意义($P < 0.05$)。40 keV 组图像 LCA 的 CT 值、CNR、SNR 均高

于其他组,噪声低于常规混合能量图像组(表 1)。

2.图像质量的主观评价

两名影像科医师图像质量主观评价的一致性良好,随着能级升高,主观评价的一致性递增,各组间图像主观评分差异均有统计学意义(P 均 <0.001)。

表 1 各组图像 CT 值、噪声、SNR 及 CNR 比较

参数	40 keV 组	50 keV 组	60 keV 组	70 keV 组	常规混合能量组	F 值	P 值
左结肠动脉 CT 值/HU	487.6±131.1	328.8±83.4	235.5±56.3	178.4±40.3	193.2±43.3	264.42	<0.001
噪声/HU	13.5±2.4	12.3±2.1	11.7±2.0	11.3±1.9	14.4±2.3	32.77	<0.001
CNR	31.6±9.6	21.9±6.5	15.3±4.7	11.8±3.5	9.5±3.0	221.17	<0.001
SNR	5.9±2.7	5.5±2.4	5.1±2.2	4.7±2.0	5.0±2.0	3.70	0.006

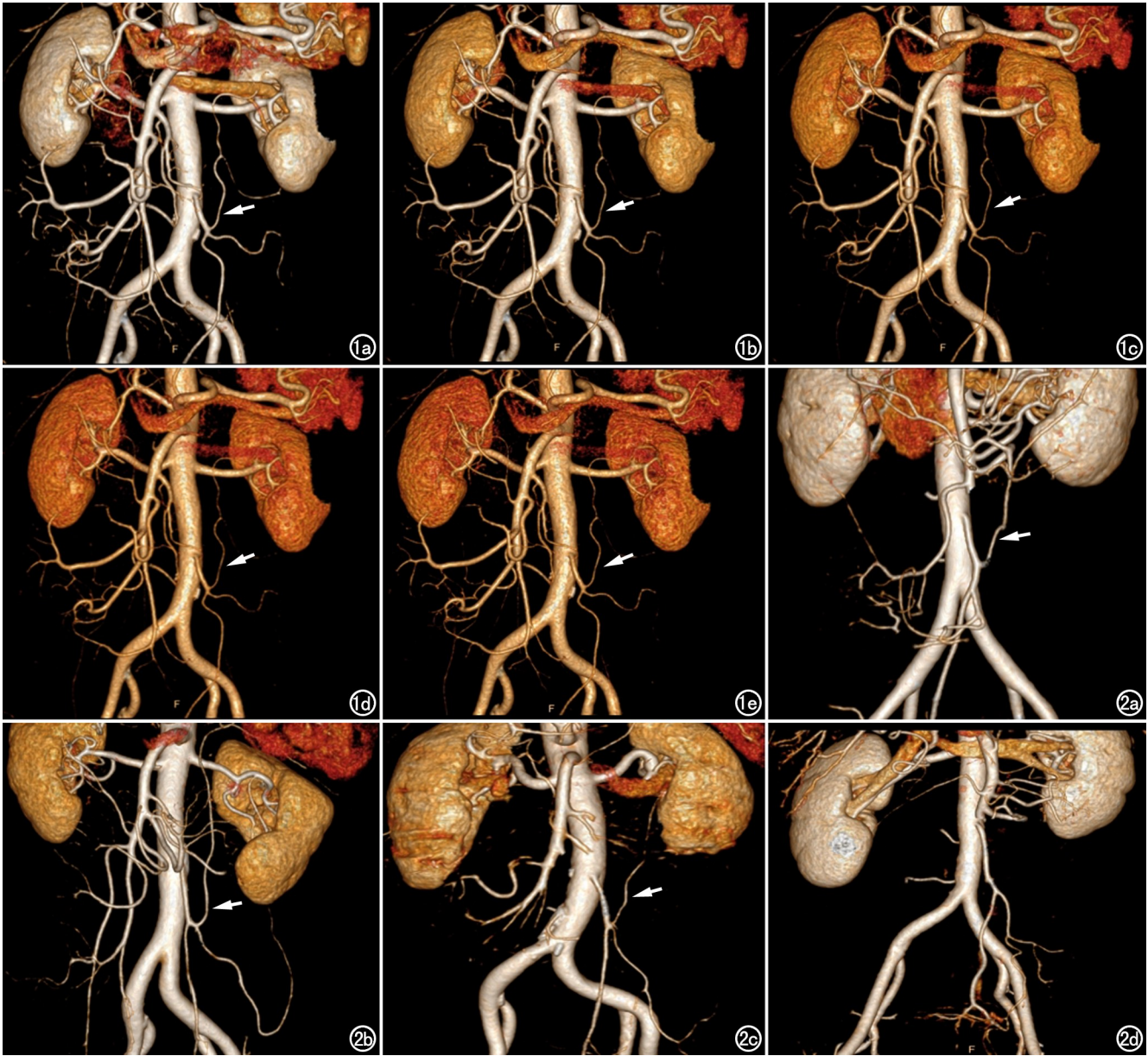


图 1 a、b)分别为 40 keV 和 50 keV 图像,左结肠动脉(箭)显示清晰可见,边缘非常锐利,主观评分为 5 分;c)60 keV 图像,左结肠动脉(箭)显示尚清晰,边缘比较锐利,主观评分为 4 分;d、e)分别为 70 keV 和常规混合能量图像,左结肠动脉(箭)可见,边缘欠清晰,主观评分均为 3 分。图 2 40 keV 图像显示左结肠动脉四种解剖变异类型。a)Ⅰ型左结肠动脉(箭)从肠系膜下动脉主干独立发出;b)Ⅱ型左结肠动脉(箭)和乙状结肠动脉共干;c)Ⅲ型左结肠动脉(箭)、乙状结肠动脉以及直肠上动脉共干;d)Ⅳ型左结肠动脉缺如。

40~70 keV 组单能量图像随着能级升高,图像质量主观评分逐渐下降,40 keV 组图像主观评分最高,40~70 keV 组单能量图像质量均高于常规混合能量图像(表 2,图 1~2)。

表 2 两名医师对各组图像主观评价的一致性

组别	医师 A 评分	医师 B 评分	Kappa 值	P 值
40keV 组	4.98±0.14	4.96±0.19	0.658	<0.001
50keV 组	4.91±0.28	4.93±0.25	0.864	<0.001
60keV 组	4.65±0.55	4.67±0.53	0.910	<0.001
70keV 组	4.01±0.65	4.04±0.63	0.943	<0.001
常规混合能量	3.86±0.68	3.88±0.67	0.959	<0.001

讨 论

2020 年全球癌症统计数据显示,结直肠癌发病率在全球恶性肿瘤中位居第三位,死亡率位居第二位^[5]。在结直肠癌发病率中,直肠癌约占 44%,其发病率及死亡率逐年上升,手术是直肠癌的主要治疗手段^[6]。尽管直肠癌根治术是否保留 LCA 仍存在较多争议^[7-10],但越来越多研究表明,保留 LCA 的直肠癌根治术可以增加吻合口肠道的血液供应、减少吻合口漏的发生,利于术后吻合口愈合,更早恢复肠道功能^[11-14]。保留 LCA 的直肠癌根治术需要在 LCA 起源的远心端结扎 IMA,在 IMA 根部清扫淋巴结并保留 LCA,需要裸露 IMA、LCA,强调更精细的血管解剖。由于腹腔镜下视野狭窄,缺乏触觉,且 LCA 与 IMA 的位置关系多变,术中裸露 LCA 的根部存在一定难度,术前不熟悉 LCA 走行及解剖变异,很容易损伤血管^[1]。因此,术前预知 LCA 的解剖变异及走行,利于定位并裸露 LCA 根部,可避免损伤 LCA,保证吻合口血供,对于 LCA 缺如的患者,可以缩短手术时间。

腹部 CTA 已成为评估腹部血管的快捷、无创的检查手段,应用 CTA 技术对腹部血管进行三维重建,可以很好显示血管主干及其主要分支^[15],但对细小动静脉及小分支等显示不佳或不显示,而且图像质量受个体差异及扫描技术影响较大。增加对比剂剂量、浓度和注射流率可以提高图像质量,但会增加过敏、休克等不良反应发生,也会增加对比剂外渗的风险^[16]。光谱 CT 有上、下两层空间上对等的探测器,上层探测器只吸收低能量 X 线光子,下层探测器精准采集高能 X 线电子,高、低能两套数据集在空间和时间上完全配准,可以大幅度降低能谱图像的噪声,且对于因为肥胖等个体因素差异、循环功能障碍以及扫描技术等原因导致的图像质量不佳、血管充盈不佳以及组织强化不佳情况,光谱 CT 能够回顾性使用虚拟单能量图像提高血管强化 CT 值,改善图像质量^[3,17]。

光谱 CT 虚拟单能量优化图像质量已应用在肠系

膜下动脉、下肢动脉、冠状动脉及头部平扫^[4,18-20]等方面。研究^[21]发现 40 keV 的图像可以帮助评估胸主动脉和腹主动脉的小动脉分支,在腹部 CTA 中减少对对比剂剂量的同时改进对比噪声比、提高图像质量。本研究显示 40~70 keV 组单能量图像 LCA 的 CT 值、SNR、CNR、噪声随着能级的升高呈递减趋势,常规混合能量图像组及 40~70 keV 组单能量图像两两比较,各组间 CT 值、SNR、CNR、噪声有差异,这与多数研究结果相同^[4,22],而且本研究显示 40 keV 组图像 LCA 的 CT 值、CNR、SNR 最高,图像噪声低于常规混合能量图像,40 keV 组图像质量主观评分高于其他组,显示血管清晰、边缘锐利,因此,显示 LCA 的最佳单能量为 40 keV。本研究存在的不足之处:①患者的样本量有限,后续将加大研究样本量;②没有进一步分析其他虚拟单能量对图像质量的影响。

综上所述,40 keV 为双层探测器光谱 CT 显示 LCA 的最佳虚拟单能量,血管显示清晰、边缘锐利,能更清晰显示 LCA 及其解剖变异,利于外科医生腹腔镜直肠癌根治术前手术方案的确定以及手术的顺利进行。

参考文献:

[1] Zhang W, Yuan WT, Wang GX, et al. Anatomical study of the left colic artery in laparoscopic-assisted colorectal surgery [J]. Surg Endosc, 2020, 34(12): 5320-5326.

[2] Cirocchi R, Randolph J, Cheruiyot I, et al. Systematic review and meta-analysis of the anatomical variants of the left colic artery [J]. Colorectal Dis, 2020, 22(7): 768-778.

[3] 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.

[4] 陈晨, 魏晓磊, 朱小倩, 等. 双层探测器光谱 CT 肠系膜上动脉成像: 虚拟单能级图像与常规图像质量对比 [J]. 放射学实践, 2020, 35(12): 1572-1575.

[5] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.

[6] Horvat N, Carlos Tavares Rocha C, Clemente Oliveira B, et al. MRI of rectal cancer: tumor staging, imaging techniques, and management [J]. Radiographics, 2019, 39(2): 367-387.

[7] 武爱文, 于洋. 直肠癌手术保留左结肠动脉共识与争议 [J]. 中国实用外科杂志, 2020, 40(3): 299-304.

[8] 肖毅. 直肠癌手术中肠系膜下血管的离断部位——如何从现有的证据中作出选择 [J]. 中华胃肠外科杂志, 2022, 25(4): 290-294.

[9] Fujii S, Ishibe A, Ota M, et al. Short-term and long-term results of a randomized study comparing high tie and low tie inferior mesenteric artery ligation in laparoscopic rectal anterior resection: subanalysis of the HTLT (High tie vs. low tie) study [J]. Surg Endosc, 2019, 33(4): 1100-1110.

[10] 申占龙, 鲍予頔, 叶颖江, 等. 直肠癌根治术中肠系膜下动脉高位

- 和低位结扎的争议与思考[J].中华外科杂志,2020,58(8):596-599.
- [11] 余涛,安琦,曹祥龙,等.保留左结肠动脉的腹腔镜辅助直肠癌根治术对老年直肠癌患者近期疗效分析[J].中华老年医学杂志,2022,41(4):447-450.
- [12] 滕文浩,魏丞,刘文居,等.保留左结肠动脉对接受新辅助治疗的直肠癌患者术后吻合口漏的影响[J].中华胃肠外科杂志,2019,22(6):566-572.
- [13] Hsu CC, Hsu YJ, Chern YJ, et al. Potential short-term outcome advantage of low vs. high ligation of inferior mesenteric artery for sigmoid and rectal cancer: propensity score matching analysis [J]. BMC Surg, 2023, 23(1): 33-42.
- [14] Li B, Wang J, Yang S, et al. Left colic artery diameter is an important factor affecting anastomotic blood supply in sigmoid colon cancer or rectal cancer surgery: a pilot study [J]. World J Surg Oncol, 2022, 20(1): 313-321.
- [15] 张鹏,陈鑫,张兰,等.术前三维 CT 血管成像评估肠系膜下动脉解剖特征[J].中国临床解剖学杂志,2022,40(5):530-535.
- [16] 王雨,苍爱军,同明.碘对比剂不良反应的重点监测[J].中国医院药学杂志,2018,38(21):2254-2258.
- [17] Ghandour A, Sher A, Rassouli N, et al. Evaluation of virtual monoenergetic images on pulmonary vasculature using the dual-layer detector-based spectral computed tomography [J]. J Comput Assist Tomogr, 2018, 42(6): 858-865.
- [18] 陆璐,盛茂,李若梅,等.双层探测器光谱 CT 冠状动脉成像虚拟单能级图像与常规图像质量比较[J].中国医学影像学杂志,2022,30(4):335-340.
- [19] 王宁,刘兆玉.能谱探测器 CT 在提高下肢动脉血管成像质量中的应用[J].中国临床医学影像杂志,2020,31(8):600-603.
- [20] 付永春,江滨,周一楠,等.光谱 CT 头部虚拟平扫图像:不同单能级图像质量的对比[J].放射学实践,2021,36(4):546-550.
- [21] Albrecht MH, Vogl TJ, Martin SS, et al. Review of clinical applications for virtual monoenergetic dual-energy CT [J]. Radiology, 2019, 293(2): 260-271.
- [22] 付蓝琦,潘馨梦,尹娇,等.双层探测器光谱 CT 在优化胃结肠静脉干成像质量中的应用[J].临床放射学杂志,2021,40(8):1606-1610.

(收稿日期:2023-03-24 修回日期:2023-07-06)

本刊网站及远程稿件处理系统投入使用

本刊网站与远程稿件处理系统已开发测试完毕,已于 2008 年 3 月 1 号正式开通投入使用。

作者进行网上投稿及查稿具体步骤如下:请登录《放射学实践》网站(<http://www.fsxsj.net>)点击进入首页→点击“作者投稿”→按提示注册(请务必按系统提示正确填写个人信息,同时记住用户名和密码,以便查询稿件处理进度)→用新注册的用户名和密码登录→点击“作者投稿”进入稿件管理页面→点击“我要投稿”→浏览文件→上传文件(浏览文件后请点击后面的“上传”按钮,只有系统提示“稿件上传成功”方可进行下一步录入操作,文章须以 WORD 格式上传,图表粘贴在文章中)→录入稿件标题、关键词等→最后点击“确定”即可完成投稿。投稿后请速寄审稿费(100 元/篇)以使稿件迅速进入审稿处理。

作者自投稿之日起可不定期登录本刊网站查看稿件处理进度,不必打电话或发邮件查询,具体步骤如下:用注册过的用户名和密码登录→点击“作者查稿”进入稿件管理页面→点击左侧导航栏“我的稿件库”→“稿件状态”显示稿件处理进度→点击“查看”→选择“当前信息”或“全部信息”查看稿件处理过程中的具体信息。稿件退修和催审稿费(版面费)的信息作者亦可在注册时填写的邮箱中看到,作者在邮箱看到相关信息后须进入本系统进行相应处理。

作者如从邮箱和邮局投稿(或网上投稿成功后又从邮箱或邮局再次投稿),本刊须花费大量精力将稿件录入系统中,部分稿件重复多次处理,这给我们的稿件统计及处理工作带来巨大困难。本刊作者需登录本刊网站投稿,如果通过邮箱或邮局投稿,本刊会通知您通过网上投稿。

由于准备时间仓促及经验不足,网站及远程稿件处理系统必然会存在一些缺点和不足之处,希望各位影像同仁不吝赐教,多提宝贵意见,予以指正。

如果您在投稿中遇到什么问题,或者对本系统及网站有好的意见和建议,请及时联系我们。

联系人:石鹤 明桥 联系电话:027-69378385 15926283035