

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2021.09.029

能谱 CT 单能量成像联合自适应迭代重建技术对头颈部 CT 血管成像质量影响及应用价值研究 *

余 娜¹ 王军大² 李治勇¹ 傅浪舟¹ 胡 桃^{1Δ}

(1 重庆医科大学附属第三医院 / 捷尔医院放射科 重庆 401120; 2 重庆市中医院放射科 重庆 400021)

摘要 目的:探讨能谱 CT 单能量成像联合自适应迭代重建(ASiR)技术对头颈部 CT 血管成像(CTA)质量影响及应用价值研究。**方法:**收集 2019 年 1 月至 2019 年 12 月于本院接受头颈部 CTA 的 120 例患者的影像及临床资料;随机分为 A 组、B 组及 C 组,每组 40 例,A 组进行能谱 CT(60keV)+ASiR(40%),B 组进行 CT(60keV)+滤波反投影(FBP),C 组进行常规 CT 扫描+FBP。比较三组间动脉期右侧颈内动脉 C₇ 段 CT 值、图像噪声值、信噪比、对比噪声比及图像质量主观评分,记录三种处理方法辐射剂量。**结果:**三组间右侧颈内动脉 C₇ 段 CT 值、背景噪声(SD)、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)及主观评分比较差异均有统计学意义($P<0.05$);进一步两两比较发现,右侧颈内动脉 C₇ 段 CT 值 A 组>B 组>C 组,其中 A 组与 B 组间差异无统计学意义($P>0.05$),A 组与 C 组、B 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$);图像 SD 为 A 组<B 组<C 组,其中 A 组与 B 组、A 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$),B 组与 C 组间差异无统计学意义($P>0.05$);SNR 与 CNR 均为 A 组>B 组>C 组,且 A 组与 B 组、A 组与 C 组、B 组与 C 组间两参数差异有统计学意义($P<0.05$);主观评分 A 组>B 组>C 组,且 A 组与 B 组、A 组与 C 组、B 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$)。三组间容积 CT 剂量指数(CTDLvol)、总剂量长度乘积(DLP)、有效剂量(ED)比较差异均有统计学意义($P<0.05$);进一步两两比较发现,CTDLvol、DLP、ED 均为 A 组<B 组<C 组,其中 A 组与 B 组间 CTDLvol、DLP、ED 差异均无统计学意义($P>0.05$),但 A 组与 C 组、B 组与 C 组间各剂量参数间差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**能谱 CT 单能量成像联合 ASiR 可明显提高头颈部 CTA 图像质量且降低患者辐射剂量,推荐临床使用 60keV 联合 40%ASiR 图像。

关键词:能谱 CT;单能量成像;自适应迭代技术;头颈部;CT 血管成像

中图分类号:R814.42;R816.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2021)09-1734-04

Evaluation of Quality and Application of Single Energy Imaging Combined with Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Technique in Head and Neck CT Angiography*

YU Na¹, WANG Jun-da², LI Zhi-yong¹, FU Lang-zhou¹, HU Tao^{1Δ}

(1 Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University/Gener Hospital, Chongqing, 401120, China;

2 Department of Radiology, Chongqing Hospital of Traditional Chinese Medicine, Chongqing, 400021, China)

ABSTRACT Objective: To study the quality and application value of head and neck CT angiography (CTA) with single energy imaging and adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) technique. **Methods:** The imaging and clinical data of 120 patients who received head and neck CTA in our hospital from January 2019 to December 2019 were collected. The patients were randomly divided into three groups: group A (n=40), group B (n=40) and group C (n=40). The patients in group A underwent energy spectrum CT (60keV) +ASiR (40%), in group B (n=40), underwent CT (60keV) + filtered back projection (FBP), and in group C (n=40), underwent conventional CT scan + FBP. The CT value, image noise value, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR) and subjective score of image quality were compared among the three groups. **Results:** There were statistically significant differences in CT value, background noise (SD), signal-to-noise ratio (SNR), contrast noise ratio (CNR) and subjective score of right internal carotid artery among the three groups ($P<0.05$); further pairwise comparison showed that CT value of C₇ segment of right internal carotid artery in group A > group B > group C, and there was no significant difference between group A and group B ($P>0.05$), but there was statistical difference between group A and group C and between group B and group C. There were significant differences between group A and group B, between group A and group C ($P<0.05$), but there was no significant difference between group B and group C ($P>0.05$); SNR and CNR were group A > group B > group C, and there were significant differences between group A and group B, group A and group C, group B and group C ($P<0.05$); subjective scores of group A > group B > group C, and group A and group C, group B and group C had significant differences ($P<0.05$). There were significant differences between group A and group C, group B and group C ($P<0.05$). The difference of ctdlvol, DLP

* 基金项目:重庆市卫生计生委中医药科技项目(ZY201802025);重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyjmsxmX0555)

作者简介:余娜(1984-),女,本科,主管技师,研究方向:CT 血管成像,E-mail:yuna8311@163.com

Δ 通讯作者:胡桃(1985-),男,本科,主管技师,研究方向:CT 血管成像及介入血管成像,E-mail:hut1212@163.com

(收稿日期:2020-09-07 接受日期:2020-09-30)

and ED among the three groups was statistically significant ($P<0.05$); further pairwise comparison showed that ctdlvol, DLP and ed in group A < group B < group C. There was no significant difference in ctdlvol, DLP and ED between group A and group B ($P>0.05$), but there were differences between group A and group C, between group B and group C. The difference was statistically significant ($P<0.05$).

Conclusion: Energy spectrum CT combined with ASiR can improve the image quality of head and neck angiography and reduce the radiation dose. 60keV combined with 40% ASiR is recommended for clinical application.

Key words: Energy spectrum CT; Single energy imaging; Adaptive statistical iterative reconstruction; Head and neck; CT angiography

Chinese Library Classification(CLC): R814.42; R816.1 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2021)09-1734-04

前言

脑血管疾病是导致人类死亡的常见病因之一,严重威胁着人们的生命健康。通常,数字减影血管造影一直是诊断血管病变金标准^[1],但易造成穿刺部位皮下血肿或瘀斑及脑血管痉挛、皮质盲等神经系统相关并发症^[2],其有创性限制了它的临床应用。随着 CT 技术的飞速发展,CT 血管成像(CTA)其无创的特点在临床上得到了普遍推广。随着能谱 CT 在临床中的广泛应用,让患者接受低剂量扫描同时保证图像质量也受到越来越多的关注,其中自适应迭代重建(ASiR)技术让患者接受低剂量扫描同时重建出高质量的图像成为可能^[3]。本文旨在探讨探讨能谱 CT 单能量成像联合 ASiR 技术对头颈部 CTA 质量的影响及应用价值,报道如下。

1 材料与方法

1.1 一般资料

收集 2019 年 1 月至 2019 年 12 月于本院接受头颈部 CTA 的 120 例患者的影像及临床资料,随机分为 A 组、B 组及 C 组,每组 40 例,A 组进行能谱 CT(60keV)+ASiR(40%),B 组进行 CT(60keV)+滤波反投影(FBP),C 组进行常规 CT 扫描+FBP。A 组男 21 例,女 19 例,年龄 30~79 岁,平均(57.4±14.5)岁;B 组男 24 例,女 16 例,年龄 28~76 岁,平均(54.2±13.9)岁;C 组男 18 例,女 22 例,年龄 29~79 岁,平均(53.7±16.6)岁。三组间一般资料间差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

1.2 检查方法

A 组、B 组:采用美国 CE Revolution CT,患者取仰卧位,采用能谱(GSI)模式;扫描范围从主动脉弓至头顶。扫描参数:管电压 80 kVp~140 kVp 自动切换,自动毫安秒,螺距 0.992:1,层厚及层间距 5 mm。对比剂使用方法:Ulrich 高压注射器,欧乃派克 350 mgI/mL;先行肘静脉小剂量团注得出达峰时间;对比剂 10 mL,生理盐水 20 mL,流速 4.5 mL/s;再行 CTA 螺旋扫描:对比剂 1.0 mL/Kg,生理盐水 30 mL,流速 4.5 mL/s。A 组数据采用 60keV 及 40% ASiR 重建动脉期图像,B 组数据采用 60 keV 及 FBP 重建动脉期图像,重建层厚均为 0.625 mm。C 组:采用美国 GE Optima CT,扫描范围及增强扫描方式同观察组。扫描参数:管电压 120 kV,管电流 300 mA,螺距 0.984:1,层厚及层间距 5 mm。扫描数据采用 FBP 重建动脉期图像,重建层厚 0.625 mm。

1.3 观察指标

(1)客观指标:将三组重建图像导入 GE AW4.7 工作站;测量右侧颈内动脉 C7 段 CT 值(ROIA),ROI 约 3 mm²,再用同样

大小的 ROI 测量同侧颞肌的 CT 值(ROIM),并记录同侧颞肌 CT 值的标准差(SD),即背景噪声;计算两组的信噪比(SNR)及对比噪声比(CNR),计算公式:SNR=ROIA/SD,CNR=(ROIA-ROIM)/SD。(2)主观评分:由两名丰富经验的诊断医生独立对两组脑血管图像进行评分,主要在原始图像及最大密度投影(MIP)上,以脑血管各分支及远端显示情况进行质量评估。评分方法主要参考 Paul J^[4]的 5 分法对血管显示情况评分:1 分:脑血管各分支及远端边缘模糊不能分辨;2 分:脑血管各分支及远端边缘不锐利但尚能分辨;3 分:脑血管各分支及远端边缘能分辨且血管显示尚清楚;4 分:脑血管各分支及远端清晰且边缘基本光滑;5 分:脑血管各分支及远端显示清晰且边缘锐利。(3)辐射剂量:记录扫描完成自动生成的容积 CT 剂量指数[CTDLvol(单位 mGy)]、总剂量长度乘积[DLP(单位 mGyocm)],计算有效剂量[ED(单位 mSv)]:ED=DLP×K,K 为转换因子,参照欧盟委员会关于 CT 质量标准指南,在头颈 CTA 扫描时 K=0.0031^[5]。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 21.0 进行统计学分析,正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,三组间动脉期右侧颈内动脉 C7 段 CT 值、图像噪声值、信噪比、对比噪声比、图像质量主观评分及辐射剂量的比较采用单因素方差分析,进一步两两间比较采用 LSD-t 检验,以 $P<0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 三组间客观指标及主观评分比较

三组间右侧颈内动脉 C₇ 段 CT 值、SD、SNR、CNR 及主观评分比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。进一步两两比较发现,右侧颈内动脉 C₇ 段 CT 值 A 组>B 组>C 组,其中 A 组与 B 组间差异无统计学意义($P>0.05$),A 组与 C 组、B 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$);图像 SD 为 A 组<B 组<C 组,其中 A 组与 B 组、A 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$),B 组与 C 组间差异无统计学意义($P>0.05$);SNR 与 CNR 均为 A 组>B 组>C 组,且 A 组与 B 组、A 组与 C 组、B 组与 C 组间两参数差异有统计学意义($P<0.05$);主观评分 A 组>B 组>C 组,且 A 组与 B 组、A 组与 C 组、B 组与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

2.2 三组间辐射剂量比较

三组间 CTDLvol、DLP、ED 比较差异均有统计学意义($P<0.05$),进一步两两比较发现,CTDLvol、DLP、ED 均为 A 组<B 组<C 组,其中 A 组与 B 组间 CTDLvol、DLP、ED 差异均无统计学意义($P>0.05$),但 A 组与 C 组、B 组与 C 组间各剂量参数间差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

表 1 三组间客观指标及主观评分比较($n=120, \bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of objective indexes and subjective scores among three groups($n=120, \bar{x} \pm s$)

Groups	CT value(HU)	SD(HU)	SNR	CNR	Subjective scores
A	348.32± 10.63	13.86± 0.68	27.94± 1.94	23.03± 1.80	4.06± 0.07
B	334.40± 8.05	17.29± 0.89	18.01± 1.01 [#]	14.08± 0.83 [#]	3.52± 0.08 [#]
C	209.32± 7.07*	17.57± 5.21*	12.90± 0.67*	9.41± 0.50*	2.79± 0.08*
F	69.264	6.665	33.461	34.486	66.189
P	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000

Notes: Compared with group A and group B, * $P<0.05$; Compared with group A, [#] $P<0.05$.

表 2 三组间辐射剂量比较($n=120, \bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of radiation doses among three groups($n=120, \bar{x} \pm s$)

Groups	CTDLvol(mGy)	DLP(mGyocm)	ED(mSv)
A	36.30± 1.21	441.94± 26.68	1.37± 0.01
B	39.59± 1.45	467.74± 28.89	1.45± 0.07
C	49.69± 1.46*	883.87± 45.21*	2.74± 0.02*
F	25.683	253.668	53.949
P	0.000	0.002	0.000

Notes: Compared with group A and Group B, * $P<0.05$.

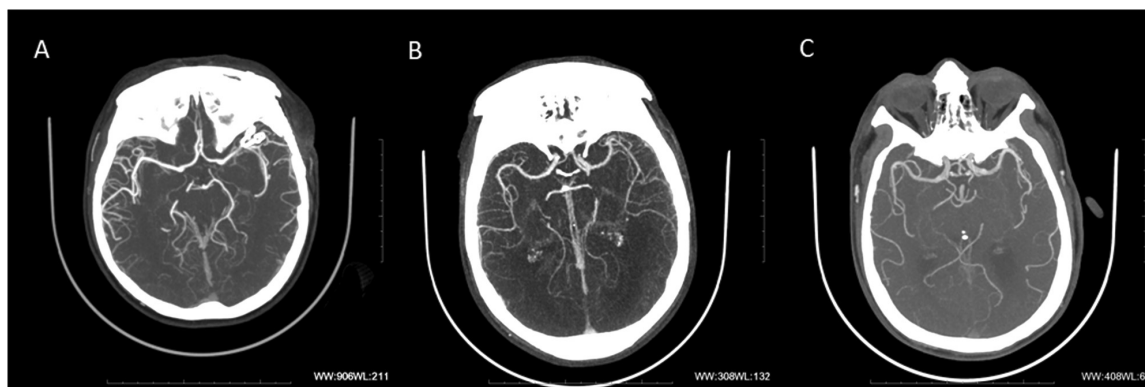


图 1 脑动脉 MIP 图像

Fig.1 Cerebral artery MIP image

Notes: Figure A was the energy spectrum CT (60keV) + ASiR (40%). Figure B was the energy spectrum CT (60keV) + FBP and figure C was conventional CT scan + FBP. Cerebrovascular vessels and their distal branches were best displayed in figure A. Brain vessel and its branches could be seen in figure B, but the background noise was bigger and the granularity was stronger. The small branches of cerebral vessels were not well displayed on figure C.

3 讨论

近年来,随着人口老龄化的逐步加重,脑血管疾病的发生率也呈逐年上升的趋势,严重的威胁着人们的生命健康。数字减影血管造影一直是诊断头颈部血管病变的金标准,但其有创性限制了其临床应用^[6];随着影像技术的发展,能谱 CT 成像越来越多的应用于血管成像,它利用高低两组能量(80 kVp 和 140 kVp)扫描采集数据,产生两组不同能量的双能数据,可在消除硬化伪影的同时提高空间分辨率^[7],能让患者接受更低的辐射剂量同时得到更好的图像质量^[8]。根据既往研究^[9-12],对于小血管的显示以 51~68keV 单能量图像最佳,王帅等^[13]研究显示,单能量在 60 ± 5 keV 时能提高血管与周围组织间的对比度;因此本研究结合临床实践中的经验采用 60 keV 的单能量图像。能谱 CT 低 keV 可增加组织间对比度,有利于小血管的显示,增加血管的 CT 值,优化血管成像^[14-16],本研究与之相符,

即 A 组、B 组右侧颈内动脉 C7 段 CT 值大于 C 组,且三组间差异有统计学意义($P<0.05$),进一步组间两两比较,A 组和 B 组均与 C 组间差异有统计学意义($P<0.05$),而 A 组与 B 组间差异无明显差异($P>0.05$),则说明通过降低图像 keV 可提高头颈血管内碘对比剂的 CT 值,相较于常规 CT 扫描,可获得更佳的血管成像质量。

常规 FBP 算法忽略了扫描过程中电子噪声和量子噪声对图像的影响,增加了图像的噪声值,从而降低了图像质量^[17-19]。能谱 CT 的 ASiR 技术在每个独立测量中对光子的统计特征进行分析,并用迭代方法来校正及抑制图像噪声,ASiR 算法是 FBP 算法的计算量的 100 倍以上,弥补了 FBP 的缺陷,从而使图像更加清晰,提高图像质量^[20-22]。本研究对患者通过扫描或重建方法的不同分组,A 组为能谱 60 keV+ASiR(40%)图像,B 组为能谱 60keV+FBP 图像,C 组为常规 CT 扫描 +FBP 图像。结果显示,图像噪声 A 组 < B 组 < C 组,其中 A 组与 B 组、A 组与

C 组间差异有统计学意义($P<0.05$),B 组与 C 组间差异无统计学意义($P>0.05$),这与既往研究一致,即 ASiR 技术可大幅降低图像噪声,提高图像质量。图像的 CNR 在 CTA 中是至关重要的因素^[23],本研究结果显示,SNR、CNR 和主观评分均为 A 组>B 组>C 组,且 A 组与 B 组、A 组与 C 组、B 组与 C 组间两参数差异有统计学意义($P<0.05$),因此,无论是能谱 60 keV+ASiR (40%)图像还是能谱 60 keV+FBP 图像,头颈血管成像质量均明显高于常规 CT 扫描,而增加了 ASiR 技术后,可进一步优化成像质量。能谱 CT 采用 ASiR 技术,即采用一种迭代技术累达到最佳的图像密度分辨率,同时大大降低图像的噪声,从而能比常规 CT 少 1/2 的剂量的扫描条件就能得到相同质量的图像^[24],使患者接受更低的辐射剂量同时得到较好的图像质量成为可能。部分研究显示^[25-27],与常规扫描模式相比,能谱 CT 单能量成像结合 ASiR 重建算法可在降低辐射剂量的同时获得较好的图像质量,应用低管电压可取得与常规 CT 成像质量相似的图像效果。本研究显示三组间 CTDLvol、DLP、ED 均为 A 组<B 组<C 组,其中 A 组与 B 组间 CTDLvol、DLP、ED 差异均无统计学意义($P>0.05$),但 A 组与 C 组、B 组与 C 组间各剂量参数间差异有统计学意义($P<0.05$),A 组、B 组 DLP 及 ED 较 C 组辐射剂量参数低了近一半,与既往研究相符^[28-30],即单能量成像技术联合 ASiR 技术在保证图像质量的同时可有效降低头颈部 CTA 的辐射剂量。

综上所述,能谱 CT 单能量成像联合自适应迭代重建技术对头颈部 CTA 图像质量的提高有显著的效果,有较大的临床价值,并且能有效降低患者辐射剂量,推荐临床使用 60keV 联合 40%ASiR 图像。

参考文献(References)

- [1] McKinney AM, Palmer CS, Truwit CL, et al. Detection of aneurysms by 64-section multidetector CT angiography in patients acutely suspected of having an intracranial aneurysm and comparison with digital subtraction and 3D rotational angiography[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2008, 29(3): 594-602
- [2] 任金林,高鹏,李静伟,等.动脉瘤栓塞术后并发对比剂相关短暂性皮质盲一例并文献复习[J].中国脑血管病杂志,2019,16(6): 324-326
- [3] 唐慧,和鸿,贺太平,等.多模型迭代重建算法在提高常规剂量胸部 CT 图像质量的临床价值[J].实用放射学杂志,2020,36(3): 475-478,486
- [4] Paul J, Bauer RW, Maentele W, et al. Image fusion in dual energy computed tomography for detection of various anatomic structures-effect on contrast enhancement, contrast-to-noise ratio, signal-to-noise ratio and image quality[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(2): 612-619
- [5] 常丽阳.基于多模型的迭代重建(ASiR-V)算法结合双低技术在头颈 CTA 中的应用研究[D].郑州大学,2018
- [6] 邓小林,谢惠,屈亚林,等.能谱 CT 最佳单能量技术优化头颈部 CTA 图像质量的研究[J].CT 理论与应用研究,2018,27(6): 719-726
- [7] 徐宁,陈玲,郭郡怡,等.宝石能谱 CT 在急性缺血性脑病诊断中应用价值的回顾性分析[J].临床和实验医学杂志,2019,18(9): 1003-1006
- [8] 郝永红,刘萍,徐琪,等.RSNA 2017 头颈部影像学[J].放射学实践,2018,33(3): 226-228
- [9] 郭浩,巴新茹.CT 能谱成像基本原理及降低辐射剂量新技术[J].医学影像学杂志,2018,28(8): 1394-1397
- [10] 曹锋,王传彬,董江宁,等.能谱 CT 最佳单能量技术优化甲状腺肿瘤供血动脉图像质量的研究[J].医学影像学杂志,2017,27(8): 1443-1446
- [11] 周颖.CT 能谱成像在血管造影中的应用进展[J].重庆医学,2019,48(9): 1576-1578
- [12] 余娜,傅浪舟,王玉柱,等.能谱 CT 在肺动脉、肺静脉与肺结节融合成像中的应用探讨[J].重庆医科大学学报,2019,44(10): 1302-1307
- [13] 王帅,石磊,郑敏文,等.双低剂量对比剂和最佳单能量谱成像在头颈部 CTA 中的应用价值[J].中国医疗设备,2016,31(7): 9-11,15
- [14] 周新杰,周代全,钟丽娟,等.能谱 CT 血管成像显示甲状腺供血动脉[J].中国医学影像技术,2019,35(10): 1565-1568
- [15] 迟小荷,常娜,邓凯,等.能谱 CT 单能量技术联合 ASIR 及 ASIR-V 改善胸部增强 CT 图像质量的研究[J].临床放射学杂志,2020,39(1): 177-183
- [16] 刘筱霜.能谱 CT 单能量血管成像在子宫动脉形态学研究中的应用[D].重庆医科大学,2016: 1-40
- [17] 王欣宇,李峰坦,郝瑞,等.低剂量扫描结合高级建模迭代重建算法在颅脑 CT 检查中的应用[J].山东医药,2020,60(14): 28-30,34
- [18] 齐天白,侯珺琳.最佳 ASIR 权重结合低剂量扫描方法在头颈联合 CTA 中的应用[J].中国医疗设备,2017,32(1): 67-70
- [19] 吕培杰,刘杰,赵慧萍,等.腹部 CT 低管电压成像与能谱成像辐射剂量和图像质量的匹配对比研究[J].中华放射学杂志,2019,53(1): 57-62
- [20] 夏远舰,刘海静,吴国华,等.能谱 CT 单能量成像及自适应统计迭代重建技术对肝硬化门静脉高压侧支循环的临床研究[J].河北医药,2019,41(6): 851-854
- [21] 宋婷妮,李真林,赵俐红,等.低管电压能谱单能量结合多模型自适应统计迭代重建算法技术对头颅 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
- [22] 潘存雪,邢艳,古丽娜·阿扎提,等.能谱 CT 单能量重建结合迭代算法对冠状动脉优化显示的初步探讨[J].中国医学计算机成像杂志,2016,22(2): 176-181
- [23] 殷小平,刘笑非,黄桦,等.能谱 CT 最佳单能量技术优化腹腔干动脉成像质量的研究[J].临床放射学杂志,2015,34(5): 808-811
- [24] 邓昆,相爱华,杨蕾,等.自适应迭代重建算法对儿童副鼻窦 CT 能谱成像质量及辐射剂量的影响研究[J].中国医学装备,2020,17(1): 31-34
- [25] 任占丽,雷雨欣,贾永军,等.基于模型迭代重建改善低剂量腹部 CT 图像质量的应用价值[J].中国中西医结合影像学杂志,2018,16(5): 450-454
- [26] 艾娜娜,宋振,翟艳慧,等.大螺距联合自适应迭代重建技术对胸部能谱成像影响的体模研究[J].放射学实践,2020,35(5): 619-623
- [27] Ripsweiden J, Brismar TB, Holm J, et al. Impact on image quality and radiation exposure in coronary CT angiography: 100 kVp versus 120 kVp[J]. Acta Radiol, 2010, 51(8): 903-909
- [28] Ma G, Yu Y, Duan H, et al. Subtraction CT angiography in head and neck with low radiation and contrast dose dual-energy spectral CT using rapid kV-switching technique[J]. Br J Radiol, 2018, 91(1086): 20170631
- [29] 赵永霞,左紫薇,索红娜,等.肾动脉 CT 血管成像中采用常规扫描和能谱成像扫描方案对图像质量和辐射剂量的影响[J].中华放射学杂志,2017,51(4): 304-307
- [30] Xiao H, Liu Y, Tan H, et al. A pilot study using low-dose Spectral CT and ASiR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction) algorithm to diagnose solitary pulmonary nodules[J]. BMC Med Imaging, 2015, 15(2): 54-60