

论 著

冠状动脉CTA成像技术
中KV值与体质量的关系研究*

邹才盛* 梁 萍 陈更瑞
叶佳国 王贤坤 夏世豪
高官华 胡宗宇 陈小妹
北海市人民医院 (广西北海 536000)

【摘要】目的 本研究旨在探讨低管电压扫描在冠状动脉CTA成像技术中KV值与体质量的关系。方法 选取疑似为冠状动脉疾病患者120例为研究对象,所有患者均行冠状动脉CTA检查。根据KV值不同分为三组: A组120 KV(45例); B组100 KV(45例); C组80 KV(30例)。并将各组患者按体质量不同分为分为<70 kg、70~85kg、>85kg三个级别, C组不设>85kg级别。所有患者使用的对比剂为碘普罗胺(370 mgI/ml)。比较各组各个体质量级别的图像质量和有效辐射剂量。结果 除80KV组70~85kg级别出现2分外, 其余各组各级别患者图像质量主观评分均≥3分, A、B组中>85kg级别和C组70~85kg级别评分较低, 与其他组评分差别明显。同样是≤70 kg体质量患者在不同KV组其血管CT值差异明显, 均有统计学意义(均 $P<0.001$)。同样是70~85kg体质量级别患者在不同KV组其血管CT值差异明显, 差异均有统计学意义(均 $P<0.001$)。同样是>85kg体质量级别患者在不同KV组其血管CT值差异明显, 差异均有统计学意义(均 $P<0.001$)。B组>85kg级别和C组70~85kg级别的SNR和CNR均较其他组降低, 图像质量较差。同样<70 kg级别在100KV组比120KV组ED减少42.4%, 80KV组比120KV组减少68.3%($P<0.001$); 同样是70~85kg级别在100KV组比在120KV组的ED减少40.4%, 在80KV组比在120KV组ED减少68.3%($P<0.001$); 同样是>85kg级别在100KV组的ED比在120KV组减少40.8%($P<0.001$)。结论 在冠状动脉CTA成像, 体质量≤70 kg的患者应用80 KV剂量、体质量70~85kg的患者应用100 KV剂量可获得与120 KV剂量相当的图像质量, 而且可有效减少辐射剂量。

【关键词】CTA; 冠状动脉CTA; 人体质量指数; 辐射剂量; 图像处理; 管电压
【中图分类号】R543.3+1
【文献标识码】A
【基金项目】北海市科技计划项目
(北科合202082049)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.029

Relationship between Tube Voltage kV
Value for Coronary CTA and Body Weight*

ZOU Cai-sheng*, LIANG Ping, CHEN Geng-rui, YE Jia-guo, WANG Xian-kun, XIA Shi-hao,
GAO Guan-hua, HU Zong-yu, CHEN Xiao-mei.
The People's Hospital of Beihai, Beihai 536000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective This study aims to explore the relationship between KV value and body mass in coronary CTA imaging technology using low tube voltage scanning. **Methods** 120 patients with suspected coronary artery disease were selected as the research object, and all patients underwent coronary CTA. According to different kV values, they were divided into three groups: group A, 120 kV (45 cases); Group B, 100 kV (45 cases); 80 kV in group C (30 cases). The patients in each group were divided into three levels according to their body weight: less than 70 kg, 70-85kg, and > 85kg. Group C did not have > 85kg. The contrast agent used in all patients was iopromide (370 MGI / M1). The image quality and effective radiation dose of each individual quality level in each group were compared. **Results** Except for the 80kV group with a score of 2 at the level of 71-85kg, the subjective score of image quality of patients at all levels in other groups was ≥ 3. The score of > 85kg in groups A and B and 70-85kg in group C was lower, which was significantly different from other groups. Similarly, patients with body weight ≤ 70 kg had significantly different vascular CT values in different kV groups (all $P<0.001$). The CT value of blood vessels of patients with 70-85kg body mass level in different kV groups was significantly different, and the differences were statistically significant (all $P<0.001$). Similarly, patients with body mass > 85kg had significant differences in vascular CT values in different kV groups (all $P<0.001$). The SNR and CNR of group B > 85kg and group C 70 ~ 85kg were lower than those of other groups, and the image quality was poor. Similarly, at the level of < 70 kg, the ED of 100kV group was 42.4% less than that of 120kV group, and that of 80kV group was 68.3% less than that of 120kV group ($P<0.001$); Similarly, at the level of 70-85kg, the ED of 100kV group was reduced by 40.4% compared with that of 120kV group, and that of 80kV group was reduced by 68.3% compared with that of 120 group ($P<0.001$); Similarly, the ED of > 85kg level in 100kV group was 40.8% lower than that in 120kV group ($P<0.001$). **Conclusion** in coronary CTA imaging, 80 kV dose for patients with body weight ≤ 70 kg and 100 kV dose for patients with body weight 70 ~ 85kg can obtain image quality equivalent to 120 kV dose, and can effectively reduce the radiation dose.

Keywords: CTA; Coronary CTA; Body Mass Index; Radiation Dosage; Image Processing; Tube Voltage

近年来因为CT技术的高速发展, CT血管成像(CT angiography, CTA)技术在医学影像学学科种应用日益广泛, 在一定程度上替代了“金标准”——数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)的诊断功能。而冠状动脉CT血管成像(coronary computed tomographic angiography, CCTA)在诊断冠心病、检测冠状动脉粥样硬化性斑块、评价冠状动脉支架及搭桥的血管通畅性等方面具有比较高的临床实用价值, 行CCTA检查的患者越来越多。但是, 人们对辐射剂量的担忧也越来越多。如何降低CCTA的辐射剂量成为近来研究的热点之一。用低管电压技术行CCTA的应用研究更是占很大一部分^[1-3]。有些研究对体重指数(BMI)有一定的限制^[4-8], 但都没有涉及到怎么样的体质量应该选择怎么样的KV值, 没有讨论到这种体质量与KV值的关系。本研究旨在找出哪一种体重范围的患者最适合使用哪一种管电压。

1 资料与方法

1.1 临床资料 收集北海市人民医院2020年1月至2022年6月因拟诊冠状动脉疾病于行CCTA检查的患者120例。根据不同管电压分为120KV组45例(女10例, 男35例), 平均年龄(64±13)岁(年龄范围32-89岁); 100KV组45例(女12例, 男33例), 平均年龄(59±10)岁(年龄范围32-75岁); 80KV组30例(女15例, 男15例), 平均年龄(60±9)岁(年龄范围32-78岁)。120KV组、100KV组根据患者体质量级别分为<70 kg(A1、B1)、70~85 kg(A2、B2)、>85 kg(A3、B3), 80KV组根据患者体质量分为<70 kg(C1)和70~85 kg(C2), 总共8个小组, 每个小组15例。

病例纳入标准是: 临床上有不同程度胸闷、胸痛症状考虑冠心病, 能自主控制呼吸或在陪同人员帮助下可以控制呼吸的受检者。排除标准: 未满18岁; 有碘过敏史; 严重心肝肾功能不全、频繁早搏; 不能控制呼吸患者; 妊娠期妇女。本研究经北海市人民医院医学伦理审查委员会批准[批号: 北医(伦审)2020第018号], 患者检查前均知情并签署知情同意书。

1.2 扫描参数和检查方法 使用Philips 256iCT, X线探测器宽128mmx0.625mm, 螺距0.180mm, 层厚0.9mm, 旋转时间0.3S, 视窗(FOV)200mm, 管电压分别采用120KV、100KV、80KV, 管电流统一采用600mas档。患者体位按照标准体位并放置心电导联线, 扫描前进行呼吸训练。舌下含服硝酸甘油一片。扫描范围从气管分叉隆突下1cm扫至心底。首先进行双定位像扫描, 在扫描起始位置的降主动脉中心层面设

【第一作者】邹才盛, 男, 副主任医师, 主要研究方向: CT、DR技术, 擅长CT血管成像技术。E-mail: 524037167@qq.com

【通讯作者】邹才盛

定圆形感兴趣区，大小为10mm²，触发阈值为110Hu。静脉内团注非离子型对比剂碘普罗胺(370mgI/mL)，所有患者对比剂用量按每kg体重×1.1的比例注射给药。最低不低于50mL，最高不超过96mL，注射速率5.0mL/s。注射点为右肘前静脉利用智能团注跟踪触发技术，触发延时4.6s开始扫描。使用飞利浦Bolus Tracking技术采集图像，采用迭代重建算法iDose4(统一用iDose4-3)进行图像重建。将原始数据传输至IntelliSpace Portal v7.0.7工作站行图像后处理，包括容积再现(VR)、多平面重建(MPR)、最大密度投影(MIP)、曲面重建(CPR)等。

1.3 图像评价与分析

1.3.1 图像质量主观评价 采用Likert5分制^[9]，主要评价血管及周围结构的对比度、管腔边缘锐利度、主观噪声、总体图像质量。5分：图像噪声很小，图像非常清晰，目标血管结构边缘锐利清晰，与周围组织有较高对比度；4分：图像噪声小于平均水平，图像比较清晰，目标血管结构边缘锐利，与周围组织对比度较好；3分：噪声尚可，图像清晰度一般，可用于诊断；2分：噪声较大，图像不清楚，目标血管边缘结构模糊，与周围对比度差，诊断可信度较低；1分：噪声大，图像极其不清，无诊断价值。该评分由2名长期从事CT血管成像诊断的放射科主任医师采用盲法评估，用统计学分析两份数据的一致性。

1.3.2 图像质量客观评价 由两名副高级职称级别的项目研究人员分别进行测量：在横轴位图像平主动脉根部层面测量胸壁脂肪CT值的标准差(standard deviation, SD)，取两者平均值作为图像噪声，两组感兴趣区(region of interest, ROI)大小设置、形态及位置尽量一致。同时测量每一个患者右冠状动脉(right coronary artery, RCA)、左冠状动脉前降支(left anterior descending, LAD)与回旋支(left circumflex, LCX)近段的CT值，计算信噪比(signal to noise ratio, SNR)及对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。计算公式：SNR=CT血管/SD；CNR=(CT血管-CT脂肪)/SD；CT血管为目标血管腔内含对比剂的血液CT值，CT脂肪为目标血管临近胸壁脂肪的CT值。测量时要避开钙化、斑块和狭窄位置。

1.3.3 辐射剂量评价 本文仅分析冠状动脉CTA扫描的辐射剂量，

其他定位扫描和平扫不包括在内。剂量长度乘积(dose length product, DLP)由计算机自动得出。有效辐射剂量(effective dose, ED)根据公式计算，ED=K×DLP，其中K为转换因子，采用欧洲CT质量标准指南提出的胸部平均值为0.014mSv/(mGy·cm)^[10]。

1.4 统计学方法 数据采用SPSS 24.0 软件进行统计学处理。计数资料采用绝对数表示，统计学检验方法符合正态分布的计量资料(血管CT平均值、噪声、信噪比、对比噪声比)以($\bar{x} \pm s$)表示，三组比较采用单因素方差分析，若有差异则采用Dunnett-t检验进行组内比较；方差分析符合正态分布但方差不齐的采用Kruskal-Wallis检验,两组间比较的采用独立样本t检验。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量主观评价结果 除C2组有1例被评为2分外。其它所有患者图像质量均≥3分，Kappa检验结果两名医师的主观评价一致性均在较好以上(Kappa值均>0.60, P均<0.001)，其中A3、B3、C2组得3分的频数明显高于其他组，其图像质量与其他各组有明显差异。见表1。

2.2 图像质量客观评价结果 <70kg级别的三个不同KV组的三支冠脉不同层面CT值比较，100KV组比120KV组平均增加29.1%，CT值明显提高；而80KV组比120KV组提高73.5%，增加更加显著，差异有统计学意义(均P<0.001)，见表2。70~85kg级别的三个不同KV组的三支冠脉CT值比较，100KV组比120KV组增加32.9%，80KV组比120KV组增加53.7%，差异有统计学意义(均P<0.001)，见表3。>85kg级别的两组，100KV组比120KV组增加了32.6%，不同层面CT值差异均有统计学意义(均P<0.05)，见表4。同样是<70kg级别，80KV组(C1)噪声虽然增大，但信噪比和对比噪声比也最高，差异均有统计学意义(均P<0.05)，见表5。在70~85kg级别的三个不同KV组，100KV组信噪比、对比噪声比最高，80KV组的图像噪声明显增加，见图C2,SNR和CNR最小。>85kg级别的120KV组和100KV组比较，100KV组噪声明显增加，见图B3，SNR和CNR减少，差异有统计学意义(均P<0.05)，见表5。

表1 主观评价图像质量评分表(例)

组别	甲医师				乙医师				Kappa值	P值
	5分	4分	3分	2分	5分	4分	3分	2分		
A1组(n=15)	8	5	2	0	9	4	2	0	0.867	<0.001
A2组(n=15)	7	6	3	0	8	5	2	0	0.789	<0.001
A3组(n=15)	4	4	7	0	4	3	8	0	0.898	<0.001
B1组(n=15)	8	5	1	0	10	4	1	0	0.884	<0.001
B2组(n=15)	6	7	2	0	7	7	1	0	0.893	<0.001
B3组(n=15)	1	4	10	0	2	5	8	0	0.762	<0.001
C1组(n=15)	8	4	3	0	9	4	2	0	0.889	<0.001
C2组(n=15)	2	6	6	1	3	7	4	1	0.898	<0.001

注：8组图像甲乙医师评分均在2分及以上；其中6组甲乙医师间图像质量主观评价结果的一致性很好(Kappa均>0.80,P均<0.001)，2组甲乙医师间图像质量主观评价结果的一致性较好(0.60<Kappa≤0.80,P均<0.001)。

表3 体质量70~85 kg三组患者冠脉各分支CT值比较(HU)

组别	例数	右冠状动脉	左冠状动脉前降支	左冠状动脉回旋支
A2组	15	421.67±52.80	404.25±44.31	392.65±48.65
B2组	15	538.87±51.31	534.29±46.28	546.78±52.51
C2组	15	656.11±67.42	612.23±70.59	604.93±57.19
F值		62.03	54.66	64.49
P值		<0.001	<0.001	<0.001

表2 体质量<70kg三组患者冠脉各分支CT值比较(HU)

组别	例数	右冠状动脉	左冠状动脉前降支	左冠状动脉回旋支
A1组	15	448.36±56.95	444.57±59.65	432.76±432.76
B1组	15	584.50±51.32	534.29±46.28	557.11±60.42
C1组	15	791.52±105.24	750.43±88.49	758.63±93.21
F值		79.25	74.86	69.57
P值		<0.001	<0.001	<0.001

表4 体质量>85 kg两组患者冠脉各分支CT值比较(HU)

组别	例数	右冠状动脉	左冠状动脉前降支	左冠状动脉回旋支
A3组	15	351.51±47.46	348.45±40.11	347.58±47.11
B3组	15	476.29±36.62	459.21±47.79	454.13±39.13
t值		8.10	6.88	6.74
P值		<0.001	<0.001	<0.001

表5 各组CCTA图像质量客观评价结果比较

组别	例数	噪声(HU)	信噪比	对比噪声比	有效辐射剂量(mSv)
A1组	15	12.54±1.54	35.52±4.34	43.93±5.28	10.55±1.22
B1组	15	16.28±1.92	35.59±6.02	41.82±6.42	6.08±0.48
C1组	15	18.27±1.99	42.59±7.30	49.21±7.99	3.01±0.30
F值		37.93	6.86	4.89	357.09
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
A2组	15	13.49±1.35	30.44±4.82	37.68±5.13	10.78±0.66
B2组	15	16.19±1.30	33.73±3.95	41.24±3.76	6.42±0.59
C2组	15	32.01±4.08	19.75±2.87	23.37±3.30	3.42±0.47
H值		35.96	28.32	30.09	39.36
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
A3组	15	15.23±2.23	22.81±3.55	29.36±4.72	10.91±1.26
B3组	15	27.47±2.15	16.95±1.85	20.76±1.88	6.46±0.29
t值		14.92	5.67	7.12	13.38
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

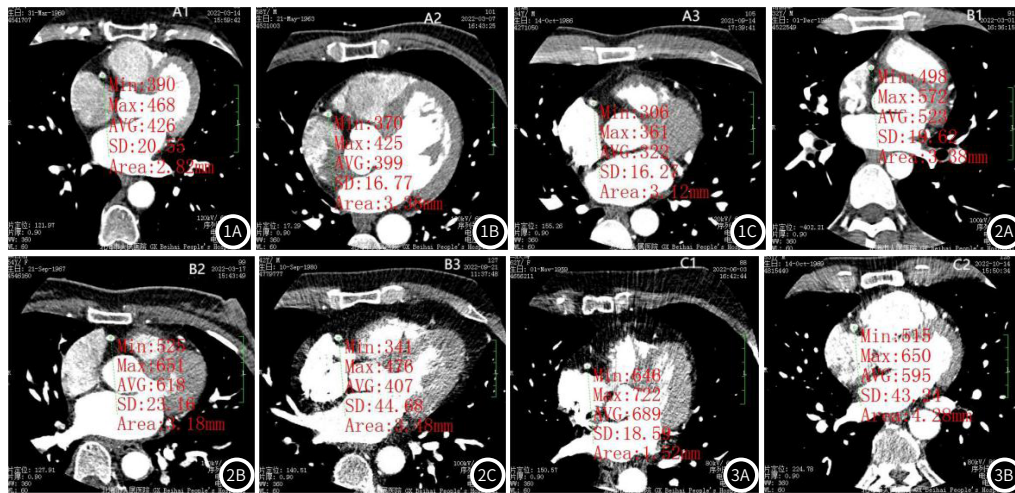


图1A-图3B 各组右冠状动脉近段CT值及图像噪声(SD)情况: C组(图3A、3B)CT值最高, A组(图1A、1B、1C)最低。B3小组(图2C)和C2(图3B)小组的SD明显比其它各小组高太多。

3 讨论

很多学者按体质量指数来确定扫描方案^[11-12], 根据公式体质量指数(BMI)=体质量(kg)÷身高(m)², 要确定BMI, 必须先测量体质量和身高, 还要进行计算, 在实际工作中是不现实的。本课题小组通过长期观察发现, 体质量70kg和85kg是可以作为研究的界线。有许多关于低辐射剂量冠状动脉 CTA 的报道^[13-14]也多是针对BMI≤25kg/m²的人群进行研究, 也有文献报道认为BMI≥30kg/m²不适合低KV剂量^[13-14], 而实际上BMI为25kg/m²和30kg/m²的人群大部分正是70公斤和85公斤左右的人群。

X线辐射剂量与管电压呈指数关系^[15], 所以在所有降低辐射剂量技术中, 降低管电压是效果显著的一种方法。管电压降低时, 可降低放射线光子能量, 增加血管组织与其周围组织的对比度。降低至80KV时, 透过人体的放射线减少, 人体吸收放射线的程度增加, 导致图像质量相对下降, 图像噪声值增加。不过运用迭代重建算法可以降低图像噪声, 使低管电压扫描技术应用更加广泛。本研究使用的iDose4迭代重建技术是飞利浦公司推出的一种新的算法, 是图像空间迭代重建技术的改进, 对投影数据空间和图像空间均进行IR算法, 最大程度保留图像细节信息, 并对噪声进行精确的处理, 在降低射线剂量的同时还能保证图像的真实性^[16-17]。

在本研究的小于70kg三个低体质量组, 不管KV值如何图像质量均是优良居多, 差别不是很大, 但有效辐射剂量相差却比较大, 120KV组平均有效辐射剂量大约是80KV组的3.5倍。而80KV组的信噪比和对比噪声比都是所有小组中最高的。可见, 在小于70kg体质量的人群, 使用80 KV管电压是最适合的。在70至85kg体质量级别中各个KV组比较, 120KV组和100KV组(A2和B2)图像质量相差不是很大, 80KV组(C2)优秀图像就比较少, 噪声最严重, SNR和CNR都比较小, 其中有一例超过80公斤的两位医师均只评为2分。100KV组虽然比120KV组噪声有所增加, 但信噪比和对比噪声比却增加更加明显, 是同体质量人群各组最高的。可见, 在70至85kg体质量人群, 使用100 KV管电压认为是比较适合的。

在大于85kg体质量级别的100KV组和120KV组比较, 100KV组平均CT值虽然有所增加, 有效辐射剂量也有所减少, 但噪声明显增加, 信噪比和对比噪声比也明显减低, 图像质量已经明显降低, 100KV组(B3)15例图像评分中一位医师评5分的只有1例, 另一位医师评5分的也只有2例。两位医师评为3分的分别是10例和8例, 均是各组最高的。3分虽然还是属于勉强可用于诊断, 但总体认为超过85kg体质量不适合用低管电压扫描, 需用常规120KV管电压。

120KV组三个不同体质量级别小组比较: 相同管电压下, CT值与体质量呈反比关系, 即CT值随着体质量的增加而降低。为确保图像质量, 系统毫安秒自动补偿, 导致辐射越来越高。即使补偿毫安秒, 噪声还是随着体质量的增加而增加, 所以大于85kg级别的图像质量并不是很好, 相对其它各小组的是比较差的, 两位

医师的图像评分中均只有4例达到5分。怎么解决体质量过高患者的CCTA图像质量还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Yin W H, Lu B, Gao J B, et al. Effect of reduced x-ray tube voltage, low iodine concentration contrast medium, and sinogram-affirmed iterative reconstruction on image quality and radiation dose at coronary CT angiography: results of the prospective multicenter REALISE trial [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2015, 9 (3): 215-224.
- [2] 尹兰英, 王岑, 李彩英, 等. 超低剂量联合迭代重建技术256层冠状动脉CTA实验研究 [J]. 河北医药, 2016, 38 (4): 1133-1136.
- [3] 周星, 黄刚, 张长青, 等. 双源CT低管电压结合低浓度对比剂扫描模式在冠状动脉CTA的应用研究 [J]. 医学影像学杂志, 2016, 26 (11): 1980-1986.
- [4] 曹剑, 易妍, 王怡宁, 等. 70KV超低管电压对比剂用量冠状动脉CTA研究 [J]. 放射学实践, 2014, 29 (6): 589-592.
- [5] 袁训伟, 迟淑萍, 李磊, 等. 100 kV条件下前瞻性心电门控冠状动脉CTA的图像质量与辐射剂量对比分析 [J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2016, 14 (3): 169-172.
- [6] 文雨婷, 李万江, 李真林, 等. 超低管电压联合DLIR-H算法在冠状动脉CT血管成像“双低”扫描中的应用价值 [J]. 中国医疗设备, 2022, 37 (2): 78-81.
- [7] 张鹏. 低管电压联合低浓度对比剂在冠状动脉CTA中的可行性研究 [J]. 现代医用影像学, 2016, 25 (4): 153-156.
- [8] 汤振华. 双低剂量、低流速注射冠状动脉CTA与DSA对比分析 [J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5 (4): 71-72.
- [9] 王彪, 陈兴灿, 应小丰, 等. 冠状动脉追踪冻结技术在回顾性心电门控下改善冠脉CTA图像质量的应用价值 [J]. 放射学实践, 2017, 32 (4): 427-430.
- [10] 王海林, 纪建松, 卢陈英, 等. 胸调管电压技术冠状动脉CT血管成像的图像质量和辐射剂量 [J]. 中华放射学杂志, 2016, 50 (4): 284-288.
- [11] 张婷婷, 郭尚, 史昭菲, 等. 基于70KV管电压的双源CT“双低”冠状动脉检查应用于腹型肥胖的患者的可行性 [J]. 广西医学, 2019, 41 (8): 2045-2050.
- [12] 李文进, 周柯, 郭尚. 双源CT“双低”冠状动脉成像技术在高BMI患者中的应用 [J]. 实用放射学杂志, 2018, 34 (3): 439-443.
- [13] Liu J, Gao J, Wu R, et al. Optimizing contrast medium injection protocol individually with body weight for high-pitch prospective ECG-triggering coronary CT angiography [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29: 1115-1120.
- [14] Nakaura T, Kidoh M, Sakaino N, et al. Low contrast- and low radiation dose protocol for cardiac CT of thin adults at 256-row CT: usefulness of low tube voltage scans and the hybrid iterative reconstruction algorithm [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29: 913-923.
- [15] McCollough C H. Computed tomography technology-and dose-in the 21st century [J]. Health Physics, 2019, 116 (2): 157-162.
- [16] 张玉兰, 黄军荣, 郑晓琳, 等. 256层螺旋CT结合迭代重建及“三低”肺动脉成像的可行性研究 [J]. 放射学实践, 2017, 32 (2): 144-148.
- [17] 黄爱娜, 陆健, 张涛, 等. 256层iCT低剂量扫描联合迭代重建技术在头颈部CTA的应用 [J]. 放射学实践, 2018, 33 (8): 842-846.

(收稿日期: 2023-05-06)

(校对编辑: 翁佳鸿)