

CT 冠脉成像中胸廓径线与图像质量的相关性研究

潘雪琳¹, 孙家瑜^{1△}, 程巍¹, 邓开鸿¹, 张菊英²

罗云梅³, 白红利¹, 余建群¹, 袁元¹, 邓莉萍¹, 帅桃¹, 王思梦¹

1. 四川大学华西医院放射科(成都 610041); 2. 四川大学华西公共卫生学院统计学教研室(成都 610041);

3.《中国普外基础与临床杂志》编辑部(成都 610041)

【摘要】 目的 探讨双源 CT 冠脉成像中胸廓前后径及左右径与图像质量的相关性,以获得最优化降低辐射剂量的可能性。方法 收集我院双源 CT 冠脉成像检查的患者 118 例,分为 A[25 kg/m²≤体质量指数(BMI)值<30]、B(BMI 值<25 kg/m²)两组。A 组患者 58 例,平均年龄 59.9 岁;B 组患者 60 例,平均年龄 60.1 岁。扫描参数:准直 64×0.6 mm,重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.7 mm,FOV 150~180 mm,根据心率自动调整螺距。A 组:管电压 100 kV,管电流 330 mAs;B 组:管电压 100 kV,管电流 220 mAs。采集图像后,测量胸廓前后径(AP)、左右径(RL),及所在层面(共 5 个层面)冠脉、背脊肌的 CT 值和噪声(SD),并计算冠脉相对于背脊肌的对比噪声比(CNRa)、信噪比(SNRa)。应用统计学软件进行 CNRa、SNRa 与胸廓 AP、RL、BMI 的相关性检验。结果 A、B 两组 RL 的 5 个层面与 CNRa 具有相关性($P<0.05$),A、B 两组中除 A 组第 iii、iv 层外,均与 CNRa 具有相关性($P<0.05$),除 A 组第 ii、iv 层、B 组第 v 层外,BMI 均与 CNRa 具有相关性($P<0.05$)。A 组 CNRa 与 RL 的相关系数除第 ii 层面外,都大于其与 AP 的相关系数,B 组 CNRa、SNRa 与 RL 的相关系数均大于其与 AP 的相关系数。A 组除第 iii 层面外,CNRa、SNRa 与 AP 的相关系数大于其与 BMI 的相关系数;B 组除第 ii 层面外,CNRa 与 AP 的相关系数大于其与 BMI 的相关系数。结论 在双源 CT 冠脉成像检查中,图像质量与胸廓径线(左右径、前后径)的相关性大于与 BMI 的相关性。采用胸廓径线作为降低射线剂量的参考标准更具有临床实用意义。

【关键词】 双源 CT 冠脉成像 体质量指数 胸廓径线

Image Quality Adapted Thoracic Diameters in CT Coronary Artery Imaging PAN Xue-lin¹, SUN Jia-yu^{1△}, CHENG Wei¹, DENG Kai-hong¹, ZHANG Ju-ying², LUO Yun-mei³, BAI Hong-li¹, YU Jian-qun¹, YUAN Yuan¹, DENG Li-ping¹, SHUAI Tao¹, WANG Si-meng¹. 1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Statistics, West China School of Public Health, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. 《Chinese Journal of Bases and Clinical in General Surgery》Editorial Department, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: sjy0012003@hotmail.com

【Abstract】 Objective To evaluate the correlation between image quality and thoracic diameters, anteroposterior diameter (AP) and right-left diameter (RL) for the optimization of reducing radiation dose in coronary artery imaging with Dual-source CT. **Methods** 118 patients underwent CT coronary artery imaging (CTCA) were divided into two groups (A and B) according to body mass index (BMI). There were 58 patients in group A with BMI values ≥ 25 kg/m² and < 30 kg/m²; and 60 patients in group B with BMI values < 25 kg/m². Scan parameters: collimation 64×0.6 mm, reconstruction slice thickness 0.75 mm, reconstruction interval 0.7 mm, FOV 150-180 mm, the pitch adjusted according to heart rate automatically. CT imagings were obtained with tube voltage 100 kV, tube current 330 mAs (group A) and 100 kV, tube current 220 mAs (group B). The contrast-noise ratio (CNR), signal to noise ratio (SNR), as well as blind correlation test score values were calculated to establish the relationship among BMI, AP, RL and CNR, SNR; **Results** RL of five levels in groups of A, B were correlated to CNRa ($P<0.05$). In group A and B (except iii, iv level of Group A), AP were associated with CNRa ($P<0.05$). In addition to ii, iv level of group A, v level of group B, BMI were associated with CNRa ($P<0.05$). The correlation coefficient of CNRa and RL of group A except ii level was greater than that of CNRa and AP. The correlation coefficient of CNRa, SNRa and RL of group B was greater than that of CNRa, SNRa and AP. Except iii level, the correlation coefficient of CNRa, SNRa and AP of group A was greater than that of CNRa, SNRa and BMI. Except ii level, the correlation coefficient of CNRa and AP of group B was greater than that of CNRa and

BMI. Conclusion Thoracic diameter of RL can be used as a guider to select the appropriate scan protocol in the coronary imaging acquisition with dual-source CT.

【Key words】 Dual-source CT Coronary artery imaging Body mass index Thoracic diameters

随着多层螺旋CT(MSCT)技术的不断发展,其在冠脉成像的诊断应用越来越广泛。在保持MSCT高时间分辨率和空间分辨率的同时,保证足够的密度分辨率,以获得冠脉优良的图像质量,常需增大曝光量,如64层MSCT冠脉成像的有效辐射剂量高于16层MSCT^[1]。即使采用双源CT冠脉成像,其有效辐射剂量也相对较高^[1,2]。因此,在CT冠脉成像中的电离辐射防护与安全问题,已成为大家关注的热点^[3,4]。临床上应对不同个体采用个性化的射线剂量,达到辐射防护剂量原则(as low as reasonably achievable, ALARA)的目的。目前主要依据不同体质量指数(body mass index, BMI)值来选择不同的管电流,达到辐射剂量的优化。根据此法能够一定程度上解决较小BMI个体受过量辐射,较大BMI个体所需曝光剂量又会不足的问题^[5,6],从而保证冠脉成像质量;但是不同个体体型不同,故仅依据BMI值大小来优化辐射剂量存在着局限性。

本研究对不同BMI的患者以两种射线剂量进行双源CT冠脉成像扫描,探讨其胸廓前后径、左右径及BMI与冠脉图像质量的相关性,以找到与冠脉图像质量相关性最大的参数,并以此来指导剂量的选择,实现对不同个体最优化降低射线剂量的可能性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集2010年7月至2011年5月在我院行双源CT冠脉成像检查的患者118例。纳入标准为临床疑似冠状动脉粥样硬化性心脏病或有心悸、心累等症状的患者;排除标准为碘对比剂过敏、肾功能不全、心功能不全或严重心律不齐患者,屏气不佳者,冠状动脉支架置入术者。心率超过100次/min者,给予美托洛尔降低心率。检查前均签署知情同意书。双源CT冠脉成像,按BMI值[BMI=体质量(kg)/身高²(m²)],分为A、B两组。A组BMI值 ≥ 25 kg/m²且 < 30 kg/m²,患者58例,男37例,女21例,年龄36~80岁,平均年龄59.9岁;B组BMI值 < 25 kg/m²,患者60例,男35例,女25例,年龄35~95岁,平均年龄60.1岁。

1.2 扫描方法

采用Siemens Somatom Definition双源CT扫

描仪进行冠脉成像扫描。先对患者进行严格屏气训练,扫描前3 min舌下喷硝酸甘油0.5~1.0 mg。扫描范围自气管隆突下1 cm至心脏膈面。选用非离子型对比剂欧乃派克(370 mg I/mL)和双筒高压注射器,对比剂流速5.0 mL/s,用量70~80 mL,随后追加注射流速3.0~3.5 mL/s生理盐水20 mL。以对比剂示踪法(bolus tracking),在主动脉根部层面,设定感兴趣区(ROI)监测CT值,当ROI内CT值达到100 HU时,在回顾性心电门控下进行冠状动脉扫描。

扫描参数为:准直 64×0.6 mm,重建层厚0.75 mm,重建间隔0.7 mm,FOV 150~180 mm,根据心率自动调整螺距。A组管电压100 kV,管电流330 mAs;B组管电压100 kV,管电流220 mAs。重建矩阵 512×512 ,球管旋转每一圈时间为0.33 s。

1.3 图像后处理

将采集的原始数据按层厚0.7 mm重建,且将FOV放大至包括整个胸廓,全部数据传至工作站,采用最佳心脏收缩期时相重建CT图像,重建卷积核采用平滑B26f。用大FOV的数据,行最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)层厚3 mm重建并进行测量。

1.3.1 图像质量定量评价 在西门子工作站上,利用重建的3 mm MIP图像,分别对患者心脏大血管及冠脉5个层面:即升主动脉开口层面、右冠脉开口层面、左冠脉开口层面、四腔层面(右冠脉开口到心底的中心层面)、心底层面进行测量。在大的FOV图像上,测量所在层面的冠脉、背脊肌CT值和噪声值(SD),及其同一层面胸廓的前后径(AP)、左右径(RL)。

冠脉CT值和噪声的测量:上述5个层面中,对每层图像又分别取其中心层面及上下层面共3层,以像素 44 mm^2 大小的圆形ROI,测量冠脉CT值及图像SD值,即在每一层上右冠脉、左冠脉前降支、左旋支的平均值,将上、中、下3层面的平均值作为该层面图像的CT值及图像SD值。在测量血管的CT值及噪声值时,ROI的范围大于血管面积1/2,应避开血管壁的部分容积效应,尽量在血管中央进行测量。在测量背脊肌的CT值及SD值时,仍以像素 4 mm^2 大小的圆形ROI进行测量,每层面图

像选择 4 个 ROI, 并对称分布于棘突的两侧, 应避免骨质放射状伪影, 只包括肌肉组织, 避开脂肪组织部分容积效应。同样每层 4 个 ROI 的 CT 值、SD 值, 先平均得出平均值, 以上、中、下 3 层的平均值再做平均, 得出 5 个层面背脊肌的 CT 值及 SD 值, 共得出 5 个层面冠脉、背脊肌的 CT 值及 SD 值。

胸廓前后径、左右径的测量: 用以上相同图像层面, 每层通过胸骨中点与胸椎棘突中心的直线, 至

前、后胸壁内的距离作为前后径; 通过垂直于前后径中点处的直线, 至左、右胸壁内的距离作为左右径。同样每个层面上、中、下 3 层的前后径、左右径的平均值作为该层面的数值。共得出 5 个层面胸廓的前后径、左右径。

图 1~图 5 五个层面中每层图像的中心层面及上下层面共 3 层(如图 6~图 8), 将上、中、下 3 层的平均值作为该层面图像的数据值。测量方式如

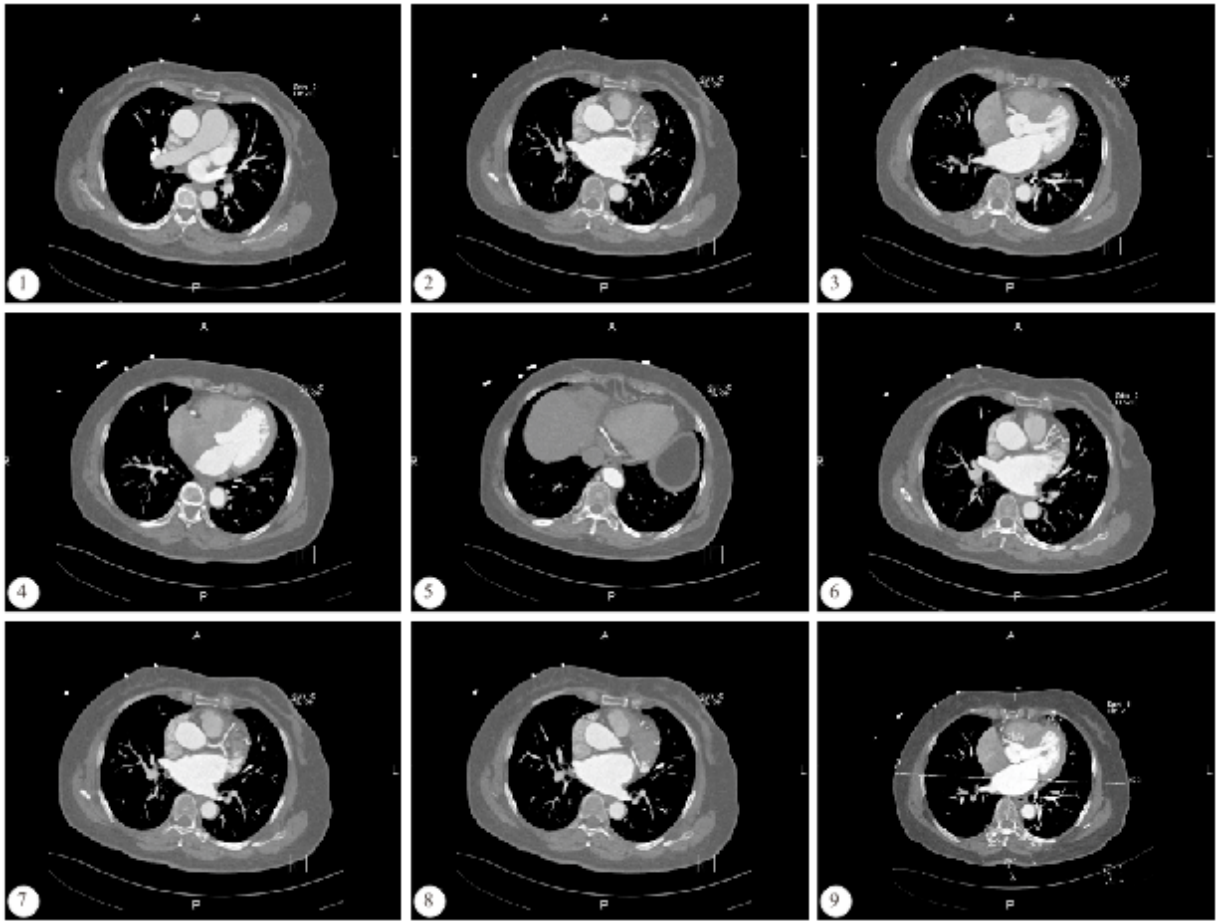


图 1 升主动脉开口层面 图 2 右冠脉开口层面 图 3 左冠脉开口层面 图 4 四腔层面 图 5 心底层面
 图 6 左冠脉开口上层 图 7 左冠脉开口中层 图 8 左冠脉开口下层 图 9 测量方式
 Fig 1 Opening level of the ascending aorta Fig 2 Opening level of the right coronary Fig 3 Opening level of the left coronary
 Fig 4 Level of four-chamber Fig 5 Bottom level of the heart Fig 6 Upper layer of the opening level of left coronary Fig 7
 Middle layer of the opening level of left coronary Fig 8 Under layer of the opening level of left coronary Fig 9 Measurement method

图 9, 即 A 为前后径的值; B 为左右径的值; C~F 的值为背脊肌的 CT 值(CTm)和 SD 值(SDm); G~I 的值为冠脉的 CT 值(CTa)和 SD 值(SDa)。

根据公式:

$$CNRa = \frac{CTa - CTm}{(SDa + SDm) / 2}$$

$$SNRa = CTa / SDa$$

分别计算出 5 个层面冠脉相对于背脊肌的对比噪声比(CNRa)、信噪比(SNRa)。通过测量和计算

得出胸廓的前后径、左右径, 冠脉相对于背脊肌的 CNRa、SNRa。

1.3.2 图像质量主观评价 根据美国心脏病学会对冠状动脉树的 15 段改良分段标准, 即第 1~4 段相对于右冠状动脉(right coronary artery, RCA)近段、中段、远段和后降支; 第 5 段相当于左主干; 第 6~10 段相当于冠状动脉前降支(left anterior descending, LAD)近段、中段、远段和第一、第二对角支; 第 11~15 段相当于回旋支近段、中段、远段和

第一、第二钝缘支。如果存在中间支为第 16 段，左心室后支为第 17 段。由此可评价直径 1.5 mm 以上冠状动脉段的图像质量。

由两名高年资的 CT 诊断医师对冠脉成像的图像质量进行盲法评分。然后对评判不一致者进行再次共同阅片，达成一致意见。按优、良、中等、差 4 级评分：图像质量优，冠状动脉显示清晰为 3.1~4.0 分；图像质量良，管壁欠锐利，不影响诊断为 2.1~3.0 分；图像质量中等，管壁中度伪影，尚可诊断为 1.1~2.0 分；图像质量差，不能做出诊断为 0~1.0 分。

1.4 统计学方法

对 A、B 两组患者分男、女对 5 个层面的 RL、AP、CNRa 进行简单相关分析，对 A、B 两组患者的 5 个层面的 RL、AP、BMI、CNRa、SNRa，采用线性回归分析，筛选指标为后退法，入选标准设为 0.1，剔除标准设为 0.09。分类资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。根据 Cohen 提出的针对关联的相关系数进行比较的方法分析不同性别间 CNRa 与 RL、AP 的相关性是否具有差异^[7,8]。

2 结果

2.1 A、B 两组男性与女性的 CNRa 与 RL、AP 的相关性研究

结果见表 1。不同性别间 CNRa 与 RL、AP 的相关性具有差异性 ($P < 0.05$)，因此对两组患者进行比较时需要考虑性别对结果的影响，组间的比较应是同性别的对比。根据 Cohen 提出的针对关联的相关系数的比较方法，得出两样本相关系数之间的差异不是由于抽样误差引起的，而是由于两个总体相关系数本身存在有差异造成的。因此与 A 组男性患者相比，B 组男性患者 AP、AL 与 CNRa 相关性更为显著 ($P < 0.05$)，与 A 组女性患者相比，B 组女性患者 AP、AL 与 CNRa 相关性更为显著 ($P < 0.05$)。

2.2 以 CNRa 为因变量的回归方程

由表 2 可见，A 组 CNRa 与 RL 的相关系数除第 ii 层面外的大于其与 AP 的相关系数，B 组

表 1 A、B 两组胸廓 AP、RL 与 CNRa 的相关性

Table 1 Relativity of thoracic diameters AP and RL in A、B groups

	CNRa of A group		CNRa of B group	
	r	P	r	P
Male's thoracic diameters				
AP	0.425	0.009	0.597	0.000
RL	0.440	0.006	0.821	0.000
Female's thoracic diameters				
AP	0.406	0.013	0.747	0.000
RL	0.387	0.015	0.723	0.000

表 2 A、B 两组 5 个层面胸廓 AP、RL、BMI 与 CNRa、SNRa 的相关性

Table 2 Relativity between AP、RL、BMI and CNRa、SNRa in each level of A and B groups

		A group				B group			
		CNRa		SNRa		CNRa		SNRa	
		r	P	r	P	r	P	r	P
AP	APi	0.381	<0.01	0.213	0.109	0.634	<0.01	0.498	<0.01
	APii	0.316	<0.05	0.135	0.313	0.444	<0.01	0.254	<0.05
	APiii	0.237	0.073	0.029	0.829	0.557	<0.01	0.105	0.425
	APiv	0.129	0.335	0.159	0.234	0.565	<0.01	0.150	0.254
	APv	0.430	<0.01	0.215	0.104	0.321	<0.05	0.026	0.844
RL	RLi	0.382	<0.01	0.180	0.176	0.731	<0.01	0.567	<0.01
	RLii	0.288	<0.05	0.095	0.477	0.666	<0.01	0.288	<0.05
	RLiii	0.290	<0.05	0.053	0.694	0.633	<0.01	0.200	0.125
	RLiv	0.309	<0.05	0.270	0.842	0.613	<0.01	0.267	<0.05
	RLv	0.393	<0.01	0.204	0.124	0.396	<0.01	0.072	0.587
BMI	BMIi	0.280	<0.05	0.196	0.141	0.581	<0.01	0.455	<0.01
	BMIii	0.258	0.050	0.132	0.322	0.646	<0.01	0.418	<0.01
	BMIiii	0.295	<0.05	0.069	0.609	0.534	<0.01	0.153	0.243
	BMIiv	0.039	0.772	0.138	0.300	0.503	<0.01	0.127	0.334
	BMIv	0.366	<0.01	0.263	<0.05	0.137	0.302	0.152	0.249

The A group thoracic anteroposterior diameter (AP) and CNRa correlation, i, v layer had a strong correlation. Thorax transverse diameter (RL) and CNRa correlation, i, v layer had a strong correlation. BMI and CNRa, iii, v layer had a strong correlation, i is followed; overall correlation coefficient of BMI is less than thorax transverse diameter and anteroposterior diameter (except iii). The B group thoracic anteroposterior diameter (AP) and CNRa correlation, i, iv layer had a strong correlation. Thorax transverse diameter (RL) and CNRa correlation, i, ii layer had a strong correlation; correlation coefficient overall diameter greater than the anteroposterior diameter of about thorax. BMI and CNRa, i, ii layer had a strong correlation; overall correlation coefficient of BMI is less than thorax transverse diameter and anteroposterior diameter (except ii). i, ii, iii, iv, v is the level number

CNRa、SNRa 与 RL 的相关系数均大于其与 AP 的相关系数。除第 iii 层面外, CNRa、SNRa 与 AP 的相关系数又大于其与 BMI 的相关系数;除第 ii 层面外, CNRa 与 AP 的相关系数大于其与 BMI 的相关系数。综合具体图像采集过程的方便性和表 2 的数

据可见在第 i 层中 LR、AP、BMI 与 CNRa、SNRa 的相关性最强,且实用性更强。LR 与 CNRa 的 r 值为 0.382, 0.731; AP 与 CNRa 的 r 值为 0.381, 0.634。因此采用第 i 层的数据进行多重线性回归,得出回归方程。见表 3、表 4。

表 3 A 组与 CNRa 为因变量的数据分析

Table 3 A group and CNRa as the dependent variable in the data analysis

Variable	Regression coefficient	Standard error of regression coef	Standard regression coefficient	t	P
RL	0.727	0.340	0.276	2.138	0.037
AP	1.006	0.467	0.278	2.156	0.035

$$Y = 65.356 - 1.006AP - 0.727RL; t = 5.162, P < 0.001, R^2 = 0.460$$

表 4 B 组以 CNR 为因变量的数据分析

Table 4 B group and CNRa as the dependent variable in the data analysis

Variable	Regression coefficient	Standard error of regression coef	Standard regression coefficient	t	P
RL	1.646	0.225	0.577	7.319	<0.01
AP	2.086	0.387	0.425	5.386	<0.01

$$Y = 116.820 - 2.086AP - 1.646RL; t = 13.153, P < 0.001, R^2 = 0.832$$

2.3 图像质量主观评价

经双盲法评分,两位评价者评分的一致性较好(Kappa=0.13),图像质量评分的总分值 A 组为 3.1~4.0 分和 2.1~3.0 分者,分别占 83% 和 17%,在 B 组为 3.1~4.0 分和 2.1~3.0 分者,分别占 90% 和 10%,在 A 组与 B 组之间比较差异无统计学意义;图像质量评为优和良的冠状动脉的总分值在 A 组与 B 组之间比较差异无统计学意义。

3 讨论

CT 扫描的广泛应用对患者可能产生的电离辐射损伤风险,正成为较突出的医疗问题和社会问题。经流行病学调查显示,CT 检查的 X 线辐射剂量可增加癌症发病率^[3,4]。如在美国约 1.5%~2.0% 的癌症可由 CT 检查所致^[4]。MSCT 用于冠脉成像的放射线剂量,要显著高于其他部位的 CT 检查。因此,在冠脉成像中,在保证图像质量的前提下如何有效降低 CT 冠脉成像检查的辐射剂量,具有重要的现实意义。

目前通常采用 BMI 作为 CT 冠脉成像射线剂量优化的主要依据。BMI 是国际公认的一种评定肥胖程度的分级方法,在 CT 冠脉成像中,针对不同 BMI 范围的患者采用不同的射线剂量,以达到个性化的扫描,能够有效降低患者的辐射剂量。但是运用 BMI 指导剂量条件也可能存在较小 BMI 的个体可受到过量辐射,而较大 BMI 个体其曝光量又显不足的情况^[9,10]。临床实践表明,大多数患者 BMI 可

能相对接近,而个体患者的身高、体质量则不尽相同。即使身高、体质量一样,而其体型也存在差异。如有患者主要以肢体重量为主,另有患者主要是躯干质量为主。鉴于个体的这些差异,仅采用根据 BMI 的范围来确定管电流,拟定扫描方案,则存在不适用的问题^[10-12]。

本研究将 118 例行冠脉成像的患者,分为两组,对相同 BMI 范围的患者,采用相同射线剂量进行冠脉成像。通过盲法评分,A、B 两组图像质量均能满足诊断。对 CT 冠脉成像中的图像质量(CNRa、SNRa)与胸廓 AP、RL 以及 BMI 的相关性进行对照研究,结果显示 CNRa、SNRa 与 RL 的相关系数大于 CNRa、SNRa 与 AP 的相关系数。CNRa、SNRa 与 AP 的相关系数也大于 CNRa、SNRa 与 BMI 的相关系数。图像质量与胸廓径线(左右径、前后径)的相关性大于与 BMI 的相关性,尤其在第一层(即升主动脉层面)其相关关系更明显。即图像质量与胸廓径线的相关性大于其与 BMI 的相关性。

前后径、左右径的数值相对于 BMI 值更能反映出受检者的体型,能更敏感的反映出受检者被检部位的生理特征,具有临床实用意义。Reid 等^[13]通过对小孩体模的研究发现,依据腹围来调节剂量是保持图像质量和射线剂量达到平衡的最准确的方法,而不是体质量或年龄。由于射线的衰减与距离的平方呈反比,与被检体的厚度成反比,对于成像区径线相对较小的受检者采用较低的射线剂量,对于成像区径线相对较大的受检者采用较高的射线剂量以达

到 ALARA 原则。避免依据 BMI 调整扫描射线剂量可能出现的剂量过高或过低的情况,能够保证在达到诊断目的的情况下最优化射线剂量,真正实现个性化的扫描射线剂量优化。

本研究结果对于 CT 冠脉成像的射线剂量的个性化设置具有重要意义。对于采用自动曝光控制 (automatic tube current modulation, ATCM) 的机型如西门子 (CARE DOSE) 进行冠脉成像时,可以很好地帮助预设其参考初始预设剂量 (mAS); 而对于无或不采用 ACTM 的 CT 机行冠脉成像时,对其射线剂量的合理设置更具指导意义。

本研究存在以下局限性: ① 样本量较小。② BMI 只分为两组。可进行更为精确的划分,如按照轻体质量 $BMI < 18.5 \text{ kg/m}^2$; 健康体质量 $18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 24 \text{ kg/m}^2$; 超重 $24 \leq BMI < 28 \text{ kg/m}^2$; 肥胖 $28 \text{ kg/m}^2 \leq BMI$ 来分组进行研究。③ 应该结合患者的胸围研究图像质量与胸廓径线的相关性。

总之,在双源 CT 冠脉成像检查中,图像质量与胸廓径线的相关性大于与 BMI 的相关性,其中与胸廓左右径的相关性大于前后径。采用患者的左右径 (尤其是升主动脉层面) 来指导优化管电流,更有助于实现 CT 冠脉成像的个性化射线剂量优化,达到射线剂量最优化原则。

参 考 文 献

- 1 Raff GL, Gallagher MJ, O'neill WW, *et al.* Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2005; 46(3): 552-557.
- 2 McCollough CH, Primak AN, Osama S, *et al.* Dose performance of a 64-channel dual-source CT scanner. *Radiology*, 2007; 243(3): 775-784.
- 3 Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*, 2007; 298

- (3): 317-323.
- 4 Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*, 2007; 357(22): 2277-2284.
- 5 高建华, 孙宪昶, 李剑颖等. 后置滤过器 C2 对 64 排螺旋 CT 冠状动脉成像质量的影响. *中国医学影像技术*, 2007; 23(1): 73-76.
- 6 高建华, 戴汝平, 郑静晨等. 应用后滤过重组降低 64 层螺旋 CT 心脏检查 X 线剂量的初步研究. *中华放射学杂志*, 2007; 41(18): 1014-1018.
- 7 Snedecor GW, Cochran WG. *Statistical Methods*. New York: Iowa State University Press, 1980; 185-188.
- 8 Cohen J, Cohen P. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Second Edition. Mahwah New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983; 436-501.
- 9 Jenny KH, Lynne MH, Daniel TB. Optimization of tube current in coronary multidetector computed tomography angiography: assessment of a standardized method to individualize current selection based on body habitus. *J Comput Assist Tomogr*, 2009; 33(4): 498-504.
- 10 Pfloderer T, Rudofsky L, Ropers D, *et al.* Image quality in a low radiation exposure protocol for retrospectively ECG-gated coronary CT angiography. *AJR Am J Roentgenol*, 2009; 192(4): 1045-1050.
- 11 Lee EJ, Lee SK, Agid R, *et al.* Comparison of image quality and radiation dose between fixed tube current and combined automatic tube current modulation in craniocervical CT angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009; 30(9): 1754-1759.
- 12 王贵生, 高建华, 李剑颖等. 64 层螺旋 CT 心脏检查中体重指数与射线剂量关系的研究. *医学影像学杂志*, 2008; 18(5): 473-477.
- 13 Reid J, Gamberoni J, Dong F, *et al.* Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: is it best to base parameter selection on object circumference? *AJR Am J Roentgenol*, 2010; 195(4): 1015-1020.

(2012-12-03 收稿, 2013-04-15 修回)

编辑 吕 熙