

## 双源 CT 前门控大螺距扫描在小儿先天性心脏病诊断中的应用

陈月芹, 孙占国, 黄书然, 钱海珍, 郭翔, 徐文坚

**【摘要】** 目的:评价双源 CT(DSCT)前门控大螺距扫描在小儿先天性心脏病中的应用价值。方法:搜集行 DSCT 血管造影并经手术证实的先天性心脏病患儿 67 例,34 例行前门控大螺距扫描(大螺距扫描组),33 例行前门控序列扫描(序列扫描组)。比较两组的图像质量、有效辐射剂量及诊断效能。结果:大螺距扫描组与序列扫描组大血管图像质量评分差异无统计学意义( $Z=0.123, P>0.05$ ),大螺距扫描组内心结构和冠状动脉近中段评分低于序列扫描组,差异有统计学意义( $Z=3.574, 4.728, P<0.05$ )。两组升主动脉、主肺动脉、左心室、右心室的 CT 值、噪声值及信噪比差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。大螺距扫描组和序列扫描组平均有效辐射剂量分别为  $(0.36 \pm 0.08)$  mSv、 $(0.51 \pm 0.08)$  mSv,差异有统计学意义( $t=8.200, P<0.05$ )。大螺距扫描组和序列扫描组对心血管畸形的诊断符合率分别为 98.82%、99.09%,差异无统计学意义( $\chi^2=0.347, P>0.05$ )。结论:DSCT 前门控大螺距扫描用于小儿先心病能够获得较高的图像质量和诊断符合率,且辐射剂量显著降低。

**【关键词】** 先天性心脏病; 双源 CT 血管造影; 大螺距; 辐射剂量

**【中图分类号】** R814.42; R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)03-0253-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.03.010

## Application of prospective ECG-gated high-pitch spiral dual-source CT angiography in children with congenital heart diseases

CHEN Yue-qin, SUN Zhan-guo, HUANG Shu-ran, et al, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Shandong 2720292, China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the imaging quality, radiation dose and diagnostic accuracy of prospective ECG-gated high-pitch imaging data acquisition using dual-source CT (DSCT) angiography in children with congenital heart disease (CHD). **Methods:** 67 children with surgery confirmed CHD were included in this study. 34 children underwent DSCT angiography with high-pitch scan mode, the rest 33 cases with sequential mode. The imaging quality, effective radiation doses (ED), and the diagnostic accuracy of two groups were compared. **Results:** There was no significant difference in image quality score of great vessels between the two groups ( $Z=0.123, P>0.05$ ). The image quality of intracardiac structures and coronary arteries was significantly lower in the high-pitch group than that in the sequential group ( $Z=3.574$  and  $4.728, P<0.05$ ). The CT attenuation, noise and SNR in ascending aorta, pulmonary trunk, left ventricle and right ventricle had no significant difference between the two groups. Mean ED in high-pitch group and sequential group were  $(0.36 \pm 0.08)$  mSv,  $(0.51 \pm 0.08)$  mSv respectively, with significant differences ( $t=8.200, P<0.05$ ). The diagnostic accuracy of high-pitch group and sequential group were 98.82%, 99.09% respectively, without significant difference ( $\chi^2=0.347, P>0.05$ ). **Conclusion:** The prospective ECG-gated high-pitch acquisition of DSCT angiography provides high imaging quality and diagnostic accuracy for the assessment of CHD in children with significant lower radiation dose.

**【Key words】** Congenital heart disease; Dual-source CT angiography; High-pitch; Radiation exposure

作为经胸超声心动图(transthoracic Echocardiography, TTE)的重要补充检查,MSCT 无创、易行,在先天性心脏病(简称先心病)术前评估中具有重要价值。但 CT 检查对小儿造成的辐射损伤不容忽视,因此应在保证诊断的基础上尽可能降低小儿辐射剂量<sup>[1]</sup>。第二代以后的双源 CT(dual-source computed tomography, DSCT)前门控大螺距扫描可在一个心动周期内完成冠状动脉采集,辐射剂量低至  $1 \text{ mSv}$ <sup>[2-4]</sup>,

该扫描模式在先心病检查中的应用报道尚少。本研究通过与 DSCT 前门控序列扫描对照,探讨前门控大螺距扫描在小儿先天性心脏病诊断中的应用价值,评价其图像质量、辐射剂量及诊断效能。

## 材料与方 法

## 1. 患者选择

搜集因疑似先心病行 CTA 检查并经手术证实的 67 例患儿的病例资料,34 例行 DSCT 前门控大螺距扫描,男 19 例,女 15 例,年龄 21 天~6 岁,中位年龄 15 个月;33 例行 DSCT 前门控序列扫描,男 18 例,女 15 例,年龄 29 天~6 岁,中位年龄 14 个月。

作者单位:272029 济宁,济宁医学院附属医院(陈月芹、孙占国、黄书然、钱海珍、郭翔);266000 青岛,青岛大学附属医院放射科(徐文坚)

作者简介:陈月芹(1972-),女,山东济宁人,博士,副主任医师,主要从事 CT 诊断工作。

通讯作者:徐文坚, E-mail: cjr\_xuwenjian@vip.163.com

## 2. DSCT 检查

采用第二代 Siemens Somatom Definition Flash DSCT, 留置 22~24G 套管针, 仰卧位, 头先进, 胸前黏贴四导联电极, 于患儿熟睡后在自由呼吸状态下扫描, 扫描范围自胸廓入口至膈下 2.5 cm。采用 MEDRAD Stellant D 双筒高压注射器静脉注射非离子型对比剂碘佛醇(320 mg I/mL, 江苏恒瑞医药股份有限公司), 用量 2 mL/kg 体重, 设定至少维持 15 s 的药物注射时间, 以同等流率注射生理盐水 1.5 mL/kg。于定位像气管分叉下方 2~3 cm 处扫描获取四腔心层面, 将兴趣区置于空气背景内。对比剂开始注射后 20 s 启动监测层面扫描, 间隔 1 s, 当四腔心均显影时手动启动心脏大血管扫描。扫描参数: 球管旋转时间 0.28 s, z-轴飞焦点技术, 准直 2 mm×64 mm×0.6 mm, 采集层厚 2 mm×128 mm×0.6 mm; 管电压: 体重≤5 kg 采用 70 kV, 体重>5 kg 采用 80 kV; 管电流: 体重<5 kg 设为 60 mA, 5~10 kg 设为 60~79 mA, >10 kg 设为 80~120 mA。大螺距扫描预设扫描心电触发时相 10% R-R 间期, 螺距 3.4。序列扫描采集时相设为 40%~40% R-R 间期。

## 3. 图像后处理

扫描结束后, 重建层厚 0.6 mm, 间隔 0.5 mm, 开启 SAFIRE 重建(2 级), 软组织算法, 卷积函数 I26f。将图像传送至 Siemens Syngo CT. 3D Workplace 工作站进行后处理。运用多平面重组(multi-planar reformation, MPR), 最大密度投影(maximum intensity projection, MIP), 容积再现(volume rendering, VR) 进行图像重组并分析。

## 4. 图像质量评价

主观评分: 2 名富有经验的心血管 CT 诊断医师在未知手术结果的前提下, 对图像质量进行独立主观评分, 结论不同时, 商讨达成一致作为最终得分。心内结构、大血管图像质量: 5 分, 非常好; 4 分, 好, 能清楚显示解剖结构; 3 分, 中等, 解剖结构显示能满足诊断; 2 分, 部分结构或关系不能确定; 1 分, 无有价值的解剖信息。评分≥3 分可用于诊断。冠状动脉近中段图像质量: 5 分, 无伪影; 4 分, 有轻度伪影; 3 分, 有明显伪影, 具有诊断可信度; 2 分, 冠状动脉部分节段评估受限; 1 分, 冠状动脉不能识别。评分≥3 分可用于诊断。

客观评分: 由同一医师在主肺动脉中心层面的横轴面图像上, 测量升主动脉、主肺动脉管腔 CT 值, 在心室中部层面测量左心室、右心室 CT 值, 兴趣区 10 mm<sup>2</sup>, 不同部位测量 5 次, 获取平均 CT 值和噪声值(标准差), 信噪比(signal-to-noise ratio, SNR) = 测量区域的平均 CT 值/测量区域 CT 值的标准差。

## 5. 辐射剂量评估

辐射剂量报告中剂量长度乘积(DLP)基于 32 cm 体模自动获取, 计算小儿有效辐射剂量时需将其转换为 16 cm 体模对应的 DLP, 设备制造商提供的 70 kV、80 kV 时小儿检查的 DLP 转换因子分别为 2.5、2.3, 故修正后的 DLP 应为自动获取的 DLP×2.5(70 kV) 或 DLP×2.3(80 kV)<sup>[5]</sup>。有效剂量(effective dose, ED) = 修正后的 DLP×小儿胸部转化系数 k, <4 个月 k 取 0.039 mSv/(mGy·cm), 4 个月~1 岁取 0.026 mSv/(mGy·cm), 1 岁~6 岁取 0.018 mSv/(mGy·cm)<sup>[6]</sup>。

## 6. 图像分析及诊断

根据心脏节段分析法, 观察各节段形态及其解剖连接, 由 2 名经验丰富的中级以上职称医师一致作出诊断, 将术前 DSCT 检查结果与手术结果进行对比分析, 评价两种扫描方法对心血管畸形的诊断准确性。

## 7. 统计学分析

采用 IBM SPSS Statistics 19.0 软件包进行统计学分析。计量资料比较采用独立样本 *t* 检验, 计数资料比较采用非参数样本卡方检验, 图像质量评分比较采用非参数秩和检验。以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 结 果

### 1. 患儿基本信息

两组患儿性别、年龄、体重、心率比较, 差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。大螺距扫描时间明显缩短, 差异有统计学意义( $t = 38.057, P < 0.05$ , 表 1)。

表 1 大螺距扫描组与序列扫描组患儿的基本情况

参数	大螺距扫描组	序列扫描组	<i>t</i> 值/ $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值
男性(例)	19	18	0.012	0.912
年龄(月)	19.82±18.51	20.54±18.17	0.161	0.873
体重(kg)	10.21±5.37	10.74±5.37	0.409	0.684
心率(bpm)	120.62±20.15	119.60±20.32	0.205	0.839
扫描时间(s)	0.44±0.06	3.50±0.47	38.057	0.000

### 2. 图像质量

主观评估结果: 大螺距扫描组心内结构、大血管图像质量评分均≥3 分, 但仅 70% 的冠状动脉图像质量评分≥3 分。序列扫描组所有图像质量评分均≥3 分。两组大血管图像质量评分差异无统计学意义( $Z = 0.123, P > 0.05$ ), 大螺距扫描组心内结构和冠状动脉评分低于序列扫描组, 差异有统计学意义( $Z = 3.574, 4.728, P < 0.05$ ), 见表 2。

客观评估结果: 两组在升主动脉、肺动脉主干、左心室、右心室的平均 CT 值( $t = 0.811, 0.565, 0.697, 1.149, P > 0.05$ )、噪声( $t = 1.705, 1.644, 1.009, 1.353, P > 0.05$ )、信噪比( $t = 1.393, 1.292, 1.784,$

1.399,  $P > 0.05$ ) 差异均无统计学意义, 见表 2。

表 2 大螺距扫描组和序列扫描组图像质量评估结果

参数	大螺距扫描组	序列扫描组	Z 值/ t 值	P 值
心内结构评分	3.74±0.67	4.33±0.60	3.574	0.000
大血管评分	4.50±0.51	4.52±0.51	0.123	0.902
冠状动脉评分	2.85±0.96	3.94±0.61	4.728	0.000
升主动脉				
CT 值	419.26±92.95	401.73±83.73	0.811	0.421
噪声	29.24±10.41	24.97±10.05	1.705	0.093
SNR	16.06±5.89	18.27±7.09	1.393	0.168
主肺动脉				
CT 值	418.76±133.41	400.73±127.76	0.565	0.574
噪声	34.56±11.55	30.03±10.97	1.644	0.105
SNR	13.06±5.06	14.91±6.58	1.292	0.201
左室腔				
CT 值	429.03±80.33	415.18±82.29	0.697	0.488
噪声	38.06±17.11	33.24±21.74	1.009	0.317
SNR	12.93±5.02	15.66±7.33	1.784	0.079
右室腔				
CT 值	437.79±109.88	409.42±91.01	1.149	0.255
噪声	35.47±14.58	30.67±14.49	1.353	0.181
SNR	13.56±4.68	15.61±7.07	1.399	0.167

### 3. 辐射剂量

两组平均 DLP 分别为 (7.06±2.42) mGy·cm、(10.12±3.15) mGy·cm, 平均 ED 分别为 (0.36±0.08) mSv、(0.51±0.08) mSv, 差异均有统计学意义

( $t=4.468, 8.200, P < 0.05$ )

### 4. 诊断准确性

两组共存在 121 处和 122 处心内外畸形(表 3, 图 1、2)。大螺距扫描组漏诊房间隔缺损 3 处、二尖瓣瓣叶裂 1 处、心房异构 1 处、冠状动脉异常 2 处; 误诊单心室 1 处, 将肺动脉重度狭窄误诊为肺动脉闭锁 1 处。序列扫描组漏诊房间隔缺损 2 处、左侧三房心 1 处、动脉导管未闭 1 处、高位起源侧枝血管 1 处; 误诊部分型心内膜垫缺损 1 处、右室双出口 1 处。大螺距扫描组和序列扫描组的诊断符合率(表 2)分别为 98.82%、99.09%, 差异无统计学意义( $\chi^2=0.347, P=0.556$ )。大螺距扫描组的诊断敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 91.74%、99.78%、98.23%、98.90%, 序列扫描组分别为 94.26%、99.77%、98.29%、99.20%。

### 讨论

第二代 DSCT 具有两套约呈 95° 排列的球管、探测器系统, 机架转速 0.28 s/r, 固有时间分辨率 75 ms,

表 3 大螺距扫描组和序列扫描组对心内外畸形诊断结果与手术对照

心内外畸形	大螺距扫描组(n=34)					序列扫描组(n=33)				
	手术	TP	TN	FP	FN	手术	TP	TN	FP	FN
房间隔缺损	14	11	20	0	3	13	11	20	0	2
室间隔缺损	17	17	17	0	0	18	18	15	0	0
心内膜垫缺损										
完全性	2	2	32	0	0	1	1	32	0	0
部分性	0	0	34	0	0	1	0	31	1	1
心房异构	1	0	33	0	1	1	1	32	0	0
左侧三房心	0	0	34	0	0	1	0	32	0	1
单心室	1	0	32	1	1	1	1	32	0	0
第三心室形成	2	2	32	0	0	1	1	32	0	0
右位心	1	1	33	0	0	2	2	31	0	0
心肌致密化不全	0	0	34	0	0	1	1	32	0	0
二尖瓣瓣叶裂	1	0	33	0	1	0	0	33	0	0
主动脉瓣二瓣化畸形	0	0	34	0	0	1	1	32	0	0
右室流出道狭窄	18	18	16	0	0	20	20	13	0	0
大动脉转位/异位	1	1	33	0	0	2	2	31	0	0
右室双出口	2	2	32	0	0	2	1	30	1	1
主动脉骑跨	9	9	25	0	0	10	10	23	0	0
肺静脉畸形引流										
部分性	1	1	33	0	0	0	0	33	0	0
完全性	2	2	32	0	0	1	1	32	0	0
肺动脉闭锁	1	0	32	1	1	1	1	32	0	0
肺动脉狭窄	7	7	27	0	0	8	8	25	0	0
主动脉瓣上狭窄	1	1	33	0	0	2	2	31	0	0
主动脉弓缩窄	3	3	31	0	0	2	2	31	0	0
主动脉弓离断	1	1	33	0	0	0	0	33	0	0
主动脉右弓右降	3	3	31	0	0	4	4	29	0	0
动脉导管未闭	10	9	24	0	1	8	7	25	0	1
头臂动脉起源异常	2	2	32	0	0	2	2	31	0	0
左头臂静脉异常走行	2	2	32	0	0	1	1	32	0	0
永存左上腔静脉	2	2	32	0	0	3	3	30	0	0
粗大侧枝循环	13	13	21	0	0	12	11	21	0	1
冠状动脉异常	4	2	30	0	2	3	3	30	0	0
合计	121	111	897	2	10	122	115	866	2	7

注: TP 真阳性, TN 真阴性, FP 假阳性, FN 假阴性; 诊断符合率 = (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)。

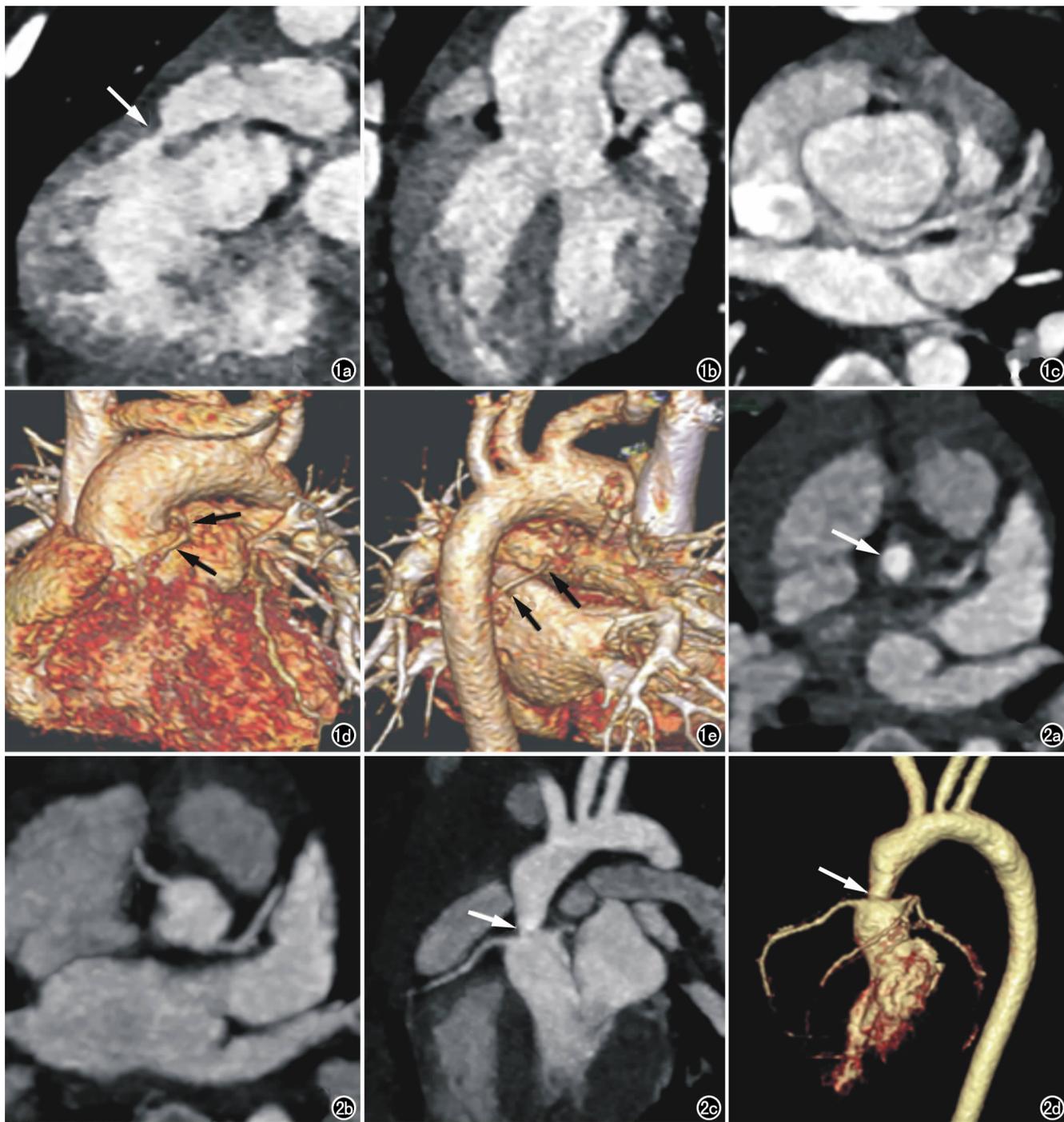


图1 男,1岁3个月,前门控大螺距扫描,有效辐射剂量0.290 mSv,诊断法洛四联症。a) MPR示右室流出道狭窄(箭); b) MPR示室间隔缺损、主动脉骑跨50%; c) MIP示冠状动脉评分3分; d) VR示右冠状动脉高位起源(箭); e) VR示体肺侧枝循环(箭)。图2 男,1岁5个月,前门控大螺距扫描,有效辐射剂量0.331 mSv,诊断主动脉瓣上狭窄(箭)。a) MPR示主动脉瓣上管腔狭窄; b) MIP示冠状动脉评分5分,起源、走行未见异常; c) MIP图像; d) VR图像。

能够实现最大螺距3.4的无间隔扫描,即大螺距扫描模式<sup>[2]</sup>。本研究中,笔者将前门控大螺距扫描用于小儿先心病的术前诊断,获得了较好的成像效果,虽然大螺距扫描组心内结构和冠状动脉的主观评分低于序列扫描组,但两组图像质量的客观评估结果并无统计学差异,也未对诊断符合率造成明显影响,且大螺距扫描降低了近30%辐射剂量,对小儿的保护是显著的,具

有临床实用价值。

#### 1. 图像质量

先心病患儿心率通常较快(本组患儿平均心率约120 bpm),舒张期、收缩期均较短,加上心脏大血管扫描范围较大,很难保证在单一收缩期或舒张期有足够且稳定的时间窗完成大螺距扫描。为尽可能减小心脏搏动伪影对图像质量的影响,笔者参考Nie等<sup>[7]</sup>的研

究方法,将采集触发时相设为10% R-R间期,使得大部分患儿能够在收缩末期-舒张早期完成心脏或冠状动脉的扫描。结果显示,大螺距扫描图像质量的客观评估结果与序列扫描相当,但其心内结构和冠状动脉的主观评分低于序列扫描组,主要原因在于部分先心病患儿心率波动造成采集起始时相偏离预设触发点,降低了预期的图像质量。一旦R波落在心脏或冠状动脉层面,则会对心内结构或冠状动脉图像质量产生较大影响。本研究中大螺距扫描组冠状动脉评分<3分者,多由冠状动脉明显搏动伪影所致,回顾性分析心电图记录,约1/3(11/34)的患儿冠状动脉起始部扫描时相位于心电图R波附近。

## 2. 辐射剂量

小儿对X线辐射的敏感度为成人的10倍多,引起辐射损伤和辐射相关肿瘤的机率也比成人更高<sup>[8]</sup>。本研究结果显示,前门控大螺距扫描有效辐射剂量仅(0.36±0.08) mSv,较序列扫描单一时相点射采集的辐射剂量(0.51±0.08) mSv进一步降低,减小了小儿先心病CT检查的辐射损伤。两组扫描方式的辐射剂量差异具有一定的理论依据,序列扫描多次采集间存在约10%的数据重叠,且每次探测器进入和离开180°角时均发生无效曝光,而大螺距扫描单次采集不存在重叠扫描,无效曝光仅发生在采集的始末<sup>[7]</sup>。另外,80 kV的管电压是目前小儿心脏成像所用的常规参数,多数CT机管电压设置都能满足这一要求<sup>[9]</sup>。然而对于低体重、甚至极低体重患儿,80 kV的管电压也是偏高的。本研究中对于体重≤5 kg的婴幼儿患者采用70 kV的管电压,扫描所得图像质量并不比80 kV差,与文献报道所述一致<sup>[10]</sup>,且使用70 kV管电压可以降低对比剂浓度而依然保持良好的对比增强效果<sup>[5]</sup>。

## 3. 诊断准确性

本研究大螺距扫描对先心病诊断的敏感度、特异性、阳性预测值、阴性预测值分别为91.74%、99.78%、98.23%、98.90%,其中敏感度、阳性预测值、阴性预测值略小于序列扫描,但二者的差异并无统计学意义,在先心病术前诊断中具有临床应用价值。房间隔缺损、十字交叉结构异常、瓣膜畸形等较小或较薄的心内畸形易受运动伪影影响而致漏诊、误诊,在大螺距扫描中更易发生。心外大血管畸形的漏诊、误诊在两组中均较少,主要集中在心脏-大血管连接处、不典型部位侧枝循环和冠状动脉、动脉导管等细小结构处,除图像质量影响外,还与图像重建、观察不细致有关。

结合临床实际,大螺距扫描尤其适用于TTE的补充检查或以大血管畸形为主的先心病患儿<sup>[11]</sup>。

## 4. 不足之处

首先,将两种扫描技术分别应用于不同的病例组,所涉及的病例复杂多样,难免产生一定的偏倚;其次,大螺距扫描图像质量的影响因素有待进一步研究;再次,根据体重本研究运用了70和80 kV两种不同的电压,两种电压值对应的图像质量、辐射剂量未进一步评价。

## 参考文献:

- [1] 张广文,张劲松,李剑,等. 双源CT在儿童颞骨检查中低剂量扫描条件的研究[J]. 放射学实践, 2016, 31(2): 171-174.
- [2] Flohr TG, Klotz E, Allmendinger T, et al. Pushing the envelope: new computed tomography techniques for cardiothoracic imaging[J]. J Thorac Imaging, 2010, 25(2): 100-111.
- [3] Machida H, Tanaka I, Fukui R, et al. Current and novel imaging techniques in coronary CT[J]. Radiographics, 2015, 35(4): 991-1010.
- [4] Goetti R, Feuchtner G, Stolzmann P, et al. High-pitch dual-source CT coronary angiography: systolic data acquisition at high heart rates[J]. Eur Radiol, 2010, 20(11): 2565-2571.
- [5] Nakagawa M, Ozawa Y, Sakurai K, et al. Image quality at low tube voltage (70kV) and sinogram-affirmed iterative reconstruction for computed tomography in infants with congenital heart disease[J]. Pediatr Radiol, 2015, 45(10): 1472-1479.
- [6] Cheng Z, Wang X, Duan Y, et al. Low-dose prospective ECG-triggering dual-source CT angiography in infants and children with complex congenital heart disease: first experience[J]. Eur Radiol, 2010, 20(10): 2503-2511.
- [7] Nie P, Wang X, Cheng Z, et al. Accuracy, image quality and radiation dose comparison of high-pitch spiral and sequential acquisition on 128-slice dual-source CT angiography in children with congenital heart disease[J]. Eur Radiol, 2012, 22(10): 2057-2066.
- [8] Klink T, Müller G, Weil J, et al. Cardiovascular computed tomography angiography in newborns and infants with suspected congenital heart disease: retrospective evaluation of low-dose scan protocols[J]. Clin Imaging, 2012, 36(6): 746-753.
- [9] Long CM, Long SS, Johnson PT, et al. Utility of low-dose high-pitch scanning for pediatric cardiac computed tomographic imaging[J]. J Thorac Imaging, 2015, 30(4): W36-W40.
- [10] Nie P, Li H, Duan Y, et al. Impact of sinogram affirmed iterative reconstruction (SAFIRE) algorithm on image quality with 70kVp-tube-voltage dual-source CT angiography in children with congenital heart disease[J]. PLoS One, 2014, 9(3): e91123.
- [11] Xu J, Zhao H, Wang X, et al. Accuracy, image quality, and radiation dose of prospectively ECG-triggered high-pitch dual-source CT angiography in infants and children with complex coarctation of the aorta[J]. Acad Radiol, 2014, 21(10): 1248-1254.

(收稿日期: 2016-09-06)