

## 心胸 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002187

## 第三代双源 CT 前门控序列扫描模式对复杂性先天性心脏病临床诊断价值研究

吴 雄<sup>1</sup>, 胡跃群<sup>2</sup>, 梅习龙<sup>1</sup>, 蒋 博<sup>1</sup>, 邓 凯<sup>1</sup>, 司徒卫军<sup>1</sup>, 孙剑宁<sup>1</sup>, 杨海涛<sup>1</sup>, 颜 敏<sup>1</sup>

(1. 中南大学湘雅二医院放射科, 长沙 410011; 2. 中南大学湘雅三医院放射科, 长沙 410013)

**【摘要】目的:**探讨第三代双源 CT 前门控序列扫描模式对复杂性先天性心脏病临床诊断价值。**方法:**收集经临床确诊为复杂性先天性心脏病并手术的患者 43 例, 以此结果为参考金标准对比术前心脏双源 CT 前瞻性心电门控序列成像和超声心动图检查, 分析 2 种方法的检出率及总体诊断效能。**结果:**43 例病例手术后共发现 187 处畸形, 双源 CT 成像检出 155 处, 超声心动图检出 153 处, 双源 CT 成像与超声心动图总检出率分别为 82.89% 和 81.82%, 差异无统计学意义 ( $\chi^2=0.074, P=0.786$ ); 其中心脏血管连接处畸形部分: 双源 CT 成像与超声心动图检出率分别为 100% 和 90.91%, 差异无统计学意义 ( $\chi^2=2.095, P=0.148$ ); 心内畸形部分: 双源 CT 成像与超声心动图检出率分别为 62.35% 和 81.18%, 差异有统计学意义 ( $\chi^2=7.430, P=0.006$ ); 心脏周围血管畸形部分: 双源 CT 成像与超声心动图检出率分别为 100% 和 80.00%, 差异有统计学意义 ( $\chi^2=17.778, P=0.001$ )。第三代双源 CT 成像组总体的阳性预测值、阴性预测值、精度、特异度、敏感度分别为 98.05%、96.43%、96.64%、99.69%、80.75%, 超声心动图组分别为 99.35%、96.52%、96.90%、99.90%、81.28%。**结论:**双源 CT 成像相比超声心动图对于复杂性先天性心脏病心脏周围血管畸形的诊断具有明显优势。双源 CT 成像与超声心动图对病变总体检出没有统计学差异。

**【关键词】**第三代双源 CT; 复杂性先天性心脏病; 超声心动图

**【中图分类号】**R541.1

**【文献标志码】**A

**【收稿日期】**2019-03-17

## Value of third-generation dual-source CT prospective ECG-gated sequence scanning mode in the diagnosis of complex congenital heart disease

Wu Xiong<sup>1</sup>, Hu Yuequn<sup>2</sup>, Mei Xilong<sup>1</sup>, Jiang Bo<sup>1</sup>, Deng Kai<sup>1</sup>, Situ Weijun<sup>1</sup>, Sun Jianning<sup>1</sup>, Yang Haitao<sup>1</sup>, Yan Min<sup>1</sup>

(1. Department of Radiology, Second Xiangya Hospital, Central South University;

2. Department of Radiology, Third Xiangya Hospital, Central South University)

**【Abstract】Objective:** To investigate the clinical value of the third-generation dual-source CT prospective ECG-gated sequence scanning mode in the diagnosis of complex congenital heart disease. **Methods:** A total of 43 patients who were clinically diagnosed with complicated congenital heart disease and underwent surgery were enrolled, and the results were used as the gold standard to compare the detection rate and overall diagnostic efficacy of heart dual-source CT prospective ECG-gated sequence scanning and echocardiography. **Results:** A total of 187 deformities were found in 43 patients after surgery; 155 deformities were detected by dual-source CT, and 153 were detected by echocardiography; the overall detection rates of dual-source CT and echocardiography were 82.89% and 81.82%, respectively ( $\chi^2=0.074, P=0.786$ ). For deformities at cardiovascular junctions, dual-source CT had a detection rate of 100% and echocardiography had a detection rate of 90.91% ( $\chi^2=2.095, P=0.148$ ); for intracardiac malformations, dual-source CT had a detection rate of 62.35% and echocardiography had a detection rate of 81.18% ( $\chi^2=7.430, P=0.006$ ); for pericardial vascular malformations, the detection rates of dual-source CT imaging and echocardiography were 100% and 80.00%, respectively, and there was a significant difference between the two methods ( $\chi^2=17.778, P=0.001$ ). Third-generation dual-source CT had a positive predictive value of 98.05%, a negative predictive value of 96.43%, an accuracy of 96.64%, a specificity of 99.69%, and a sensitivity of 80.75%, and echocardiography had a positive predictive value of 99.35%, a negative predictive value of 96.52%, an accuracy of 96.90%, a specificity of 99.90%, and a sensitivity of 81.28%. **Conclusion:** Compared with echocardiography, dual-source CT imaging has obvious advantages in the diagnosis of pericardial vascular malformations in complex congenital heart disease. There is no significant difference in overall detection of lesions between dual-source CT

imaging and echocardiography.

**【Key words】** third-generation dual-source CT; complex congenital heart disease; echocardiography

作者介绍: 吴 雄, Email: wuxiong@csu.edu.cn,

研究方向: 西门子 ForceCT 心脏血管成像及后处理。

通信作者: 胡跃群, Email: huyuequn@126.com。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20190529.1056.010.html>

(2019-05-30)

复杂性先天性心脏病(complex congenital heart disease, CCHD)是胎儿时期或出生后不久心脏、血管发育异常<sup>[1]</sup>,伴有多种不同程度心内、外结构变异,同时伴有血流动力学的异常<sup>[2]</sup>。手术前通过影像学的检查准确检出各个畸形病变,对手术方案、手术风险的评估及术后随访都不可或缺。其中超声心动图是目前复杂先心病最常用的检查,但他并不是一种完美的检查手段<sup>[3]</sup>。另一方面双源 CT(dual-source CT, DSCT)成像的密度分辨率和时间分辨率高,第三代双源 CT 拥有较宽探测器的同时,可在心电门控触发下获取一个心动周期内的多个时相,能够避免心脏搏动、呼吸位移的影响<sup>[4]</sup>,在配合低 kV 扫描和迭代重建的情况下<sup>[5]</sup>,能大量降低前门控序列扫描的辐射剂量,对儿童先心病的检出具有很好的应用价值。本研究以手术结果为金标准,旨在通过第三代双源 CT 前瞻性心电门控序列扫描与超声心动图的对比,评价第三代双源 CT 前瞻性心电门控序列扫描模式对复杂性先心病的检出效能。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究资料

本研究符合 1975 年赫尔辛基宣言,回顾性收集中南大学湘雅二医院 2016 年 7 月至 2018 年 12 月期间经临床确诊为复杂性先天性心脏病并手术的患者 43 例。患者术前都进行第三代双源 CT 心脏 CTA 扫描和超声心动图检查,年龄从 2 天到 12 岁不等。其中男性患者 21 例,女性患者 22 例,患者的平均年龄为  $(1.499 \pm 2.430)$  岁,平均体质量为  $(9.528 \pm 9.318)$  kg,平均心率为  $(127.651 \pm 27.830)$  次/min。检查前患者监护人都已签署知情同意书,明确患者无碘对比剂过敏史和肝功能不全等。

### 1.2 检查准备

在行 CT 检查之前患者监护人签署碘过敏知情同意书,患者禁食 6 h 以上。外周静脉置入 24G 大小的留置针,不能配合的患者检查前使用 10% 水合氯醛  $(0.5 \text{ mL/kg})$  镇静睡熟后进行检查,能够配合的患者检查前训练呼吸,所有患者无须控制心率。

### 1.3 扫描方法和参数

采用第三代双源 CT(SOMATOM Definition Force, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)。患者若能配合,在配合呼吸指令情况下扫描,若不能配合待镇静睡熟后完成检查。根据注射部位不同选择不同的扫描方位,用铅围裙包裹性腺,扫描范围常规从胸廓入口至膈下 2~3 cm,怀疑有心下型肺静脉异位引流的患者拉长扫描视野以包全病变范围。使用手动

触发扫描模式,感兴趣区置于左心房层面外围的空气中,此层面应包括两心房、两心室流出道或两大动脉根部及降主动脉。注射对比剂开始后,肉眼观察检测层面,当心脏及血管各个腔室内对比剂显影均匀即触发扫描,触发后延时 3 s。定位像、监测层面扫描参数采用机器默认设置,采用前瞻性心电门控序列扫描模式,扫描参数设置如下:探测器准直宽度:  $192 \times 0.6 \text{ mm}$ ,动态 Z 轴飞焦点技术,机架旋转速度  $0.25 \text{ s/r}$ ,矩阵为  $512 \times 512$ ,开启智能管电压调制技术(CARE kV, Siemens Healthcare),预设管电压为 70 kV,管电流开启智能管电流调制技术(CareDose 4D, Siemens Healthcare),预设管电流为 444 mA,采用第三代迭代重建(ADMIRE, Siemens Healthcare),迭代强度 3,重建层厚 0.5 mm,重建间隔 0.4 mm 的心脏软组织窗,重建卷积核为 Bv36,曝光区间心电范围预设 R-R 间期相对时相 20%~49%,重建时相为机器自动优选的最佳期相。扫描完成后,图像数据自动传输至后处理工作站(Syngo Via VB10B, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)。所有图像在后处理工作站 Syngo Via VB10B 进行 3D 重建和数据分析,图像处理包括各个心脏切面的三维重组、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积再现(volume rendering, VR)、曲面重建(curve planar reformation, CPR)、尺度测量狭窄评估等。

### 1.4 对比剂注射方案

使用欧乃奇高压注射器(Missouri-XD2001, Ulrich GmbH & Co. KG, Germany)进行对比剂和生理盐水的注射。非离子型对比剂(优维显,  $370 \text{ mgI/mL}$ , Bayer Schering Pharma AG)使用恒温箱加热至  $37.0^\circ\text{C}$  左右,通过已经预留的留置针经手背、足背静脉、头皮静脉或肘前静脉等外周静脉注射,对比剂注射方案为静脉内注射总对比剂  $1.5 \text{ mL/kg}$ ,注射第 1 期  $[37.0 \text{ mgI}/(\text{kg}\cdot\text{s}), 10 \text{ s}]$ 和注射第 2 期  $[18.5 \text{ mgI}/(\text{kg}\cdot\text{s}), 10 \text{ s}]$ ,然后再以同样的流速追加注射  $0.05 \text{ mL}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ 的生理盐水 10 s。触发扫描通常在注入盐水的阶段(图 1)<sup>[6]</sup>。

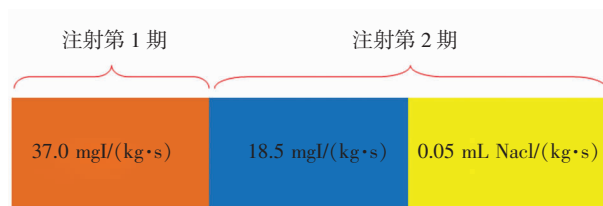


图 1 对比注射方案

### 1.5 超声心动图检查方法

超声心动图检查:患儿采用平卧位或左侧卧位,在二维超声心动图切面观察后结合多普勒血彩进行诊断,行左室长轴位、心尖四腔心、大动脉短轴位、胸骨上等常规超声检查切面,扫描探查心脏内部、外部有无结构异常情况,并记录相应数值给出明确诊断。

### 1.6 诊断效能评价

将第三代双源 CT 序列扫描的 43 例患者的诊断结果与

其超声心动图结果对比,以手术结果作为诊断标准,比较两种检查的检出率及总体诊断效能。VanPraagh 分析法<sup>[7]</sup>即将心脏分为心房、心室、大动脉、房室瓣、动脉圆锥,分析其连接和排列关系的方法。本研究结合 VanPraagh 分析法将所有复杂性先心病病例分为心脏血管连接处畸形、心内畸形及心脏周围血管畸形三部分,将第三代双源 CT 检查结果检出的病变、超声检查结果检出的病变同手术结果分别进行对比。与手术结果一致的,记录为正确检出,与手术结果不一致或漏诊的,记录为未检出,两者检出与未检出频数均除以手术结果频数,得到对应的检出率与未检出率。此外,以复杂性先心病患者手术结果作为参考标准,评估双源 CT 成像、超声心动图总体的阳性预测值、阴性预测值、精度、特异度、敏感度。

1.7 统计学处理

将记录的数据使用 SPSS 22.0 计算机统计软件(IBM, Armonk, NY, USA)进行统计分析,年龄、身高、平均心率、剂量长度乘积(dose length product, DLP)等计量资料以均数±标准差表示,各组间诊断检出率等四格表资料采用独立样本卡方检验,记录 $\chi^2$ 值、 $P$ 值。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

2 结果

统计后结果见表 1;心脏血管连接处畸形部分,第三代双源 CT 检查的检出率为 100%,超声心动图检出率为 90.91%,两者检出率没有统计学差异( $F=2.095, P=0.148$ )。心内畸形部分,第三代双源 CT 检查的检出率为 62.35%,超声心动图检出率为 81.18%,两者的检出率比较有统计学差异( $F=7.43, P=0.006$ ),说明此部分第三代双源 CT 检查的检出能力要低于超声心动图。心脏周围血管畸形部分,第三代双源 CT 检查的检出率为 100%,超声心动图检出为 80.00%,两者的检出率比较具有明显的统计学差异( $F=17.778, P<0.001$ ),说明此部分第三代双源 CT 检查检出率高于超声心动图。43 例病例术后结果共发现 187 处畸形,第三代双源 CT 检查共发现 155 处,超声心动图共发现 153 处,第三代双源

CT 检查总的检出率为 82.89%,超声心动图总的检出率为 81.82%,两者的检出率比较没有统计学的差异( $F=0.074, P=0.786$ )。第三代双源 CT 成像组总体的阳性预测值、阴性预测值、精度、特异度、敏感度分别为 98.05%、96.43%、96.64%、99.69%、80.75%,超声心动图组分别为 99.35%、96.52%、96.90%、99.90%、81.28%。辐射剂量统计:DLP 为  $(39.165 \pm 45.672)$  mGy·cm。图 2~图 4 分别为第三代双源 CT、超声心动图对于 3 类病变具体病变检出频数的直方图对比。图 5~图 9 为第三代双源 CT 一些典型检出病变的影像展示。

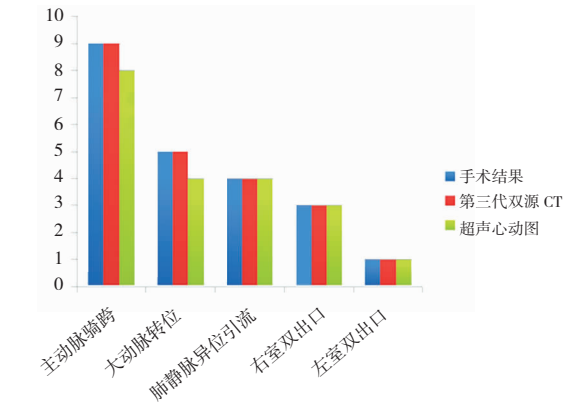


图 2 第三代双源 CT 成像与超声心动图对心脏大血管连接处畸形诊断能力对比

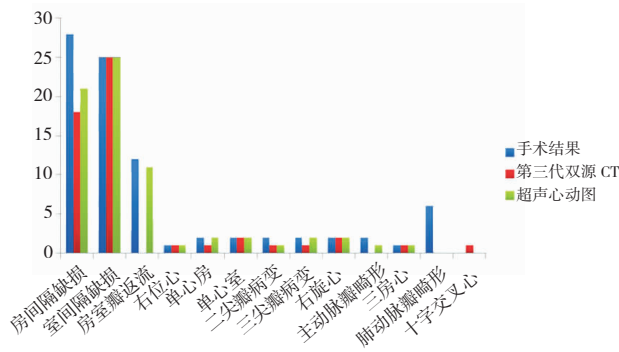


图 3 第三代双源 CT 成像与超声心动图对心内畸形诊断能力对比

表 1 第三代双源 CT 成像与超声心动图检出先心病病变情况

| 病变分类   | 检查方法     | 检出数目 | 未检出数目 | 检出率(%) | $\chi^2$ 值 | $P$ 值 |
|--------|----------|------|-------|--------|------------|-------|
| 连接处畸形  | 第三代双源 CT | 22   | 0     | 100.00 | 2.095      | 0.148 |
|        | 超声心动图    | 20   | 2     | 90.91  |            |       |
|        | 手术结果     | 22   | 0     |        |            |       |
| 心内畸形   | 第三代双源 CT | 53   | 32    | 62.35  | 7.430      | 0.006 |
|        | 超声心动图    | 69   | 16    | 81.18  |            |       |
|        | 手术结果     | 85   | 0     |        |            |       |
| 心外血管畸形 | 第三代双源 CT | 80   | 0     | 100.00 | 17.778     | 0.001 |
|        | 超声心动图    | 64   | 16    | 80.00  |            |       |
|        | 手术结果     | 80   | 0     |        |            |       |
| 总计     | 第三代双源 CT | 155  | 32    | 82.89  | 0.074      | 0.786 |
|        | 超声心动图    | 153  | 34    | 81.82  |            |       |
|        | 手术结果     | 187  | 0     |        |            |       |



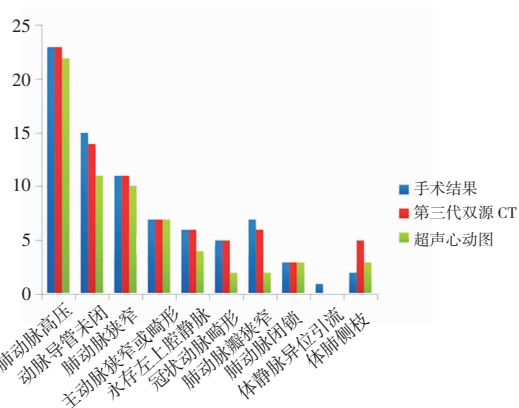
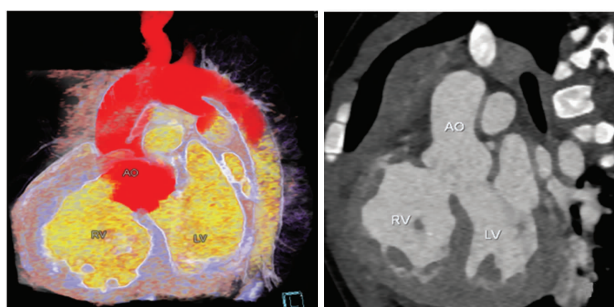


图 4 第三代双源 CT 成像与超声心动图对心外血管畸形诊断能力对比

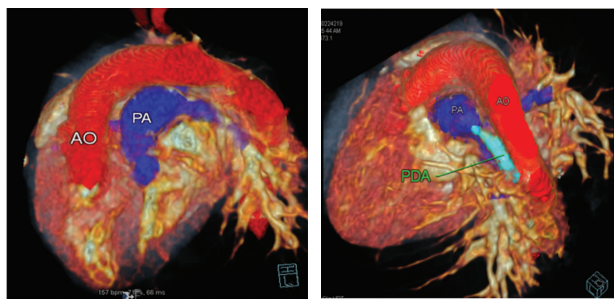


A. VR 融合图

B. MPR 图

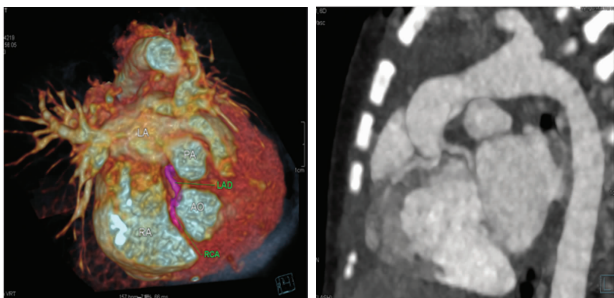
注:A 图清晰显示主动脉骑跨右室 50%左右,主动脉弓处与肺动脉可见动脉导管未闭 PDA;B 图清晰显示主动脉骑跨

图 5 主动脉骑跨,PDA 患者后处理图



A. VR 融合图

B. VR 融合图

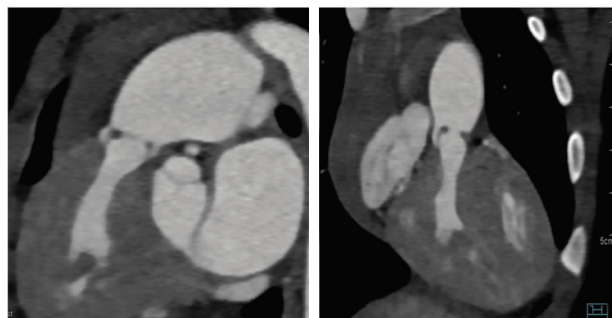


C. VR 融合图

D. MPR 厚层图

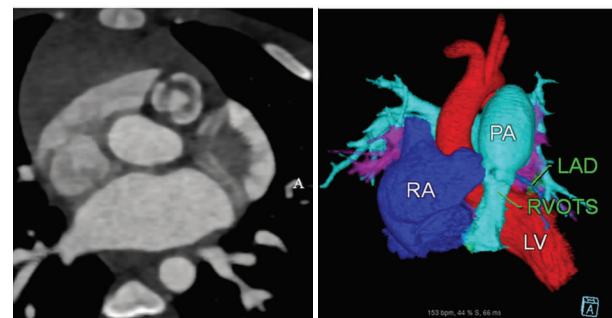
注:A 图清晰显示大动脉转位 TGA,主动脉位 AO 于肺动脉 PA 前方, AO 发自右心室 RV, PA 发自左心室 LV; B 图蓝色区域清晰显示 PDA; C 图显示紫色左冠 LAD 发自右冠窦,且走行于 PA 和 AO 间; D 图清晰显示冠脉开口及走行

图 6 TGA,PDA,冠脉开口及走行异常患者后处理图



A. MPR 图

B. MPR 图

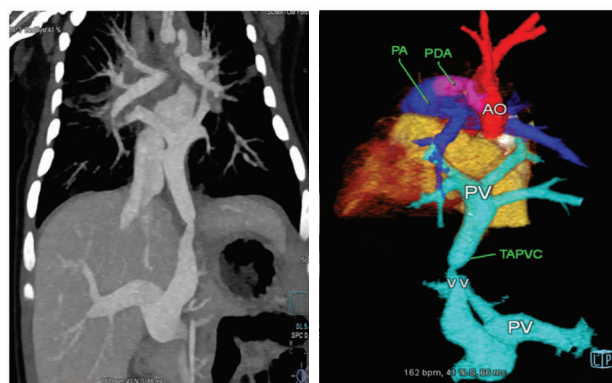


C. MPR 图

D. VR 融合图

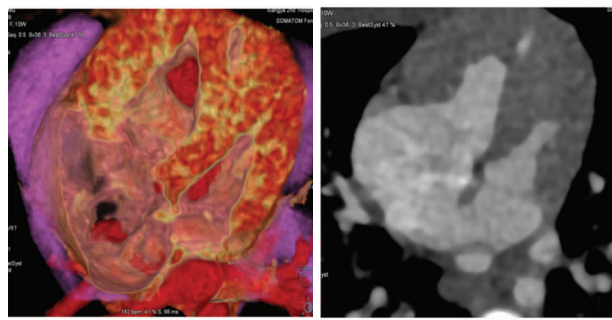
注:A~B 图显示右室流出道狭窄 RVOTs、肺动脉瓣狭窄 PS 并肺动脉扩张;C 图显示 PS;D 图清晰显示 RVOTs、肺动脉扩张

图 7 RVOTs,PS 患者后处理图



A. MIP 薄层图

B. VR 融合图

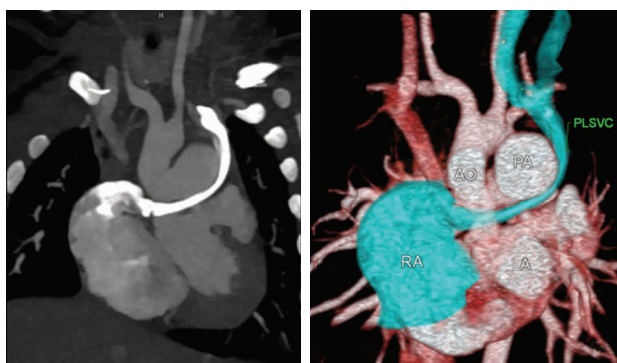


C. VR 厚层图

D. MPR 图

注:A 图显示肺静脉 PV 经引流静脉入门静脉 PV;B 图清晰显示肺静脉异位引流 TAPVC、PDA;C 图上显示一个较大房缺 ASD;D 图清晰显示 ASD

图 8 TAPVC(心下型),PDA,ASD 患者后处理图



A. MIP 薄层图

B. VR 融合图

注:A 图示一永存左上腔静脉 PLSVC;B 图示 PLSVC 经过肺动脉 PA、主动脉 AO 下方,左心室 LA 上方汇入右心房 RA

图 9 PLSVC 患者后处理图

### 3 讨论

#### 3.1 第三代双源 CT 与前瞻性序列扫描

双源 CT 是一种使用 2 套 X 射线球管、探测器系统同时扫描机体影像横断层的 CT 装置。由于采用 2 套球管、探测器,CT 时间分辨率成倍提高,很大程度上避免了患者心率过快造成的心脏搏动伪影。因此,在诊断心脏细微畸形病变、评估心室、瓣膜情况,较传统 MSCT 有很大的优势<sup>[2]</sup>。

本文采用的第三代双源 CT,机架旋转速度达到 0.25 s/r,准直器宽度达到 192 × 0.6 mm,探测器比二代双源 CT 更宽,单位时间采集数据的范围更宽,时间分辨率达到 66 ms,其前瞻性心电门控序列扫描采用预设 70 kV 的智能管电压调制技术,结合实时智能管电流调制技术和第三代迭代重建技术<sup>[8]</sup>,在心电范围预设 20%~49% 的密集采集前提下,DLP 仅 (39.165 ± 45.672) mGy·cm。

前瞻性心电门控序列扫描在 ECG 门控下采用步进-点射 (step-and-shot) 技术扫描,可以控制在 R-R 间期的数据采集时相,由于采用轴扫模式,可以调制每一时相下的管电流,相比螺旋 CT 常规的回溯性心电门控可以明显降低辐射剂量。同时前瞻性心电门控序列扫描具有心律自动适应的功能,可以进行心律不齐补偿,自动跳过心律异常的 R-R 间期,这使得心律不齐的患者可以不依赖心律进行心脏 CT 成像,也无需药物控制患者心率。检查成功率和病变检出率较前门控大螺距扫描提高<sup>[9-10]</sup>。

#### 3.2 双源 CT 成像与超声心动图检出效能比较

目前对于复杂性先心病的影像学诊断,临床应用最多的是超声心动图检查,但是随着双源 CT 的普及与应用,心脏 CTA 检查的诊断效能不断提高,在部分病变的检出率可与超声心动图媲美<sup>[11]</sup>。本研究参照 VanPraagh 的节段分析法<sup>[7]</sup>,通过统计心脏大血管连接处畸形、心内部分畸形和心脏周围血管部分畸形的检出率来探索第三代双源 CT 前瞻性心电门控序列心脏成像的诊断效能,由文中结果可的如下结论。

在心脏大血管连接处畸形的诊断中,第三代双源 CT 检出率要高于超声心动图。虽然由于样本量限制差异不足以有统计学差异,但由于 CT 可从各个病变的不同角度、不同层面进行 MIP、VR、CPR、MPR 图像重建,更有助于全方位分析血管的起源与走行<sup>[12-13]</sup>,故主动脉骑跨、大动脉转位等病变的检出频数较超声多。图 5、图 6A 中 CT 后处理三维图像融合着色技术,对主动脉骑跨、大动脉转位有一个非常清晰的展示;而第三代双源 CT 对心内畸形部分的诊断能力要比超声心动图差,差异有统计学意义。分析其具体病变,CT 主要在房间隔缺损、房室瓣反流、三尖瓣病变等方面存在误诊和漏诊,这可能与右心内对比剂浓度不均匀有关,并且 CT 对心内膜、瓣膜病变缺乏动态观察,这在以往文献中已有提及<sup>[3,11-12,16]</sup>。

值得关注的是在心外血管畸形的诊断中,第三代双源 CT 表现出明显的优势,差异有明显的统计学意义。从图 4 的直方图统计中可以明显看出,CT 在冠状动脉畸形、肺动脉高压或狭窄、动脉导管未闭、体肺侧枝、永存左上腔、肺动脉瓣狭窄等病变的诊断上都有优势,这一优势是与第三代双源 CT 的扫描范围增大、时间分辨率提高、心电范围覆盖宽、后处理功能强大、避免搏动伪影等特点分不开。例如,图 6C、D 中 CT 对冠状动脉畸形的展示完全避免了搏动伪影,这是超声心动图所不能及的<sup>[10-14]</sup>。并且,由于超声心动图受体位、声波、气体干扰等影响,观察的范围局限、细微结构显示较 CT 差,所以对于心外大血管畸形的诊断能力表现出不足<sup>[18]</sup>。例如,图 6B、图 7、图 8、图 9 动脉导管未闭、肺动脉瓣狭窄和肺动脉高压、心下型肺静脉异位引流、永存左上腔等病变,同时 CT 后处理还能对这些病变进



行非常精准的测量,为临床手术提供参考。与以往研究<sup>[15-19]</sup>有所不同的是,第三代双源 CT 对肺动脉瓣狭窄的检出率居然明显高于超声心动图,这应该与 CT 前门控心电触发序列扫描和高空间分辨率前提下对肺动脉瓣形态的观察有优势,当然也和诊断医生的经验息息相关。

### 3.3 总结与不足

总而言之,第三代双源 CT 前瞻性心电门控序列扫描成像,相比超声心动图对于复杂先心病心脏周围血管畸形的诊断具有明显优势,且第三代双源 CT 与超声心动图对复杂先心病总体检出效能相当,这与以往外国内外文献中<sup>[15]</sup>对第二代双源 CT 的研究结果相一致。同时,第三代双源 CT 在某些具体病变的检出表现出了新的优势,特别是 CT 对瓣膜等病变的观察能力,值得进一步研究。美中不足的是,尽管本研究中的双源 CT 在较宽的心电范围采集下,辐射剂量仍然偏低,但这是无法与超声相比较的。

## 参 考 文 献

- [1] Li T,Zhao S,Liu J,et al. Feasibility of high-pitch spiral dual-source CT angiography in children with complex congenital heart disease compared to retrospective-gated spiral acquisition[J]. *Clinical Radiology*, 2017,72(10):864-870.
- [2] Goo HW,Park IS,Ko JK,et al. Computed tomography for the diagnosis of congenital heart disease in pediatric and adult patient[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2005,21(2-3):347-365.
- [3] Chen 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]. *European Radiology*, 2010,20(10):2503-2511.
- [4] Paul JF,Rohnean A,Elfassv E,et al. Radiation dose for thoracic and coronary step-and-shoot CT using a 128-slice dual-source machine in infants and small children with congenital heart disease[J]. *Pediatr Radiol*, 2011,41(2):244-249.
- [5] Marukawa Y,Sato S,Tanaka T,et al. Evaluating low-kV dual-source CT angiography by high-pitch spiral acquisition and iterative reconstruction in pediatric congenital heart disease patients[J]. *Acta Medica Okayama*, 2017,71(5):407-412.
- [6] Fukuyama N,Kurata A ,Kawaguchi N,et al. Two-phase contrast injection protocol for pediatric cardiac computed tomography in children with congenital heart disease[J]. *Pediatric Cardiology*, 2018,39(3):518-525.
- [7] Lapierre C,Julie Déry,Ronald Guérin,et al. Segmental approach to imaging of congenital heart disease[J]. *Radiographics*, 2010,30(2):397-411.
- [8] Nam SB,Jeong DW,Choo KS,et al. Image quality of CT angiography in young children with congenital heart disease:a comparison between the sinogram-affirmed iterative reconstruction (SAFIRE) and advanced modelled iterative reconstruction (ADMIRE) algorithms[J]. *Clinical Radiology*, 2017,72(12):1060-1065.
- [9] Chen B,Zhao S,Gao Y,et al. Image quality and radiation dose of two prospective ECG-triggered protocols using 128-slice dual-source CT angiography in infants with congenital heart disease[J]. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 2019,35(5):937-945.
- [10] Goo HW,Yang DH. Coronary artery visibility in free-breathing young children with congenital heart disease on cardiac 64-slice CT: dual-source ECG-triggered sequential scan vs. single-source non-ECG-synchronized spiral scan[J]. *Pediatric Radiology*, 2010,40(10):1670-1680.
- [11] Goo HW. Identification of coronary artery anatomy on dual-source cardiac computed tomography before arterial switch operation in newborns and young infants:comparison with transthoracic echocardiography[J]. *Pediatric Radiology*, 2017,48(2):176-185.
- [12] Zhi AH,Dai RP,Ma WG,et al. CT angiography for diagnosis and subcategorization of unroofed coronary sinus syndrome[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2017,9(10):3946-3955.
- [13] Tsai IC,Lee T,Chen MC,et al. Visualization of neonatal coronary arteries on multidetector row CT:ECG-gated versus non-ECG-gated technique[J]. *Pediatric Radiology*, 2007,37(8):818-825.
- [14] Goo HW,Park IS,Ko JK,et al. Visibility of the origin and proximal course of coronary arteries on non-ECG-gated heart CT in patients with congenital heart disease[J]. *Pediatr Radiol*, 2005,35(8):792-798.
- [15] 肖红,杨立,刘艳. 双源 CT Flash 扫描模式对复杂性先天性心脏病临床诊断价值研究[J]. *新疆医学*, 2015,45(8):1021-1025.
- [16] 王茸,徐香玖,周星,等. 双源 CT 与超声心动图对先天性心脏病术前诊断价值的对比研究[J]. *实用放射学杂志*, 2016,32(9):1467-1469.
- [17] 王建伟. 双源 CT 在小儿复杂先心病的价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2018,2(23):134-135.
- [18] 段艳华,王锡明,程召平,等. 双源 CT 前瞻性心电门控心胸联合扫描在儿童先天性心脏病诊断中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2012,92(3):179-183.
- [19] 孙桂芳,刘斌,刘波,等. 复杂先心病 DSCT 影像表现与手术结果对照分析[J]. *医学影像学杂志*, 2016,26(3):421-423.

(责任编辑:唐秋姗)