

Cinematic rendering technology applied in children routine cardiovascular CT

CAO Yongli, LI Haoyan, SUN Jihang, PENG Yun*

(Department of Imaging Center, National Center for Children's Health, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of cinematic rendering (CR) technology applied in children routine cardiovascular CT. **Methods** A total of 1 275 children who underwent spiral CT with prospective electrocardiogram-gated multi-phase scanning were retrospectively enrolled and divided into 4 groups based on the heart rate-adaptive acquisition protocol: Group A with heart rate ≤ 60 beats per minute and acquisition at 70%—80% of R-R interval ($n=26$), group B with heart rate 61—80 beats per minute and acquisition at 40%—80% ($n=373$), group C with heart rate 81—120 beats per minute and acquisition at 35%—55% ($n=684$), and group D with heart rate >120 beats per minute and acquisition at 150—300 ms ($n=192$). Then diagnostic outcomes based on CR and conventional static CT were comparatively analyzed. **Results** Compared with static CT, CR detected 53 additional abnormalities in 49 cases (49/1 275, 3.84%), including 28 (28/53, 52.83%) in group B, 10 (10/53, 18.87%) in group C and 15 (15/53, 28.30%) in group D, 26 (26/53, 49.06%) focal ventricular wall motion abnormalities, 14 (14/53, 26.42%) valve motion abnormalities and 13 (13/53, 24.53%) blood shunts, mainly involved coronary artery (16/53, 30.19%) and myocardium (13/53, 24.53%). Among these 53 abnormalities, static CT suspected 36 (36/53, 67.92%) and missed 17 (17/53, 32.08%) ones. **Conclusion** CR technology had supplementary diagnostic value for routine cardiovascular CT in children.

[Keywords] child; cardiovascular system; tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.005

电影渲染技术用于儿童常规心血管 CT

曹永丽, 李昊岩, 孙记航, 彭芸*

(国家儿童医学中心 首都医科大学附属北京儿童医院影像中心, 北京 100045)

[摘要] **目的** 观察电影渲染(CR)技术用于儿童常规心血管 CT 的价值。**方法** 回顾性纳入接受螺旋 CT 前瞻性心电门控多期相扫描的 1 275 例患儿, 根据心率适应性采集方案将其分为 4 组: A 组心率 ≤ 60 次/分、采集 R-R 间期 70%—80% ($n=26$), B 组心率 61—80 次/分、采集 40%—80% ($n=373$), C 组心率 81—120 次/分、采集 35%—55% ($n=684$), D 组心率 >120 次/分、采集 150—300 ms ($n=192$)。比较 CR 和常规静态 CT 诊断效能。**结果** CR 较静态 CT 于 49 例(49/1 275, 3.84%) 中多检出 53 处异常, 其中 B 组 28 处(28/53, 52.83%)、C 组 10 处(10/53, 18.87%) 及 D 组 15 处(15/53, 28.30%), 包括 26 处(26/53, 49.06%) 局部室壁运动异常、14 处(14/53, 26.42%) 瓣膜活动异常及 13 处(13/53, 24.53%) 血液分流, 主要位于冠状动脉(16/53, 30.19%) 及心肌(13/53, 24.53%); 静态 CT 疑诊其中 36 处(36/53, 67.92%)、漏诊 17 处(17/53, 32.08%)。**结论** CR 技术用于儿童常规心血管 CT 具有补充诊断价值。

[关键词] 儿童; 心血管系统; 体层摄影术, X 线计算机

[中图分类号] R541; R445.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)01-0023-04

[基金项目] 先进医用材料与医疗器械全国重点实验室项目(YGSKL-SHTech-2025-KF01)。

[第一作者] 曹永丽(1980—), 女, 北京人, 在读博士, 副主任医师。研究方向: 儿童心血管疾病影像学诊断。E-mail: yonglicao_lisa@163.com

[通信作者] 彭芸, 国家儿童医学中心 首都医科大学附属北京儿童医院影像中心, 100045。E-mail: ppengyun@hotmail.com

[收稿日期] 2025-09-02 **[修回日期]** 2025-11-21

心血管 CT 是诊断儿童心血管疾病的重要方法。儿童心血管 CT 常采用前瞻性心电门控触发技术,为最小化辐射剂量仅采集部分心动周期图像^[1-3],但常规静态 CT 评估心脏动态结构(室壁运动、瓣膜活动等)及血流动力学异常有其局限性。CT 电影渲染(cinematic rendering, CR)技术基于多期相采集数据,经重建生成连续序列影像,能动态呈现解剖结构或血液分流变化过程及其状态。本研究观察 CR 技术用于儿童常规心血管 CT 的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2018 年 1 月—2020 年 6 月首都医科大学附属北京儿童医院 1 275 例接受螺旋 CT 前瞻性心电门控多期相扫描患儿,男 713 例、女 562 例,年龄 8 天~17 岁、平均(7.1±4.7)岁,体质量 2.8~72.9 kg、平均(26.70±14.31)kg;心率 42~163 次/分、平均(93.09±22.66)次/分,心率变化范围 1~65 次/分、平均(18.45±9.43)次/分。根据心率适应性采集方案将其分为 4 组:A 组(心率≤60 次/分)采集 R-R 间期 70%~80%(n=26),有效剂量(effective dose, ED)0.30~0.82 mSv、平均(0.47±0.19)mSv; B 组(心率 61~80 次/分)采集 R-R 间期 40%~80%(n=373),ED 0.43~2.48 mSv、平均(0.94±0.48)mSv; C 组(心率 81~120 次/分)采集 R-R 间期 35%~55%(n=684),ED 0.28~1.84 mSv、平均(0.64±0.33)mSv; D 组(心率>120 次/分)采集 R-R 间期 150~300 ms,约 R-R 间期(30%~40%)~(60%~75%)(n=192),ED 0.34~1.79 mSv、平均(0.76±0.25)mSv。排除标准:临床资料不全,图像存在明显伪影,或 CT 数据不完整、对比剂浓度不能满足诊断需求。本研究经院医学伦理委员会批准([2021]-E-080-R),免除知情同意。

1.2 CT 图像重建及后处理 于 GE AW4.7 工作站进行图像分析和后处理。以 50%自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction V, ASIR-V)重建图像,层厚、层间隔均为 0.625 mm;以 5%~10%相位重建多期相图像集。分析常规静态 CT 时,选择图像最清晰期相(最佳期相)进行多平面重建、曲面重建、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)和容积再现;分

析 CR 时,先对 ROI 进行多平面及 3D 重建,再以 CR 实现 2D 及 3D 电影播放,2D 电影可叠加 MIP 同时使用。

1.3 图像诊断 由分别具有 8 及 10 年儿科心血管影像学诊断经验的医师各 1 名采用盲法独立阅片,意见不一致时提请另 1 名具有 15 年以上相关经验的医师重新审阅,之后经商议达成一致意见。首先基于最佳期相静态 CT 进行诊断;间隔 2 周基于 CR 进行再次诊断;结果分为确诊异常(影像学表现明确支持异常诊断)、疑诊异常(存在异常征象但缺乏明确诊断依据或无法定性)与正常。

1.4 ED 根据容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP)评估 ED;ED=DLP×k,其中 k 为转换系数^[4]。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 24.0 统计分析软件。采用 Kappa 检验评估观察者间一致性;Kappa 值 0~0.40 为一致性差、0.41~0.60 为一致性欠佳、0.61~0.80 为一致性尚可、0.81~1.00 为一致性佳。

2 结果

相比静态 CT,基于 CR 于 49 例(49/1 275, 3.84%)中多检出 53 处异常,包括 B 组 28 处(28/53, 52.83%)、C 组 10 处(10/53, 18.87%)及 D 组 15 处(15/53, 28.30%);其中 16 处(16/53, 30.19%)为冠状动脉(冠脉)相关病变,13 处(13/53, 24.53%)为心肌病变,瓣膜发育异常及心包病变各 8 处(8/53, 15.09%),其他 8 处(8/53, 15.09%)以冠脉病变及心肌病变为主;见表 1。

表 1 CR 较静态 CT 多检出的 53 处异常(处)

CR 新增诊断	静态 CT		组别		
	疑诊	漏诊	B 组	C 组	D 组
左冠脉起源肺动脉	4	0	0	0	4
左冠脉起源肺动脉心尖运动异常	2	4	0	0	6
川崎病室壁运动异常	1	1	0	2	0
冠脉瘘					
冠脉-右心室瘘	0	1*	0	1	0
冠脉-肺动脉瘘	2	1*	2	1	0
肥厚型心肌病 SAM 征	2	4	6	0	0
心律失常右室心肌病	1	1	0	1	1
心肌炎室壁运动异常	1	1	1	1	0
心室憩室	3	0	1	1	1
缩窄性心包炎	5	2	7	0	0
缩窄性心包炎术后心室疝	1	0	1	0	0
室间隔缺损膜部瘤	2	2*	1	2	1
肺动脉瓣狭窄	5	0	5	0	0
二叶主动脉瓣	3	0	3	0	0
双腔心室					
双腔左心室副腔室壁瘤	2	0	0	1	1
双腔右心室	1	0	1	0	0
孤立性左锁骨下动脉伴动脉导管未闭	1	0	0	0	1

注: *: 多个瘘口;SAM:收缩期前向运动(systolic anterior motion)

上述 53 处中, 局部室壁运动异常 26 处 (26/53, 49.06%), 包括 B 组 11 处、C 组 6 处、D 组 9 处, 静态 CT (图 1、2) 疑诊其中 17 处、漏诊 9 处 (图 3); 血液分流 13 处 (13/53, 24.53%), 包括 B 组 3 处、C 组 4 处及 D 组 6 处, 其中静态 CT 疑诊 9 处异常连接但不能确定是否相通 (图 4)、漏诊 4 处分流; 14 处 (14/53, 26.42%) 瓣膜活动异常仅见于 B 组, 静态 CT 疑诊其中瓣膜增厚

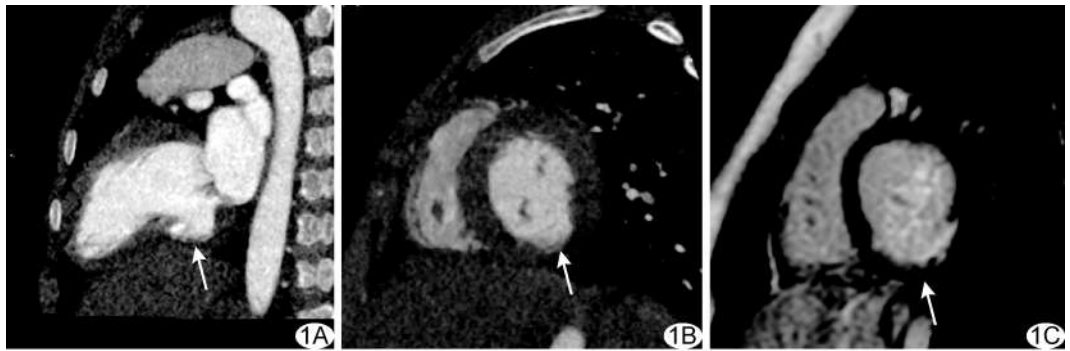


图 1 C 组患儿, 男, 6 岁, CR 图示收缩时局部心肌与相邻心肌呈反向运动, 诊断为川崎病合并室壁瘤 A、B. 左心室长轴两腔心层面 (A) 及左心室短轴层面 (B) CT 图示左心室基底部下壁心肌变薄并向外膨出 (箭), 疑诊局部室壁异常; C. 延迟期增强 MRI 示相应区域透壁性延迟强化 (箭)

及瓣膜变形 (图 5) 各 5 处、漏诊 4 处。观察者间诊断一致性分别为尚可与佳 (Kappa 值分别为 0.75 和 0.82)。

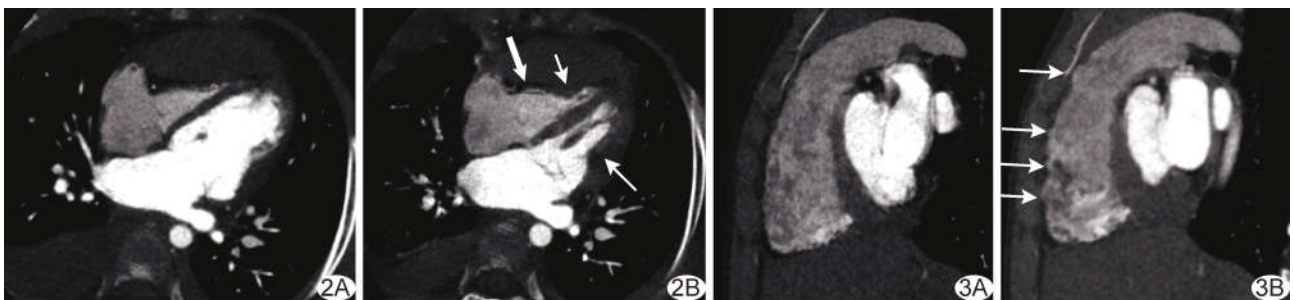


图 2 B 组患儿, 男, 4 岁, CR 图示右心室壁收缩、舒张均受限, 右心室壁形态不规则, 室壁运动不同步且不同向, 诊断为缩窄性心包炎 A. 四腔心层面 CT 图示右心室心腔小, 室壁平直, 右心室壁前缘局限性包裹性包积液, 疑诊右心室壁受压舒张受限; B. 根据 CR 图所示将重建 CT 图切换至收缩时右心室壁异常最明显期相, 见右心室 (短箭) 及左心室 (长箭) 游离壁对称性局部内凹而呈环缩样改变, 其邻近三尖瓣的右心室壁收缩期向外膨隆 (粗箭) 图 3 C 组患儿, 女, 10 岁, CR 图示收缩时右心室壁形态不规则, 诊断为致心律失常右室心肌病, 基因检测结果为 DSG2 杂合突变 A. 最佳期相 CT 图示右心室流出道增宽, 右心室壁光滑, 未见明显室壁异常; B. 根据 CR 图所示将重建 CT 图切换至显示室壁异常最明显的期相, 见右心室壁多发大小不等、不规则凸起 (箭)

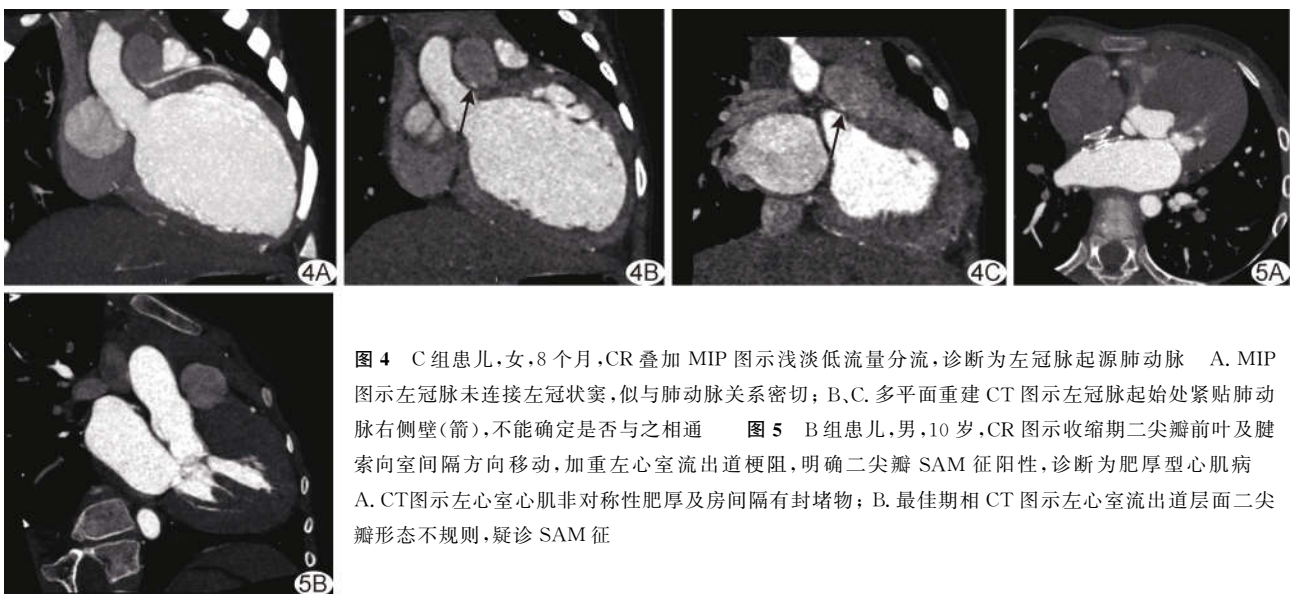


图 4 C 组患儿, 女, 8 个月, CR 叠加 MIP 图示浅淡低流量分流, 诊断为左冠脉起源肺动脉 A. MIP 图示左冠脉未连接冠状窦, 似与肺动脉关系密切; B、C. 多平面重建 CT 图示左冠脉起始处紧贴肺动脉右侧壁 (箭), 不能确定是否与之相通 图 5 B 组患儿, 男, 10 岁, CR 图示收缩期二尖瓣前叶及腱索向室间隔方向移动, 加重左心室流出道梗阻, 明确二尖瓣 SAM 征阳性, 诊断为肥厚型心肌病 A. CT 图示左心室心肌非对称性肥厚及房间隔有封堵物; B. 最佳期相 CT 图示左心室流出道层面二尖瓣形态不规则, 疑诊 SAM 征

3 讨论

成人心血管 CT 能无创评估心脏解剖结构与功能,为临床决策提供多方面依据^[5-9]。为实现辐射剂量最小化,多采用前瞻性心电门控触发技术进行儿童常规心血管 CT 检查,仅采集部分心动时相,故仍有一定时间维度,可在有限时相内利用 CR 动态观察心脏。

本研究结果显示,基于 CR 观察、对比邻近心肌相对运动可识别局部室壁运动异常,为临床提供治疗依据。例如,左冠脉异常起源于肺动脉时,室壁运动异常(如心尖部反向运动)常预示预后不良;发现川崎病继发冠脉瘤患儿室壁运动异常提示可能需要更积极的治疗与长期随访。对于多节段运动异常,CR 可直观显示受累位置及范围。因本研究缺乏舒张末期数据,不能评估整体心室运动功能,亦无法显示发生于预设采集时相之外的异常。

经 CR 验证,本研究常规静态 CT 对 A 组无漏检异常,与 A 组样本量小、采集时相最短且仅采集舒张中期,不排除异常发生在采集时相之外有关。此外,低流量分流可能仅在某个时相出现明显表现,若用于诊断的静态 CT 时相并非该最佳时刻,则易致漏诊。CR 能敏感捕捉细微对比剂浓度随时间的变化、提升检出分流能力。对于多发瘘口,静态 CT 可能仅显示最粗大的主瘘口而遗漏较小或迂曲瘘口;而 CR 结合 MIP 能动态观察、定位多个瘘口,为治疗提供依据。评估瓣膜时,动态观察其在整个心动周期(包括收缩期和舒张期)中的连续变化至关重要。本研究 B 组数据采集覆盖收缩末期至舒张中期,能够捕捉瓣膜开闭过程中的大部分形态变化及运动特性,对于评估瓣膜结构与功能具有一定价值。C 组与 D 组采集主要集中于收缩期中末段,缺乏与舒张期相应时相的对比,难以全面反映瓣膜动态情况,评估价值有限。对于异常表现并未出现在“最佳”时相但仍被包含在采集时间窗内的部分病变,仅依赖静态 CT 进行诊断易造成漏诊;而 CR 能有效捕捉上述异常、提高诊断准确性。本研究 1 例(图 3)静态 CT 漏诊室壁异常而 CR 显示右心室壁异常,为后续基因检测及确诊提供了关键影像学线索和依据。

上述结果提示,常规静态 CT 发现冠脉异常(如起源异常、冠脉瘤、瘘管等)、心室壁形态异常、瓣膜形态异常,以及存在与之相关的临床表现或心电图异常(如心跳骤停、心律失常或异常 Q 波等)时,应利用 CR 进行进一步综合评估,以最大限度地避免漏、误诊。

本研究各组平均有效辐射剂量均在较低水平($< 1 \text{ mSv}$),与既往研究^[10]相似。另有研究^[11]报道,利用主要和次要采集窗口技术时,将次要采集窗口管电流

降为主要采集窗口的 20% 可降低总辐射剂量。

综上,CR 技术用于儿童常规心血管 CT 具有补充诊断价值。本研究的主要局限性在于为单中心、回顾性分析,未能随机分组,可能存在选择偏倚,且部分组别样本量小,无法进行量化分析,以及缺乏与 MRI 的对比;有待后续进一步观察。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:曹永丽查阅文献、数据和统计分析、撰写文章;李昊岩和孙记航图像处理和分析;彭芸指导、审阅文章。

[参考文献]

- [1] COHEN J, ASRANI P, LEE S, et al. Cardiovascular computed tomography in pediatric congenital heart disease: A state of the art review [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2022, 16(6): 467-482.
- [2] SAENGSIK K, PICKARD S S, PRAKASH A. Utility of cardiac CT in infants with congenital heart disease: Diagnostic performance and impact on management [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2022, 16(4): 345-349.
- [3] FRANCONI M, GIMELLI A, BUDDI R P J, et al. Radiation safety for cardiovascular computed tomography imaging in paediatric cardiology: A joint expert consensus document of the EACVI, ESCR, AEPC, and ESPR [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(8): e279-e289.
- [4] DEAK P D, SMAL Y, KALENDER W A. Multisection CT protocols: Sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product [J]. *Radiology*, 2010, 257(1): 158-166.
- [5] SCHULZ A, OTTON J, HUSSAIN T, et al. Clinical advances in cardiovascular computed tomography: From present applications to promising developments [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2024, 26(10): 1063-1076.
- [6] PEPPER J, SUCHÁ D, SWAANS M, et al. Functional cardiac CT-going beyond anatomical evaluation of coronary artery disease with cine CT, CT-FFR, CT perfusion and machine learning [J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1113): 20200349.
- [7] DODD J D, LEIPSIC J A. Evolving developments in cardiac CT [J]. *Radiology*, 2023, 307(3): e222827.
- [8] AZARINE A, SCALBERT F, GARÇON P. Cardiac functional imaging [J]. *Presse Med*, 2022, 51(2): 104119.
- [9] 王锡明, 吕滨, 张龙江, 等. 冠状动脉 CT 血管成像: 发展历程、现状及未来趋势 [J]. *中国医学影像技术*, 2025, 41(8): 1218-1222.
- [10] ABOUL HAMAD M S, ATTALLA E M, AMER H H, et al. Assessment of diagnostic reference levels for paediatric cardiac computed tomography in accordance with European guidelines [J]. *Radiat Environ Biophys*, 2023, 62(3): 331-338.
- [11] LE ROY J, VERNHET KOVACSIK H, ZARQANE H, et al. Submillisievert multiphasic coronary computed tomography angiography for pediatric patients with congenital heart diseases [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(2): e008348.