

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2021.10.010

医学影像物理

冠状动脉追踪冻结技术对高心率儿童冠状动脉成像质量的改善

李昊岩^{1,2}, 孙记航², 彭芸², 李海云¹

1. 首都医科大学生物医学工程学院, 北京 100069; 2. 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:探索第二代冠状动脉追踪冻结(SSF2)技术是否可以提升高心率儿童冠状动脉的形态分辨能力。**方法:**对53例心率 ≥ 75 次/min患儿行冠状动脉CT血管成像, 年龄平均 (17.5 ± 18.7) 个月, 平均体质量 (10.68 ± 5.13) kg, 扫描电压80、100 kV, 采用智能心电门控技术自动选择曝光期相。将原始数据分别重建为3组图像:A组为常规图像;B组为采用SSF1技术的重建图像;C组为采用SSF2技术的重建图像。对3组冠状动脉图像的质量评分及可诊断率进行评估。**结果:**53例共评价534个冠状动脉节段。B组与C组右冠状动脉、左前降支、冠状动脉起源和冠状动脉评分及可诊断率差异均有统计学意义($P < 0.05$), 左回旋支(LCX)评分差异有统计学意义($P < 0.05$), LCX可诊断率无统计学意义($P = 0.05$)。A组与B组左前降支、LCX和冠状动脉起源评分差异均无统计学意义($P = 0.07, 0.14, 0.43$)。**结论:**采用SSF2技术可进一步改善高心率患儿冠状动脉CT血管成像质量。

【关键词】冠状动脉疾病; 高心率儿童; 冠状动脉追踪冻结技术; 冠状动脉CT血管成像

【中图分类号】R318; R445.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)10-1237-06

Improving coronary artery image quality in children with high heart rate by coronary artery snapshot freeze technique

LI Haoyan^{1,2}, SUN Jihang², PENG Yun², LI Haiyun¹

1. School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Imaging Center, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China

Abstract: Objective To explore whether the second generation of coronary artery snapshot freeze (SSF2) technique can improve the ability in recognizing coronary arteries in high heart rate children. **Methods** A total of 53 children whose heart rate were ≥ 75 times per minute, with an average age of (17.5 ± 18.7) months and an average weight of (10.68 ± 5.13) kg, were enrolled and underwent coronary CT angiography with a tube voltage of 80 or 100 kV, and the auto ECG gating technique was used to automatically select the exposure phase. The original data was reconstructed into 3 groups, namely group A (conventional images), group B (images reconstructed using SSF1 technique) and group C (images reconstructed using SSF2 technique). The image quality scores and diagnosable rates of coronary artery were compared among 3 groups. **Results** A total of 534 coronary artery branches in 53 patients were assessed. There were statistically significant differences in the image quality scores and diagnosable rates of right coronary artery, left anterior descending artery, coronary artery origin and coronary artery between groups B and C (all $P < 0.05$). Although the differences in the image quality score of left circumflex artery (LCX) were statistically significant ($P < 0.05$), the diagnosable rate of LCX was similar in groups B and C ($P = 0.05$). No significant difference was found in the image quality scores of left anterior descending artery, LCX and coronary origin between groups A and B ($P = 0.07, 0.14, 0.43$). **Conclusion** SSF2 technique can further improve the image quality of coronary CT angiography of children with high heart rate.

Keywords: coronary artery disease; children with high heart rate; coronary artery snapshot freeze technique; coronary CT angiography

【收稿日期】2021-05-13

【基金项目】北京市自然科学基金(L192044)

【作者简介】李昊岩, 在读硕士, 技师, 主要从事医学影像技术、医学图像处理等研究, E-mail: lihaoyanxx111@126.com

【通信作者】李海云, 博士, 教授, 主要从事医学影像计算与仿真、医学人工智能等研究, E-mail: haiyunli@ccmu.edu.cn; 彭芸, 教授, 主任医师, 主要从事儿科影像学研究, E-mail: ppengyun@yahoo.com

前言

冠状动脉CT血管成像(Coronary CT Angiography, CCTA)已成为筛查儿童冠状动脉疾病如冠状动脉起源异常、冠状动脉瘤等疾病的常用影像学检查手段^[1-2]。儿童心率快, 心脏搏动导致运动伪影增加, 使图像质量下降, 部分图像会产生冠状动脉走行的模糊甚至血管的截断, 无法满足临床诊

断^[3]。在高心率的条件下,12%冠状动脉节段达不到可诊断水平^[4],如何减少高心率患儿CCTA的运动伪影一直是研究热点,最常用的方法包括增加探测器宽度、提高管球转速以缩短扫描时间、应用先进的运动校正后处理算法等。第一代冠状动脉追踪冻结(Snapshot Freeze I, SSF1)技术作为一种图像后处理算法,可去除成人高心率及心率不齐CCTA的运动伪影,这种技术通过对3个时相的图像数据进行计算,得到搏动伪影校正后的中央时相图像,图像质量评分及可诊断率均有提升^[5-6],文献证实该算法对高心率患儿CCTA也有效果,不过对部分细小分支或高心率病例效果有限^[7]。第二代冠状动脉追踪冻结(Snapshot Freeze II, SSF2)技术被证实成人CCTA中有效,并可改进SSF1算法的不足,进一步提升可诊断率^[8]。成人SSF2相关研究较多,但是国内没有儿童SSF2对图像质量的改进研究,故本研究主要探讨SSF2技术对高心率患儿CCTA图像质量的改善能力。

1 材料与方法

应用图像处理和统计学分析建立一种SSF技术的影像质量评估方法。对同一受试者的常规图像、SSF1重建图像和SSF2重建图像的影像质量及可诊断率进行评估。

1.1 一般资料

本研究经医院伦理委员会审查通过,监护人均签署知情同意书。连续收集2018年6月~12月于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接受CCTA的患儿资料,纳入心率 ≥ 75 次/min患儿,排除有严重心、肾功能损害者。共53例符合入组要求,男28例,女25例,月龄1~72个月,平均 (17.5 ± 18.7) 个月;体质量2.7~22.0 kg,平均体质量 (10.68 ± 5.13) kg,平均体质量指数 (16.03 ± 2.23) kg/m²;心率75~163次/min,平均心率 (116.30 ± 21.78) 次/min,心率波动0~39次/min,平均心率波动 (10.53 ± 8.85) 次/min,Smart Phase自动最佳重建时相为6%~82%。入组患儿因心肌炎、心律不齐等原因就诊,需行CT进一步筛查是否存在冠状动脉发育畸形或有无冠状动脉扩张。

1.2 仪器与方法

采用GE Revolution 256排宽体CT扫描机(GE Healthcare,美国)。患儿仰卧,双臂上举过头,自由呼吸;对不能配合检查的患儿给予口服镇静药,待其安静入睡后扫描。采用前瞻性心电门控轴位扫描,曝光时不移动扫描床,在1个心动周期内完成采集。根据患儿体型,探测器宽度可选择100、120、140或

160 mm,扫描范围从气管杈至心尖,包括冠状动脉起源及走行。管电压、管电流均采用自动调制技术,管电压的调节范围包括80、100 kV,管电流的调节范围为200~500 mA。预计噪声指数为22,机架扫描转速为0.28 s/rot。根据患儿体质量来确定对比剂种类及用量^[9],体质量2~20 kg使用非离子型对比剂碘克沙醇(320 mgI/mL),体质量 >20 kg使用非离子对比剂碘海醇(350 mgI/mL);体质量 ≤ 5.0 kg时对比剂用量=体质量 $\times 1.3$,5.1~10.0 kg时对比剂用量=体质量 $\times 1.2$,10.1~20.0 kg时对比剂用量=体质量 $\times 1.1$,20.1~30.0 kg时对比剂用量=体质量 $\times 1.0$ 。采用双筒高压注射器经静脉团注对比剂,流率0.5~2.8 mL/s,于8 s内注射完毕,随后注射8~20 mL生理盐水,4 s内注射完毕^[10-11]。采用智能触发技术,感兴趣区域位于气管杈下一个椎体层面的降主动脉,CT值达220 HU后,延时3.5 s启动扫描。

采用智能心电门控技术(Auto-ECG-gating)判断患儿心率及心率变动,自动选择曝光期相。对于心率 <79 次/min患儿,曝光时间窗为40%~80%的R-R间期;心率为79~120次/min患儿,曝光时间窗为35%~55%的R-R间期;心率为121~200次/min患儿,曝光时间窗为65%~80%的R-R间期;对于心律不齐的患儿,为保证检查成功率适当加宽曝光时间窗。以标准算法重建图像,重建层厚、层间距均为0.625 mm,迭代重建组织权重ASiR-V为50%。

1.3 辐射剂量

记录患儿容积CT剂量指数(Volume Computed Tomography Dose Index, CTDIvol)、剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP),并计算有效剂量(Effective Dose, ED)。ED= $k \times DLP$,其中 <1 岁患儿, $k=0.049$ mSv/(mGy·cm);1~2岁, $k=0.030$ mSv/(mGy·cm);3~6岁, $k=0.020$ mSv/(mGy·cm)。

1.4 图像后处理

采用GE AW 4.7工作站的自动冠状动脉分析软件,所有重建期相采用Smart Phase技术自动选择最佳期相,重建3组图像^[12]:A组为不采用SSF技术的常规图像;B组为SSF1重建图像;C组为SSF2重建图像。

1.5 图像评价

由2位分别具有12年和14年工作经验的CT心血管专业影像学医师,应用盲法对冠状动脉的图像质量进行主观评价。根据美国心脏协会的冠状动脉分段方法,将冠状动脉分为18个节段^[13],以Likert分级4分法^[14]对CCTA可显示节段进行评价,直径大于1 mm且连续走行超过1 mm的作为可评价节段,否则为不可评价节段^[13]。4分,图像质量良好,血管壁边

缘清晰,没有运动伪影;3分,图像质量较好,冠状动脉血管壁边缘欠光整,或有轻度运动伪影,但不影响血管评价与管径测量;2分,图像质量较差,冠状动脉血管壁边缘模糊,或有中度运动伪影,但能满足诊断;1分,冠状动脉管腔无法辨认,运动伪影重,不能用于诊断。冠状动脉评分为所有可显示节段评分的平均值,右冠状动脉(Right Coronary Artery, RCA)评分为其近、中、远3个节段评分的平均值,左前降支(Left Anterior Descending, LAD)为左主干、近段、中段、远段4个节段评分的平均值,左回旋支(Left Circumflex Artery, LCX)为近段、中远段2个节段评分的平均值。冠状动脉起源评价左冠及右冠起源是否有模糊、截断。主观评分 ≥ 2 分为可诊断图像,计算可诊断率,可诊断率=可诊断的节段数/总节段数 $\times 100\%$ 。

1.6 统计学分析

采用SPSS 19.0软件对数据进行统计学分析。3组图像质量评分以中位数(上下四分位数)表示,采

用多独立样本Kruskal-Wallis H检验,两两比较采用Bonferroni方法校正的Mann-Wallis U检验。以 χ^2 检验比较3组图像间可诊断率的差异,采用行 \times 列表资料的多重比较并进行多次经Bonferroni校正 $2\times C$ 表的 χ^2 检验。采用Kappa检验评价2名医师主观评分的一致性,Kappa值 ≤ 0.4 为一致性差;0.4~0.6为一致性中等;0.6~0.8为一致性较好; ≥ 0.8 为一致性好。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量评分

2名医师对图像质量评分的一致性(Kappa=0.80),取2名医师协商后的评分。3组图像比较显示RCA、LAD、LCX、冠状动脉起源、冠状动脉评分总体差异均有统计学意义(P 均 <0.05),详见表1。图1为病例1的图像质量改进效果。

表1 冠状动脉图像质量主观评分比较
Tab.1 Comparison of subjective scores of coronary artery image quality

组别	右冠状动脉(n=148)				左前降支(n=172)				左回旋支(n=81)				冠状动脉起源(n=106)				冠状动脉(n=534)			
	1分	2分	3分	4分	1分	2分	3分	4分	1分	2分	3分	4分	1分	2分	3分	4分	1分	2分	3分	4分
A组	34	57	38	19	16	64	55	37	16	39	19	7	27	33	26	20	93	225	141	75
B组	16	45	60	27	7	54	61	50	6	36	32	7	16	34	32	24	47	190	199	98
C组	0	11	61	76	1	11	59	101	1	8	45	27	1	9	31	65	9	52	230	243
χ^2 值	110.32				83.92				59.13				70.47				299.18			
P值	<0.01				<0.01				<0.01				<0.01				<0.01			

A组与B组图像间RCA($\chi^2=45.07, P<0.01$)、冠状动脉($\chi^2=126.42, P<0.01$)差异均有统计学意义,B组优于A组;而LAD($\chi^2=34.51, P=0.07$)、LCX($\chi^2=20.91, P=0.14$)和冠状动脉起源($\chi^2=17.75, P=0.43$)评分差异均无统计学意义。A组与C组图像间RCA($\chi^2=146.35, P<0.01$)、LAD($\chi^2=134.30, P<0.01$)、LCX($\chi^2=77.56, P<0.01$)、冠状动脉起源($\chi^2=95.66, P<0.01$)和冠状动脉($\chi^2=453.09, P<0.01$)差异均有统计学意义,C组优于A组。B组与C组图像间RCA($\chi^2=101.27, P<0.01$)、LAD($\chi^2=99.79, P<0.01$)、LCX($\chi^2=56.65, P<0.01$)、冠状动脉起源($\chi^2=77.92, P<0.01$)和冠状动脉($\chi^2=326.68, P<0.01$)差异均有统计学意义,C组优于B组。

2.2 可诊断率

3组图像比较显示RCA、LAD、LCX、冠状动脉起源及冠状动脉可诊断率总体差异均有统计学意义(P 均 <0.01),详见表2。图2为病例2的图像质量改进效果。

A组与B组图像间RCA($\chi^2=7.80, P<0.01$)、LCX($\chi^2=5.26, P=0.02$)、冠状动脉($\chi^2=17.39, P<0.01$)可诊断率差异均有统计学意义,B组优于A组;而LAD($\chi^2=3.38, P=0.05$)、冠状动脉起源($\chi^2=3.53, P=0.06$)可诊断率差异均无统计学意义。A组与C组图像间RCA($\chi^2=38.41, P<0.01$)、LAD($\chi^2=13.92, P<0.01$)、LCX($\chi^2=14.79, P<0.01$)、冠状动脉起源($\chi^2=27.82, P<0.01$)和冠状动脉($\chi^2=76.48, P<0.01$)可诊断率差异均有统计学意义,C组优于A组。B组与C组图像间RCA($\chi^2=16.91, P<0.01$)、LAD($\chi^2=4.61, P=0.03$)、冠状动脉起源($\chi^2=14.39, P<0.01$)和冠状动脉($\chi^2=27.21, P<0.01$)可诊断率差异均有统计学意义,C组优于B组;而LCX($\chi^2=3.73, P=0.05$)可诊断率差异无统计学意义。

3 讨论

对于儿童先天冠状动脉起源异常、川崎病导致

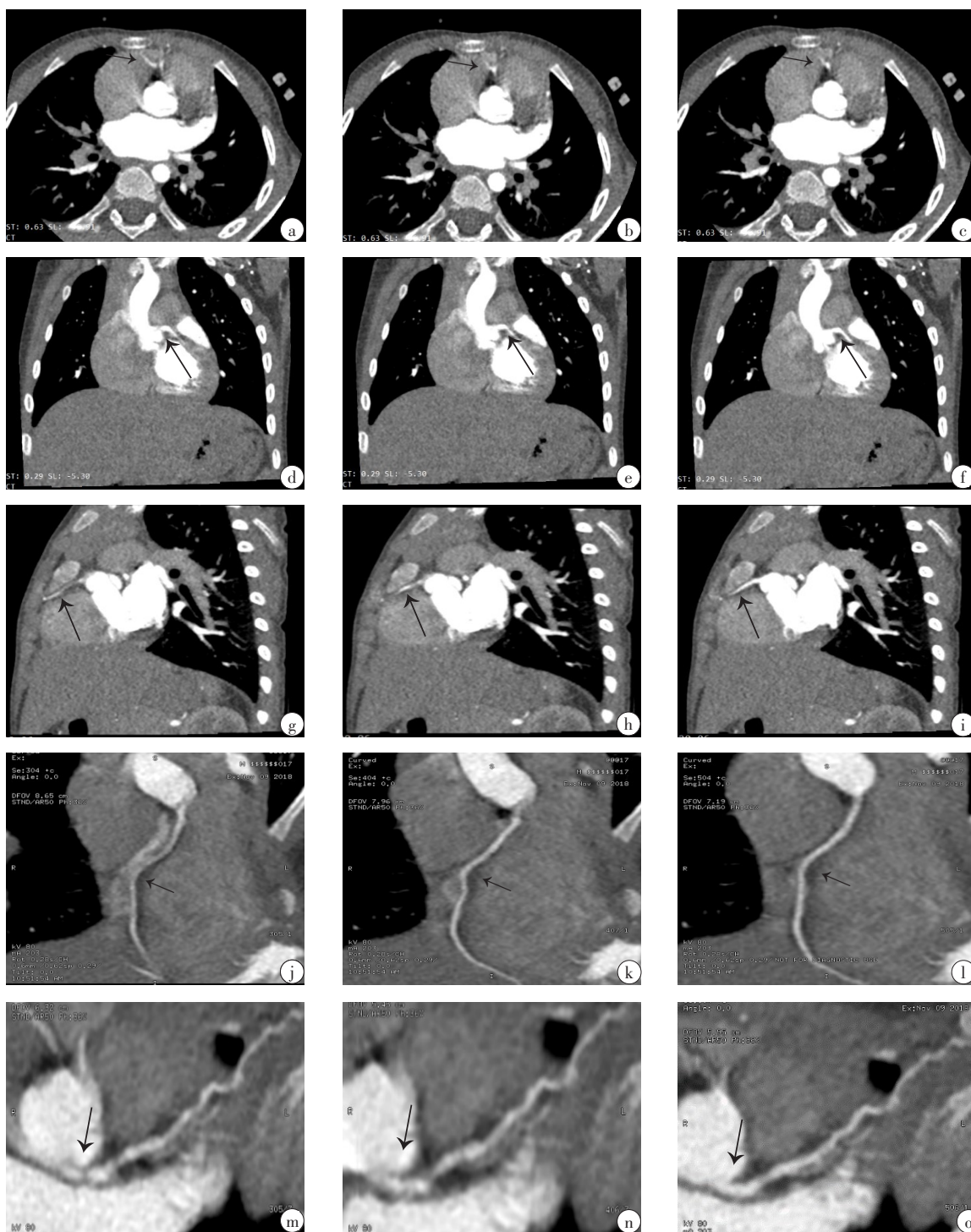


图1 病例1改进效果

Fig.1 Improvements in case 1

患儿男,2岁,心率79次/min,心率波动79~93次/min,冠状动脉正常。从左右分别是不采用SSF技术的常规图像、SSF1重建图像、SSF2重建图像。短箭头所指的横断面冠状动脉(图1a、b、c)、右冠状动脉走行(图1j、k、l)显示模糊,经SSF1、SSF2处理,冠状动脉显示逐步改善。长箭头所指的左冠状动脉起源(图1d、e、f)、右冠状动脉起源多平面重组和曲面重建(图1g、h、i、m、n、o)显示模糊,经SSF1、SSF2处理,冠状动脉起源显示逐步改善

的冠状动脉瘤等冠状动脉疾病,256排宽体CT的16 cm探测器结合SSF1技术对大多数的高心率患儿的图像质量有显著的提升。有研究报道结合SSF技术,Revolution CT的有效时间分辨率达29 ms,可消除高心率患者的运动伪影^[5]。经临床实践,依然有部

分患儿的图像由于心率过快、Smart Phase采集时相不佳导致最终重建图像运动伪影重,尤其是冠状动脉起源经常出现,影响对患儿冠状动脉起源的观察,不能满足临床诊断。冠状动脉扫描常存在心脏搏动伪影、呼吸运动伪影、时相选择伪影、板状伪影、量子

表2 可诊断率比较[% (个)]

Tab.2 Comparison of diagnosable rates [% (number of branches)]

组别	右冠状动脉(n=148)	左前降支(n=172)	左回旋支(n=81)	冠状动脉起源(n=106)	冠状动脉(n=534)
A组	77.03(114)	90.70(156)	80.25(65)	74.53(79)	82.58(441)
B组	89.19(132)	95.93(165)	92.59(75)	84.91(90)	91.20(487)
C组	100.00(148)	99.42(171)	98.77(80)	99.06(105)	98.31(525)
χ^2 值	39.13	14.95	16.81	26.96	78.56
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

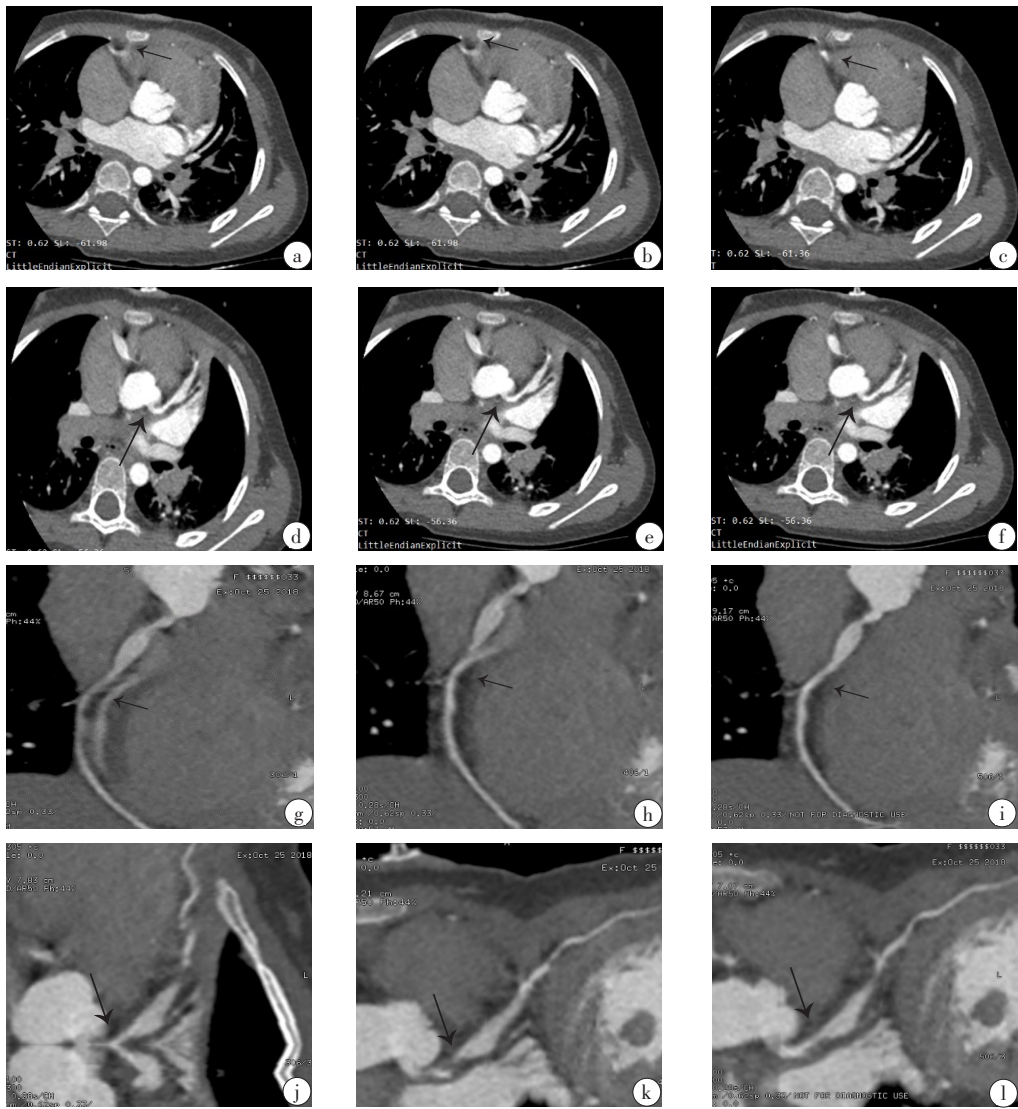


图2 病例2改进效果

Fig.2 Improvements in case 2

患儿女,2岁,心率118次/min,心率波动111~124次/min,川崎病,冠状动脉近端瘤样扩张。从左往右分别是不采用SSF技术的常规图像、SSF1重建图像、SSF2重建图像。短箭头所指的横断面冠状动脉(图2a、b、c)、右冠状动脉走行(图2g、h、i)显示模糊,经SSF1、SSF2处理,冠状动脉显示逐步改善。长箭头所指的左冠状动脉起源(图2d、e、f)、右冠状动脉起源(图2j、k、l)显示模糊,经SSF1、SSF2处理,冠状动脉起源显示逐步改善

噪声伪影等^[15]。儿童冠状动脉辐射剂量为CTDI (3.54±1.76) mGy, DLP (45.03±27.36) mGy·cm, 有效剂量(1.66±0.96) mSv,较之前研究辐射剂量有所降低^[9,16]。目前对比剂注射方案及指南所用放射剂量

及对比剂均较高(SCCT指南),根据ALARA原则,目前国家儿童医学中心首都医科大学附属北京儿童医院使用的均为低对比剂、低辐射剂量CCTA检查,相关方案已经得到认可^[17]。

SSF2技术在SSF1技术的基础上,不仅对冠状动脉进行识别,同时也对全心的运动伪影进行识别、处理。冠状动脉运动伪影不仅因为冠状动脉运动产生,也会受到全心的运动伪影影响,所以,SSF2技术在校正全心的运动伪影后会进一步改善冠状动脉的运动伪影。美国心脏协会推荐的成人冠状动脉评价的标准为直径大于1.5 mm且连续走行超过1.5 mm,儿童冠状动脉血管纤细,经过长期临床实践,儿童冠状动脉评价节段标准降低为直径大于1 mm且连续走行超过1 mm比较适宜^[13]。共534个冠状动脉节段纳入统计,有420节段由于过于纤细未被纳入。

使用SSF2技术后,C组图像较B组图像RCA、LAD、冠状动脉起源和冠状动脉评分及可诊断率差异均有统计学意义,LCX评分差异也有统计学意义,C组优于B组。与B组相比,C组的RCA、LAD、LCX的主观评分分别从 2.66 ± 0.90 、 2.90 ± 0.87 、 2.49 ± 0.76 提升至 3.44 ± 0.63 、 3.51 ± 0.64 、 3.21 ± 0.67 ,总冠状动脉评分从 2.65 ± 0.88 提升至 3.32 ± 0.72 ;RCA、LAD、LCX的可诊断率从89.19%、95.93%、92.59%提升至100.00%、99.42%、98.77%,总可诊断率从91.20%提升至98.31%。提示SSF2技术可进一步提高冠状动脉图像质量和可诊断率。使用SSF2技术后,一些纤细的血管显示得到了改善。相比SSF1的RCA、LAD、LCX分别有16、7、6冠状动脉远段的节段不能满足诊断要求,SSF2仅分别有0、1、1支血管不能满足诊断要求(评分 ≤ 2 分),总冠状动脉血管共有38个远段节段满足诊断要求。冠状动脉起源也得到了较大的改善,冠状动脉起源评分从 2.60 ± 1.00 提升至 3.51 ± 0.69 ,有15个冠状动脉起源处从不能满足诊断要求到满足诊断要求。

本研究中,A组与B组LAD、LCX和冠状动脉起源评分差异均无统计学意义($P=0.07, 0.14, 0.43$),这是因为设备的硬件的更新及Smart Phase选取到了较合适的期相,图像质量尚可,这也表明了SSF1技术对于超高心率患儿效果的局限性^[18],对于冠状动脉起源的效果也比较有限,常有和模糊。本研究与之前SSF1结果稍有不同,是因为本研究的患儿心率更高,年龄更低,血管更细小,对诊断要求更高。B组与C组LCX可诊断率无统计学意义($P=0.05$),表明其对LCX图像质量提示效果很弱,可能由于LCX细小,且本研究LCX节段纳入较少($n=81$),可能影响统计学结果。

本研究的不足:(1)病例数较少,由于SSF2数据处理量存在限制,尚不能开展大规模研究;(2)采用的是单中心的数据,病种范围不够全面;(3)没有冠状动脉造影作为金标准进行诊断评价。

总之,应用SSF2技术可以进一步改善儿童CCTA图像质量,尤其对冠状动脉起源图像质量提高明显,提高了冠状动脉起源异常等先天畸形的诊断率。

【参考文献】

- [1] PILAR GARCIA-PENA P, PAUL GUILLERMAN P. Pediatric chest imaging[M]. Berlin: Springer, 2014: 361-395.
- [2] HABIB GERYES B, CALMON R, DONCIU V, et al. Low-dose paediatric cardiac and thoracic computed tomography with prospective triggering: is it possible at any heart rate?[J]. Phys Med, 2018, 5(49): 99-104.
- [3] LI Z N, YIN W H, LU B, et al. Improvement of image quality and diagnostic performance by an innovative motion-correction algorithm for prospectively ECG triggered coronary CT angiography[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0142796.
- [4] MACHIDA H, TANAKA I, FUKUI R, et al. Current and novel imaging techniques in coronary CT[J]. Radiographics, 2015, 35(4): 991-1010.
- [5] ANDREINI D, PONTONE G, MUSHTAQ S, et al. Image quality and radiation dose of coronary CT angiography performed with whole-heart coverage CT scanner with intra-cycle motion correction algorithm in patients with atrial fibrillation[J]. Eur Radiol, 2018, 28(4): 1383-1392.
- [6] FUCHS T A, STEHLI J, DOUGOUD S, et al. Impact of a new motion-correction algorithm on image quality of low-dose coronary CT angiography in patients with insufficient heart rate control[J]. Acad Radiol, 2014, 21(3): 312-317.
- [7] 李昊岩, 孙记航, 段晓岷, 等. 高心率儿童冠状动脉成像追踪冻结技术的临床应用[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(4): 596-600.
LI H Y, SUN J H, DUAN X M, et al. Clinical application of Snapshot Freeze technique during coronary angiography in children with high heart rate[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2019, 35(4): 596-600.
- [8] LIANG J, SUN Y, YE Z, et al. Second-generation motion correction algorithm improves diagnostic accuracy of single-beat coronary CT angiography in patients with increased heart rate[J]. Eur Radiol, 2019, 29(8): 4215-4227.
- [9] GHOSHHAJRA B B, LEE A M, ENGEL L C, et al. Radiation dose reduction in pediatric cardiac computed tomography: experience from a tertiary medical center[J]. Pediatr Cardiol, 2014, 35(1): 171-179.
- [10] 刘志敏, 宋蕾, 于彤, 等. 低浓度对比剂心脏CT扫描方案在儿童中的应用[J]. 首都医科大学学报, 2016, 37(2): 109-113.
LIU Z M, SONG L, YU T, et al. Application of low concentration contrast media for enhanced CT scan in children with congenital heart disease [J]. Journal of Capital Medical University, 2016, 37(2): 109-113.
- [11] LIU Z, SONG L, YU T, et al. Application of low dose radiation and low concentration contrast media in enhanced CT scans in children with congenital heart disease[J]. Int J Clin Pract, 2016, 70(Suppl 9B): B22-B28.
- [12] 刘玉倩, 蔺嫦娥. 基于图像融合的冠状动脉三维重建方法及其应用[J]. 北京生物医学工程, 2019, 38(4): 427-433.
LIU Y Q, LIN C Y. A review of three-dimensional reconstruction of coronary artery based on image fusion and its application[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2019, 38(4): 427-433.
- [13] ABBARA S, BLANKE P, MAROULES C D, et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee: endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2016, 10(6): 435-449.
- [14] KUNDEL H L, POLANSKY M. Measurement of observer agreement [J]. Radiology, 2003, 228(2): 303-308.
- [15] KALISZ K, BUETHE J, SABOO S S, et al. Artifacts at cardiac CT: physics and solutions[J]. Radiographics, 2016, 36(7): 2064-2083.
- [16] BENZ D C, GRÄNI C, HIRT MOCH B, et al. Minimized radiation and contrast agent exposure for coronary computed tomography angiography: first clinical experience on a latest generation 256-slice scanner[J]. Acad Radiol, 2016, 23(8): 1008-1014.
- [17] SUN J, OKERLUND D, CAO Y, et al. Further improving image quality of cardiovascular computed tomography angiography for children with high heart rates using second-generation motion correction algorithm [J]. J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(5): 790-795.
- [18] LIANG J, WANG H, XU L, et al. Diagnostic performance of 256-row detector coronary CT angiography in patients with high heart rates within a single cardiac cycle: a preliminary study[J]. Clin Radiol, 2017, 72(8): 694.

(编辑:谭斯允)