

先天性心脏病小儿 MSCT 心脏成像后血管空气栓塞分析

吴倩, 周佩, 熊飞, 谭惠斌, 邹佳妮, 黄文才, 王玉庆

【摘要】 目的:分析接受 MSCT 心脏成像检查的先天性心脏病(CHD)小儿发生血管空气栓塞(VAE)的原因、风险及预防方法。**方法:**连续纳入 490 例 CHD 小儿 MSCT 心脏成像资料,记录空气栓子出现部位、大小、形状及数量,评估 CHD 小儿 VAE 发生率和相关风险因素。**结果:**VAE 发生率为 9.2%(45/490),45 例 VAE 中发生于右心房 66.7%(30/45)、主肺动脉 22.2%(10/45)、右心室 11.1%(5/45)、主动脉根部 6.6%(3/45)、左锁骨下静脉 2.2%(1/45)、左心室 2.2%(1/45);静脉系统 VAE 91.1%(41/45),动脉系统 VAE 8.9%(4/45);单处 88.9%(40/45),多处 11.1%(5/45);小量 VAE 75.6%(34/45),中等量 VAE 24.4%(11/45),无大量 VAE。共发现 90 个气泡,圆形或类圆形 57.8%(52/90),不规则形 42.2%(38/90)。发生 VAE 组与未发生 VAE 组患儿的年龄、身高、体重、性别、有无心内或肺内分流、静脉留置针型号及对对比剂注射流率、剂量、类型、回流路径差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**CHD 小儿 MSCT 心脏成像检查中 VAE 发生率低且多数空气栓子较小、多无症状,但仍存在较高潜在医疗风险需引起重视,在检查过程中应仔细排气并运用一些操作技巧及措施以避免其发生。

【关键词】 血管空气栓塞;先天性心脏病;体层摄影术,X线计算机

【中图分类号】 R814.42;R726.04 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)07-0942-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.07.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of vascular air embolism in MSCT cardiac imaging of children with congenital heart disease

WU Qian, ZHOU Pei, XIONG Fei, et al. Department of Radiology, General Hospital of Central Theater Command, Wuhan 430070, China

【Abstract】 Objective: To analyze the causes, risks and prevention of vascular air embolism (VEA) of children with congenital heart disease (CHD) who received MSCT cardiac imaging examination. **Methods:** 490 children with CHD who underwent MSCT cardiac imaging examination were successively included. The location, size, shape, and number of air embolus were recorded, and the incidence of VAE and related risk factors in children with CHD were evaluated. **Results:** The incidence rate of VAE was 9.2%. Among the 45 cases, air embolus located in the right atrium in 30 (66.7%), main pulmonary artery in 10 (22.2%), right ventricle in 5 (11.1%), aortic root in 3 (6.6%), left subclavian vein in 1 (2.2%) and left ventricle in 1 (2.2%). Venous system in 41 (91.1%), arterial system in 4 (8.9%). Single air embolus was found in 40 cases (88.9%), multiple emboli in 5 cases (11.1%). Small amount of VAE was found in 34 cases (75.6%), medium amount of VAE in 11 cases (24.4%), and large amount of VAE wasn't found. A total of 90 bubbles were found. They were round or similarly round shape in 52 (57.8%), anomalous shape in 38 (42.2%). There were no significant differences in age, height, weight, gender, intracardiac or intrapulmonary shunts, type of intravenous indwelling needle and the injection rate, dose, type, reflux path of contrast agent between the group with VAE and the group without VAE. **Conclusion:** The incidence of VEA is low and most of the air embolus was small. Although most VAEs are asymptomatic during MSCT cardiac imaging examination of children with CHD, there are still high potential medical risks that need to be paid attention to. So medical staffs should eliminate air carefully during the examination and take some techniques and measure to avoid its occurrence.

【Key words】 Vascular air embolism; Congenital heart disease; Tomography, X-ray computed

作者单位: 437000 武汉, 中部战区总医院放射科

作者简介: 吴倩(1987-), 女, 湖北鄂州人, 主治医师, 主要从事先天性心脏病及心脑血管疾病 CT 诊断工作。

通讯作者: 邹佳妮, E-mail: dor_nizming@163.com

空气进入静脉或动脉循环中会导致血管空气栓塞 (vascular air embolism, VAE), 其引起临床症状表现不一, 严重时可致患者死亡^[1,2]。常规 CT 增强扫描注射对比剂后 VAE 偶有发生, 多被报告为非致命事件^[1,2]。随着 CT 技术的发展, MSCT 心脏成像因能对先天性心脏病 (congenital heart disease, CHD) 患儿的心脏大血管解剖形态进行无创、有效地评价, 尤其低剂量 MSCT 出现使其应用越来越受到临床重视^[3], 但在检查过程中需要注射对比剂, 也有发生 VAE 的风险, 若患儿存在心内或肺内分流, 甚至有可能发生更加危险的反常动脉栓塞^[2]。目前对 CHD 患儿注射对比剂后发生 VAE 的研究甚少, 本研究通过回顾性分析 490 例 CHD 患儿接受 MSCT 心脏成像检查后 VAE 的发生情况, 探讨其发生的原因、风险及预防措施。

材料与方法

1. 一般资料

连续搜集 2015 年 6 月—2020 年 11 月经超声心动图诊断为 CHD 并于本院行 MSCT 心脏成像明确心血管解剖结构的 490 例患儿纳入该项研究。排除 CT 检查前有 CHD 手术, 或有其它已知血管栓塞风险检查或治疗者。最后纳入本研究患儿中男 284 例, 女 206 例, 年龄 2 天~12 岁, 平均 (24.49±31.05) 月, 体重 2.00~54.00 kg, 平均 (10.28±6.95) kg, 身高 43.00~162.00 cm, 平均 (78.53±24.35) cm。

2. 扫描方法

采用 Toshiba Aquilion ONE 320 排 CT 扫描仪, 检查前对于不能合作的患儿给予水合氯醛口服或灌肠, 用量 0.5~1.0 mL/kg。CT 扫描患儿取仰卧位, 设置模拟心率 120 bpm。扫描范围从胸廓入口水平至左膈下约 5 cm。采用 Target 前瞻性心电门控方式, 采集靶目标设定为 50% R-R, 曝光时间 400 ms, 管电压为 80~100 kV, 管电流使用 Smart mA 智能毫安技术 (10~200 mA, SD=10), 准直 0.5 mm×100。采用自动跟踪触发模式, ROI 设在降主动脉, 阈值 150 HU。

由有 5 年以上工作经验的护理人员建立静脉通路及注射液体, 步骤如下: 患儿头皮静脉或上肢静脉或足背静脉穿刺建立外周静脉通路, 留置 22G 或 24G 留置针后试注射 5 mL 生理盐水测试管路通畅性并观察穿刺点情况, 确保留置针完好后进行妥善固定备用。入检查室后协助患儿摆放检查体位之后经连接管连接双筒高压注射器 (DUAL SHOT alpha, Nemoto 公司), 先用以 10 mL/s/kg 流率注射生理盐水 10 mL 进行高压测试, 再以相同的流率先后注入非离子型对比剂碘克沙醇或碘佛醇 (320 mg I/mL, 剂量 1 mL/kg 或 1.5 mL/kg) 和生理盐水 10 mL。注射过程中确保管

路无可视空气进入外周静脉。医护人员在检查中严密监测患儿状态。

3. 图像分析

图像后处理: 将所得数据传输至后处理工作站 Vitrea 上进行分析。后处理图像厚度 0.5 mm, 以横轴面为主, 必要时辅以多平面重组技术。为避免中央静脉中高浓度对比剂产生的射束硬化伪影导致误判, 设定 400~1600 HU 相对较高的窗宽和 40 HU 的窗位^[4]。主要记录气泡出现的部位及空气栓子大小、形态及数量, 根据 Groell 等^[5]的方法测量气泡直径将 VAE 分为三类 (表 1): 小量 [直径 (d) < 1 cm 且空气栓子数量 (n) 1~3 个]、中等量 (d < 1 cm 且 n > 3; 或单个 d 为 1~2 cm; 或部位 > 1)、大量 (气-液平面 d 为 1~2 cm, 或单个 d > 2 cm)。由两名具有 10 年以上 CHD 诊断经验的放射科医师共同进行图像分析, 意见出现分歧时通过讨论达成一致。

表 1 各类型 VAE 的发生情况

VAE 类型	例数 (例)	发生率 (%)	构成比 (%)
小量	34	6.9	75.6
中等量	11	2.2	24.4
大量	0	0	0

4. 统计学处理

采用 SPSS 21.0 软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两组间比较采用两独立样本 *t* 检验; 计数资料用例数 (百分比) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

本组 490 例 CHD 小儿经 MSCT 心脏成像检查后 VAE 发生率为 9.2% (表 2), 45 例 VAE 中发生于右心房 66.7% (30/45, 图 1)、主肺动脉 22.2% (10/45)、右心室 11.1% (5/45)、主动脉根部 6.6% (3/45, 图 2)、左锁骨下静脉 2.2% (1/45)、左心室 2.2% (1/45, 图 3); 小量 VAE 75.6% (图 2、3), 中等量 VAE 24.4% (图 1), 无大量 VAE (表 1); 静脉系统 VAE 91.1% (41/45), 动脉系统 VAE 8.9% (4/45), 其中 4 例出现动脉系统 VAE 患儿均有心内分流, 且均为小量 VAE; 单处 88.9% (40/45), 多处 11.1% (5/45); 共发现 90 个气泡, 圆形或类圆形 57.8% (52/90), 不规则形 42.2% (38/90)。发生 VAE 组与未发生 VAE 组间相关因素比较, 两组年龄、身高、体重、性别、有无心内或肺内分流、静脉留置针型号及对比剂注射流率、剂量、类型、回流路径差异均无统计学意义 (*P* 均 > 0.05, 表 2)。本研究患儿均未发现明显 VAE 相关临床症状。

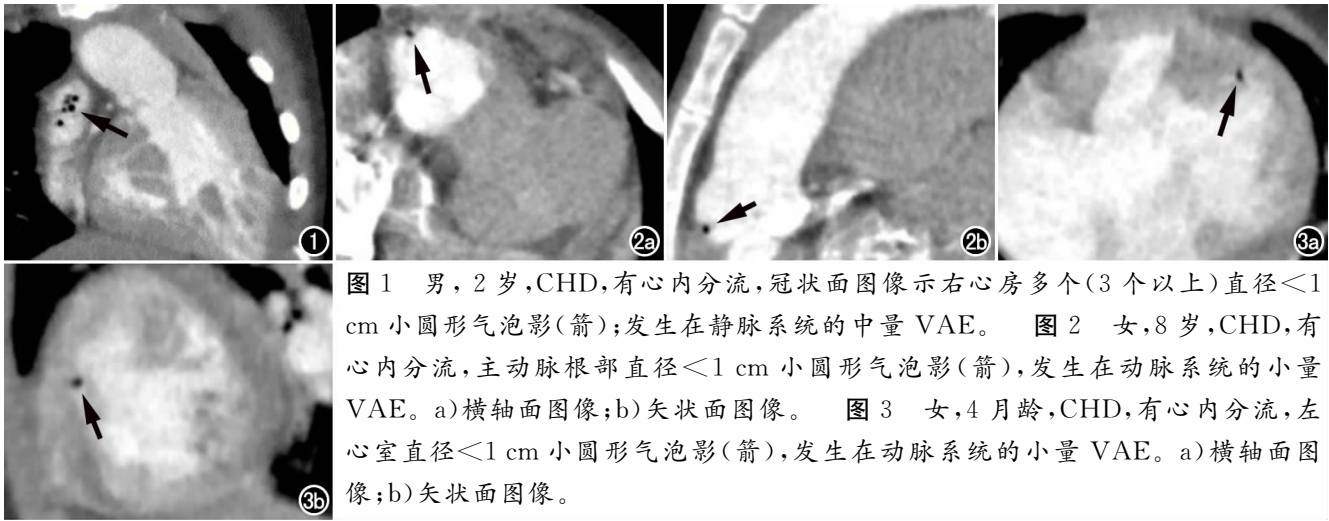


图 1 男, 2 岁, CHD, 有心内分流, 冠状面图像示右心房多个 (3 个以上) 直径 < 1 cm 小圆形气泡影 (箭); 发生在静脉系统的中量 VAE。图 2 女, 8 岁, CHD, 有心内分流, 主动脉根部直径 < 1 cm 小圆形气泡影 (箭), 发生在动脉系统的小量 VAE。a) 横轴面图像; b) 矢状面图像。图 3 女, 4 月龄, CHD, 有心内分流, 左心室直径 < 1 cm 小圆形气泡影 (箭), 发生在动脉系统的小量 VAE。a) 横轴面图像; b) 矢状面图像。

讨 论

VAE 已被报道为侵入性诊断和治疗程序或意外创伤的并发症, 小儿 VAE 可发生在外科手术、静脉插管、CT 增强扫描、外周静脉输液等^[2,6]。静脉系统 VAE 生理效应取决于注射气体量、速度和潜在的宿主心肺储备, VAE 的症状与进入静脉系统的气体量和速度成正比^[2,7]。肺毛细血管床可消散或“过滤”静脉中空气, 少量静脉空气栓塞可完全无症状, 但当超过其过滤能力, 症状取决于剩余的空气量^[7], 可在临床上表现为气短、喘息、咳嗽、胸痛、紫绀、低血压、肺水肿等, 当大量空气栓子快速充满右心房可引起“气锁”效应, 严重时会发生心脏骤停^[2,6,7]。由于心内分流或肺内分流存在, 可能发生反常气体栓塞^[2,7,8], 可导致癫痫发作、局灶性神经功能缺损、意识减退和致命性心律失常

等, 还可触发动脉内皮细胞释放细胞因子, 导致弥漫性血管内损伤、微血管血栓形成、器官缺血和多器官衰竭^[2]。人体的 VAE 致命量具有很大的变数, 因为它取决于气体量和它所停留的血管床^[2]。若气体栓子出现在动脉系统, 比如在冠状动脉、脑动脉, 即使很少量的空气也可能会诱发急性细胞缺血、致命心律失常、严重的脑损伤。对于儿童或婴儿来说, 较成年人体型小、肺部系统发育未成熟, 对气体的滤过能力较差, 可导致潜在致命空气量低于成年人^[2,9], 若同时患有 CHD 存在分流, 有可能发生反常栓塞。因此, CHD 小儿一旦发生 VAE, 其危险性更高, 更应该予以高度重视。

以往国内外的研究显示, 需经静脉注射对比剂的 CT 增强检查发生 VAE 概率为 4.65%~23%^[5,10-12], 本研究 VAE 发生率为 9.2%, 处于相对偏低水平, 原因可能为: ①本研究中采用扫描速度较快的 320 排

表 2 与 VAE 发生相关的单因素分析

临床及影像学特征	有 VAE 组 (n=45)	无 VAE 组 (n=445)	统计量	P 值
发生率	9.2%	90.8%	—	—
年龄/月	24.14±22.07	24.52±31.83	t=−0.107	0.915
身高/cm	80.60±17.45	78.32±24.95	t=0.799	0.428
体重/kg	10.31±4.25	10.28±7.17	t=0.047	0.963
对比剂注射速率/mL/s	1.03±0.43	1.03±0.72	t=0.047	0.963
对比剂剂量/mL	13.12±7.55	13.02±11.55	t=0.082	0.935
性别/例(%)			χ ² =0.954	0.329
男(n=284)	23(51.1)	261(58.7)		
女(n=206)	22(48.9)	184(41.3)		
分流情况/例(%)			χ ² =0.227	0.634
有(n=401)	38(84.4)	363(81.6)		
无(n=89)	7(15.6)	82(18.4)		
对比剂类型/例(%)			χ ² =2.497	0.114
碘佛醇(n=283)	21(46.7)	262(58.9)		
碘克沙醇(n=207)	24(53.3)	183(41.1)		
对比剂回流路径/例(%)			χ ² =1.492	0.222
SVC(n=416)	41(91.1)	375(84.3)		
IVC(n=74)	4(8.9)	70(15.7)		
静脉留置针型号/例(%)			χ ² =0.012	0.912
22G(n=167)	15(33.3)	152(34.2)		
24G(n=323)	30(66.7)	293(65.8)		

CT 扫描仪,短时间即可获取的图像与 VAE 形成可能不同步;②与对比剂注射方式有关,Woodring 等^[10]报道 VAE 发生率达 23%,其采用的是先手动后滴注的对比剂注射方式。VEA 通常以小量为主^[5,10],本研究多数为小量 VAE(占 75.6%),与之前发现相符。本研究 VAE 发生部位以右心房最多,达 66.7%,与洪居陆等^[11]报道冠状动脉 CTA 检查后发现气泡多数位于右心房一致,考虑原因为气泡在流体介质中的浮力作用下一般位于心腔较高的区域。有 42.2%的栓子形状为不规则形,可能由于大部分气泡位于右心房,而右心房活动形成湍流冲击气泡使部分形态不规则。先前常规 CT 增强检查研究中均未发现反常栓塞^[5,10-12],本研究中有 3 例空气栓子出现在主动脉根部及 1 例在左心室,虽患儿有无反常 VAE 发生率无显著差异,但发生 4 例反常栓塞的患儿均有分流,分流的存在使气泡有机会由静脉循环进入动脉循环。本研究中 41 例发生静脉系统的小量或中量 VAE 及 4 例动脉系统的小量 VAE,虽在临床上均无明显症状,但曾有 4 周大新生儿因静脉循环 VAE 而出现气短、喘息、紫绀、低血压等症状的事件发生^[13],另卵圆孔未闭的 11 周男婴发生静脉 VAE 和反常动脉栓塞而最终导致死亡的事件已被报道^[14],Agarwa 等^[15]也报道过患有大动脉转位的新生儿由于静脉注射引起冠状动脉空气栓塞导致心脏骤停。故为避免此类严重医疗事故发生,在检查过程中应务必做好预防工作。

要使空气进入血管系统,必须具备 3 个要素^[3]:气体来源(大气)、血管系统与气源的连接、使气体进入的压力梯度。MSCT 心脏成像检查过程中需要建立静脉通路并注射液体,因外周静脉穿刺点与中心静脉存在压力差,管路内和混合于注射液的空气可随注射液进入血管循环。本研究中未发现小儿年龄、身高、体重、性别、有无心内或肺内分流、静脉留置针型号及对比剂注射流率、剂量、类型、回流路径与 VAE 发生存在相关性,已有学者^[4,5,12]研究亦表明 VAE 存在与上述对比剂注射相关因素及患者性别、年龄等无关联。而国内学者^[16]发现通过改进操作方法并对护理人员进行该操作方法培训,培训后 VAE 的发生率显著降低,结合本科室护理人员操作流程和经验,推测 VAE 发生很大程度与护理人员排气操作方式有关,由此为预防 CHD 患儿 CT 心脏成像检查中产生 VAE,首先护理人员应严格遵守操作规范,在此基础上可采用一些排气操作技巧和措施来减少 VAE 发生。排除护理操作不当造成的 VAE,分析进入血管的空气可能来自于:①混入生理盐水或对比剂中的少量空气;②黏附于管路内壁不易发现并排出的少量空气;③连接管与留置针管结合处的微小间隙的微量空气。据此,根据国

内外关于注射对比剂后 VAE 的解决措施及本科室医护人员操作经验认为可采用以下操作技巧^[6,11,12,17]:①始终保持高压注射器在注射过程中针头朝下的直立位;②垂直或尽可能减小高压注射器连接管卷曲度;③高压注射器连接管连接患儿留置针前的预冲洗或多重冲管;④连接留置针管与高压注射器连接管时,挤压其连接部分并用生理盐水填充二者间隙后再进行连接;⑤高压注射器抽吸药液时可适度敲打针筒使混入药液的部分气泡加快逸出或排出。同时可借鉴其它学者的排气措施,比如 Kayano 等^[18]采用带注射器的三通旋塞,使用注射器收集导管内的气泡来减少 VAE;齐敏等^[16]注射筒内药液留有 20 mL 左右的空气,通过抽吸针筒或轻轻晃动高压注射器可使注射筒内的气-液平面移动,快速消除注射筒内附壁气泡。除了可以运用上述排气技巧和措施预防 VAE 发生外,由于患有 CHD 的婴幼儿 VAE 相对成人较难发现,医护人员在检查过程中要时刻保持警惕、严密观察小儿的生理变化和反应,及早发现并处理,早期发现 VAE 可降低相关并发症的严重程度。VAE 患儿的立即治疗方法是将患者置于 Trendelenburg 体位和左侧卧位(Durant 体位),促使气泡从右心室流出道进入右心房,缓解“气锁”效应,同时给予 100%的氧可以增加组织氧合和氮的再吸收。有反常栓塞患儿可考虑高压氧治疗^[2,6,7]。

小儿处于生长发育关键阶段,对 CT 检查中的电离辐射暴露非常敏感,应按照“可合理达到的尽可能低的水平(as low as reasonably achievable, ALARA)”的原则控制辐射剂量^[19]。本组病例均采用 320 排 CT 进行心脏成像,其可运用多种技术(如前瞻性心电门控、迭代重建、智能毫安及低管电压等)实现保证图像质量的同时降低辐射剂量^[20,21],而且具有高空间和时间分辨率及强大后处理技术,已成为小儿复杂 CHD 诊断的有效检查方法,越来越多地应用于临床,但检查中存在 VAE 的风险不容忽视。本组 CHD 小儿行 CT 心脏成像,VAE 发生率低且多数空气栓子较小,多数发生在静脉循环,因分流存在少数亦形成反常栓塞。VAE 一般不会引起任何临床症状,但仍有致死等严重潜在医疗风险。因此,医护人员在检查过程中应高度警惕 VAE 的发生,做好预防工作以避免其发生。

参考文献:

- [1] Zulkifl AM, Faisal M. Multiple asymptomatic vascular air embolisms following contrast-enhanced CT scan[J]. BMJ Case Rep, 2019, 12(8): e229169.
- [2] Brull SJ, Prielipp RC. Vascular air embolism: a silent hazard to patient safety[J]. J Crit Care, 2017, 42: 255-263.
- [3] 范丽娟, 徐冬生, 张计旺, 等. 宽体探测器低剂量在婴幼儿先天性心脏病中的应用价值[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33(13): 1004-1007.

- [4] Sodhi KS, Saxena AK, Chandrashekhar G, et al. Vascular air embolism after contrast administration on 64 row multiple detector computed tomography: A prospective analysis [J]. Lung India, 2015, 32(3): 216-219.
- [5] Groell R, Schaffler GJ, Rienmueller R, et al. Vascular air embolism: location, frequency, and cause on electron-beam CT studies of the chest [J]. Radiology, 1997, 202(2): 459-462.
- [6] McCarthy CJ, Behraves S, Naidu SG, et al. Air embolism: diagnosis, clinical management and outcomes [J]. Diagnostics (Basel), 2017, 7(1): 5.
- [7] Trent JS, Hodgson JK, Ackermann B, et al. Hyperbaric oxygen therapy for vascular air embolism from iatrogenic intravenous infusion of air in a patient with atrial septal defect: a case report [J]. Cureus, 2020, 12(8): e9554.
- [8] Kayano S, Takahashi A, Ota H, et al. A case of iatrogenic air bubbles in the left ventricle by coronary computed tomographic angiography [J]. Radiol Case Rep, 2019, 14(6): 687-691.
- [9] Sowell MW, Lovelady CL, Brogdon BG, et al. Infant death due to air embolism from peripheral venous infusion [J]. J Forensic Sci, 2007, 52(1): 183-188.
- [10] Woodring JH, Fried AM. Nonfatal venous air embolism after contrast-enhanced CT [J]. Radiology, 1988, 167(2): 405-407.
- [11] 洪居陆, 李慧, 唐秉航, 等. CCTA 检查中静脉积气分析 [J]. 临床放射学杂志, 2013, 32(4): 487-490.
- [12] 贾晓茜, 陈姣, 黄欣, 等. 胸部 CTA 检查注射对比剂后静脉空气栓子成因及对策 [J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(9): 1400-1403.
- [13] Levy I, Mosseri R, Garty B. Peripheral intravenous infusion——another cause of air embolism [J]. Acta Paediatr, 1996, 85(3): 385-386.
- [14] Sowell MW, Lovelady CL, Brogdon BG, et al. Infant death due to air embolism from peripheral venous infusion [J]. J Forensic Sci, 2007, 52(1): 183-188.
- [15] Agarwal SS, Kumar L, Chavali KH, et al. Fatal venous air embolism following intravenous infusion [J]. J Forensic Sci, 2009, 54(3): 682-684.
- [16] 齐敏, 黄明刚, 黄欢, 等. 冠状动脉 CT 血管成像检查中医源性小空气栓子: 影像分析和实用预防技巧 [J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(2): 304-307.
- [17] McCarthy CJ, Behraves S, Naidu SG, et al. Air embolism: practical tips for prevention and treatment [J]. J Clin Med, 2016, 5(11): 93.
- [18] Kayano S, Ota H, Yamaguchi T, et al. Association of the incidence of venous air embolism on coronary computed tomography angiography with the intravenous access route preparation process [J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(45): e17940.
- [19] 张配配, 李拔森, 朱文珍, 等. 儿科成像检查中的辐射风险及防护 [J]. 放射学实践, 2017, 32(10): 1079-1082.
- [20] Tang S, Zhang G, Chen Z, et al. Application of prospective ECG-gated multiphase scanning for coronary CT in children with different heart rates [J]. Jpn J Radiol, 2021, 39(10): 946-955.
- [21] Jadhav SP, Golriz F, Atweh LA, et al. CT angiography of neonates and infants: comparison of radiation dose and image quality of target mode prospectively ECG-gated 320-MDCT and ungated helical 64-MDCT [J]. Am J Roentgenol, 2015, 204(2): W184-W191.

(收稿日期: 2022-05-09 修回日期: 2023-02-08)