

## 儿童心力衰竭无创影像学多模态评价方法的研究\*

高悦<sup>1</sup> 庄海明<sup>1</sup> 张冰<sup>1</sup> 王蓉<sup>1</sup> 徐楠<sup>1</sup> 逢坤静<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的:探索超声心动图、心血管计算机断层扫描(CT)、心脏磁共振(CMR)多模态影像技术对儿童心力衰竭的综合评估方法。方法:回顾性分析 2022 年 1 月至今在我院住院诊治的不同病因学导致的儿童心力衰竭病人的超声及影像学资料 165 例。全部患者均规范进行了二维及三维超声心动图检查,完成脱机定量分析。根据心衰病因学诊断的需要,选择心血管断层扫描(CT)检查及心脏核磁(CMR)检查进一步明确病因并分析心脏功能。对比不同检查手段对心功能评价的一致性。总结 3 种影像学检查方法的主要功能及优劣势,探索多模态影像评价儿童心力衰竭的方法。结果:165 例心力衰竭儿童病例入组,男性 60.0%,平均年龄 73.2(11.5,132)个月。其中左心衰竭为主 115 例,右心衰竭为主 50 例。心衰病因主要包括先天性心脏病 105 例(63.6%)和心肌病 60 例(36.4%)。ROSS/NYHA 心功能分级 II 级 38.2%, III 级 41.2%, IV 级 20.6%。共 73 例完成 CT 检查,其中 20.5%通过 CT 检查补充了心力衰竭病因学诊断。50 例完成 CMR 检查,12 例明确了病因学诊断。3D 超声评估心功能指标与 CMR 结果显著相关,包括 LVEDV,  $r=0.914$ ; LVEF,  $r=0.871$ ; RVEDV,  $r=0.892$ ; RVEF,  $r=0.834$ ; 均  $P<0.05$ 。结论:无创多模态影像学可以提高超声心动图对儿童心力衰竭的病因学诊断率。超声心动图与 CMR 对左、右心功能的评价结果显著相关。

**[关键词]** 儿童心力衰竭;超声心动描记术;磁共振;计算机断层摄影术;多模态影像

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.12.002

[中图分类号] R541.6 [文献标志码] A

## Noninvasive multimodality assessment of pediatric heart failure

GAO Yue ZHUANG Haiming ZHANG Bing WANG Rong XU Nan PANG Kunjing  
(Ultrasound Imaging Center of Beijing Fuwai Hospital, National Heart Disease Center, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing, 100037, China)

Corresponding author: XU Nan, E-mail: xunan@fuwai.com

**Abstract Objective:** To explore the comprehensive evaluation method of echocardiography, cardiovascular computed tomography(CT) and cardiac magnetic resonance(CMR) in children with heart failure. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 165 cases of pediatric heart failure due to various etiologies, admitted and treated at our hospital from January 2022 to the present. All patients underwent standardized two-dimensional and three-dimensional echocardiography with offline quantitative analysis. Due to the necessity of heart failure etiology for further diagnosis, cardiovascular computed tomography(CT) and cardiac magnetic resonance(CMR) imaging were recommended for finding the underlying causes and evaluating the cardiac function. The results of different imaging modalities in evaluating cardiac function were compared. The main functions, advantages, and disadvantages of the three imaging modalities were summarized, and a method for comprehensive evaluation of pediatric heart failure using multimodal imaging was explored. **Results:** A total of 165 cases of pediatric heart failure were included, with 60.0% being male and an average age of 73.2(11.5, 132) months. Among them, 115 cases were presented predominantly with left heart failure while 50 cases were presented with predominantly right heart failure. The main causes of heart failure included congenital heart disease in 105 cases(63.6%) and cardiomyopathy in 60 cases(36.4%). The distribution of ROSS/NYHA functional classification was as follows: class II, 38.2%; class III, 41.2%; and class IV, 20.6%. A total of 73 cases underwent CT examination, with 20.5% of them providing additional diagnostic information regarding the etiology of heart failure. Fifty cases underwent CMR examination, resulting in a definitive diagnosis in 12 cases. Three-dimensional echocardiography-derived indices of cardiac function were significantly correlated with CMR results, including LVEDV,  $r=0.914$ ; LVEF,  $r=0.871$ ; RVEDV,  $r=0.892$ ; RVEF,  $r=0.834$ ; all  $P<0.05$ . **Conclusion:** Non-invasive multimodal imaging can increase the diagnostic rate of echocardiography for the etiology of pediatric heart failure. There is a significant correlation between echocardiography and CMR in the assessment of left and right ventricular function.

**Key words** pediatric heart failure; echocardiography; magnetic resonance imaging; computed tomography

\* 基金项目:中国医学科学院临床与转化医学研究基金(No:2020-I2M-C&T-A-013);首都卫生发展科研专项(No:2022-1-4032)

<sup>1</sup> 中国医学科学院北京协和医学院国家心脏病中心 北京阜外医院超声影像中心(北京,100037)

通信作者:徐楠,E-mail:xunan@fuwai.com

心力衰竭(心衰)是儿科临床常见的急危重症之一,也是导致儿童死亡的重要原因之一<sup>[1-4]</sup>。美国2016年登记的因心衰住院的儿童发病率约为0.1%,心衰患儿住院费用是非心衰患儿的24倍<sup>[5]</sup>。儿童心衰的主要病因在经济落后地区为下呼吸道感染和严重贫血,在经济发达地区为先天性心脏病及心肌病<sup>[6-10]</sup>。新生儿期心衰发病以导管依赖型先天性心脏病为主,婴幼儿期心衰以分流型先天性心脏病为主,学龄期以心肌炎心肌病多见<sup>[11]</sup>。在我国先天性心脏病是新生儿期死亡的首要原因,心衰是先心病的最主要合并症和致死原因<sup>[1]</sup>。早期发现和早期治疗是避免儿童心衰死亡和节约医疗成本的关键<sup>[12-13]</sup>。超声心动图是儿童心衰的首选和最重要的检查工具<sup>[1,14-16]</sup>,由于不依赖大型固定设备,完全无创无射线,是最适合儿童心脏病筛查、诊断及监测的影像学检查手段。但是由于儿童心衰的病因复杂多样,某些先天畸形单独依靠超声心动图明确诊断存在困难,例如肺血管畸形,冠状动脉(冠脉)畸形等,心脏计算机断层扫描(CT)诊断此类畸形有明显优势<sup>[17,18]</sup>。另外作为儿童心衰的一大病种——心肌病需要获取心肌的组织学信息来帮助病因学诊断,需要进行心脏磁共振检查(CMR)来帮助诊断<sup>[17-19]</sup>。因此,在临床工作中结合多种影像学方法开展多模态影像学综合评估儿童心衰成为近些年发展迅速的前沿技术<sup>[16-18]</sup>。本研究通过回顾在我院救治的165例儿童心衰病例影像学资料,应用二维及三维超声心动图结合CT及CMR检查结果,分析3种影像检查手段的功能及特点,总结多模态影像学在诊断及评估儿童心衰中的价值。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

回顾性纳入2022年1月—2023年10月在我院住院治疗的儿童心衰患者(年龄 $\leq 14$ 岁)且具有完整规范的二维及三维经胸超声心动图检查图像资料者共计165例。心衰诊断标准根据心衰症状进行心功能分级<sup>[9]</sup>,婴幼儿ROSS分级 $\geq$ Ⅱ级,3~14岁参考NYHA分级 $\geq$ Ⅱ级。

### 1.2 超声心动图

应用Philip EPIQ7C超声诊断仪完成规范二维及三维超声心动图检查。回顾图像资料记录二维超声心动图测量左房前后径(LAD),左室舒张末期前后径(LVEDD),左室收缩末期前后径(LVESD),双平面辛普森法测量左室射血分数(LVEF)。记录连续波多普勒CW测量三尖瓣返流速度(TRV),M型测量三尖瓣环收缩期位移(TAPSE),组织多普勒测量二尖瓣环舒张期运动速率间隔测TDIse',侧壁测TDIle',计算平均E/

e'。选取具有核磁检查结果的患者资料共计50例,将三维超声原始数据应用Qlab14工作站进行脱机定量分析,应用DHM功能分析测量得到三维LVEDV及LVEF;应用AutoRV功能分析测量得到RVEDV及RVEF。

### 1.3 CT检查

需明确肺血管病变或主动脉及冠脉病变等具有心血管CT检查适应证患者,完成了血管造影(CTA)检查(螺旋扫描方式),对伴有内心畸形的患者采用心脏CTA检查(采用前瞻性心电门控扫描,采集时间窗为35%~75% R-R间期);扫描参数:管电压120 kV或100 kV,管电流400~500 mAs,扫描野(FOV)200 mm $\times$ 200 mm~250 mm $\times$ 250 mm;注入对比剂60~80 mL,注射流率为5~6 mL/s。

### 1.4 CMR检查

对于左、右心室功能减低需明确心肌组织学及病因学诊断患儿完成了CMR检查。患儿经充分镇静后使用一站式MRI扫描检查,仪器为Siemens Magnetom skyra 3.0T扫描仪,采用相控阵线圈。电影扫描采用bSSFP cine(两腔、四腔、多层短轴及心室流出道层面)。注射对比剂马根维显,注射对比剂15 min后行心肌延迟强化扫描,采用PSIR FLASH/bSSFP序列(两腔、四腔、多层短轴位)。使用Syngo.Via后处理工作站进行心功能分析及心室容积测量。

### 1.5 统计学处理

采用SPSS 26.0统计软件分析。计量资料进行正态性检验,符合正态分布者以 $\bar{X} \pm S$ 表示,采用独立样本 $t$ 检验;非正态分布以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,采用Mann-Whitney  $U$ 检验。三维超声测量左心功能参数与MRI测量参数之间的相关性通过Spearman检验分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

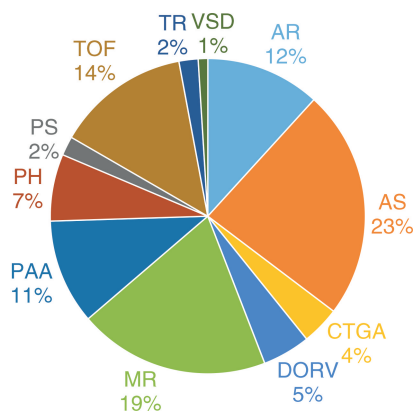
## 2 结果

### 2.1 一般情况

共计165例心衰儿童病例入组,基本资料见表1。男性60.0%,平均年龄73.2个月。其中左心衰竭为主115例,右心衰竭为主50例。心衰病因主要包括先天性心脏病105例(63.6%)和心肌病60例(36.4%),其中各病种分布情况见图1和图2所示。心肌病组扩张型心肌病占比最大,55%,其次为限制型心肌病18%,肥厚型心肌病占13%。先天性心脏病组最常导致左心衰病因为主动脉瓣狭窄占23%,其次为二尖瓣反流占19%,最常导致右心衰病因为法洛四联症术后外管道狭窄占14%。入组患儿的ROSS/NYHA心功能分级Ⅱ级38.2%,Ⅲ级41.2%,Ⅳ级20.6%。

表 1 入组患儿基线资料

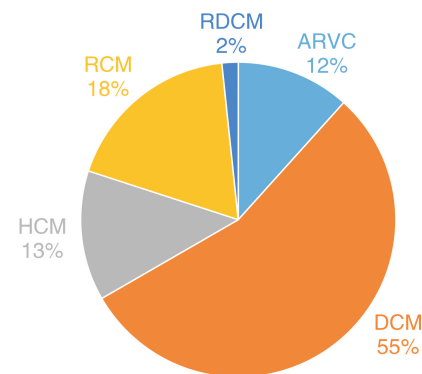
参数	总病例(165 例)	左心衰竭组(115 例)	右心衰竭组(50 例)	P
年龄/月	73.2(11.5,132.0)	65.6(9.0,120.0)	90.6(39.3,144.0)	0.01
男性/%	56.9	60.0	50.0	
Ross/NYHA 分级				
II	63(38.2)	32(27.8)	31(62.0)	
III	68(41.2)	48(41.7)	20(40.0)	
IV	34(20.6)	29(25.2)	5(10.0)	
身高/cm	117.5(89.5,146.0)	65.6(73,145)	133.8(117.0,151.3)	0.00
体重/kg	25.9(11.4,37.9)	22.61(8.4,35.7)	33.4(19.9,50.2)	0.00
BSA/m <sup>2</sup>	0.9±0.4	16.2±0.4	1.1±0.3	0.00
SBP/mmHg	96.3±1.0	0.8±10.1	99.6±9.0	0.00
DBP/mmHg	57.1±9.3	94.9±8.9	58.5±10.0	0.20
心率/(次/min)	109.0±21.2	56.5±22.6	100.9±14.9	0.00
病因学诊断				
先天性心脏病	105(63.6)	63(54.8)	42(84.0)	
心肌病	60(36.4)	52(45.2)	8(16.0)	
二维超声心动图				
LAD/mm	28.8±12.5	30.5±13.7	24.6±7.5	0.01
LVEDD/mm	42.8±15.0	44.9±16.1	38.1±10.5	0.01
LVESD/mm	31.2(20.0,38.3)	33.6(21.0,41.5)	25.6(19.5,28.5)	0.00
LVEF/%	54.4(31.3,70.8)	51.7(30.0,69.0)	60.6(54.0,73.0)	0.04
TRv/(m/s)	3.9(2.3,3.7)	4.1(2.4,3.4)	3.4(2.3,4.7)	0.56
TDI <sub>e</sub> e'	7.8(5.5,10.0)	9.1(7.0,10.3)	7.6(6.1,9.3)	0.15
TDI <sub>i</sub> e'	10.9(6.7,14.0)	10.5(6.6,13.5)	11.7(9.5,14.3)	0.06
E/e'	11.4(8.1,13.4)	12.4(8.9,15.4)	8.8(7.0,14.5)	0.00
TAPSE/mm	15.7(10.0,20.0)	17.8(16.0,20.0)	11.0(10.0,12.0)	0.02
CT 检查	73(44.2)	37(32.2)	36(72.0)	
CMR 检查	50(30.3)	38(33.0)	12(24.0)	
LVEDV-MRI/mL	148.2(58.9,239.6)	162.9(59.0,263.5)	109.5(56.7,139.5)	0.00
LVEF-MRI/%	39.5(24.5,56.5)	36.1(23.8,49.5)	48.8(40.3,60.5)	0.01
RVEDV-MRI/mL	114.6(60.2,139.0)	86.7(45.0,112.2)	149.4(94.0,182.6)	0.02
RVEF-MRI/%	37.1(27.0,46.7)	32.5(26.5,36.6)	43.4(26.3,52.3)	0.00



注:AS:主动脉瓣狭窄,AR:主动脉瓣反流,CTGA:矫正型大动脉转位,DORV:右室双出口,MR:二尖瓣关闭不全,PAA:肺动脉闭锁,PH:肺动脉高压,PS:肺动脉瓣及肺动脉狭窄,TOF:法洛氏四联症,TR:三尖瓣关闭不全,VSD:室间隔缺损。

图 1 先天性心脏病病因分布

Figure 1 Distribution of causes of congenital heart disease



DCM:扩张型心肌病左室受累型;RDCM:扩张型心肌病双室受累型;ARVC:致心律失常型右室心肌病;HCM:肥厚型心肌病;RCM:限制型心肌病。

图 2 心肌病患儿病种占比

Figure 2 Proportion of diseases in children with cardiomyopathy

## 2.2 CT 和 MRI 补充病因学诊断

165 例患儿中共 73 例完成了 CT 检查,占全部

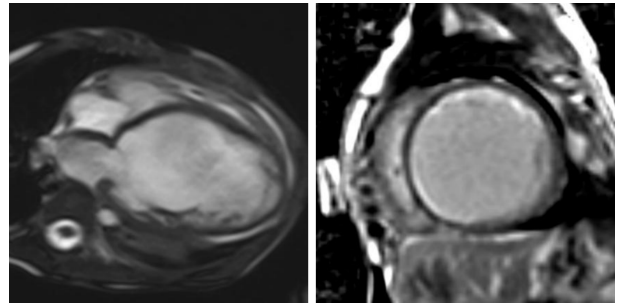
患者的 44.2%。其中 20.5% 通过 CT 检查补充了心衰病因学诊断,包括远端肺动脉分支狭窄 7 例、肺静脉分支狭窄 3 例、冠脉起源异常 3 例、主动脉弓部异常 2 例。50 例完成 CMR 检查,占全部患者的 30.3%,其中 12 例(24%)发现了心肌纤维化相关征象,进一步明确了病因学诊断。见图 3、4。



左图显示主动脉永存第 5 弓发育不良伴缩窄,右图显示肺动脉分叉环缩处及左右肺动脉开口重度狭窄。

图 3 CT 三维重建

Figure 3 CT three-dimensional reconstruction



四腔心及心室短轴左室扩大患儿左室壁心内膜广泛纤维化,诊断心内膜弹力纤维增生。

图 4 CMR 延迟强化

Figure 4 Delayed enhancement of CMR

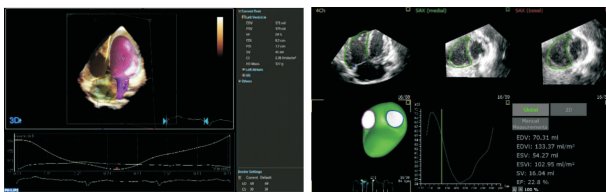
### 2.3 三维超声与 CMR 对左心室及右心室容积和射血分数的相关性分析

三维超声评估左右心室容积及心功能指标均与 CMR 结果显著相关,见表 2。包括 LVEDV,  $r = 0.914, P = 0.00$ ; LVEF,  $r = 0.871, P = 0.00$ ; RVEDV,  $r = 0.892, P = 0.00$ ; RVEF,  $r = 0.834, P = 0.00$ 。

表 2 三维超声心动图与 CMR 对心功能评估的相关性

Table 2 Three-dimensional echocardiography and CMR assessment of cardiac function  $M(P_{25}, P_{75})$

参数	三维超声	CMR	$r$	$P$
LVEDV/mL	111.8(46.5,152.2)	148.4(58.9,230.7)	0.914	0.00
LVEF/%	38.1(24.6,50.2)	40.0(25.2,57.5)	0.871	0.00
RVEDV/mL	86.1(38.1,124.5)	112.1(62.6,138.0)	0.892	0.00
RVEF/%	34.5(24.7,41.5)	34.1(26.7,40.9)	0.834	0.00



左图是 DHM 功能定量测量,右图是 AutoRV 定量测量。

图 5 应用三维超声定量分析

Figure 5 Three-dimensional ultrasonic quantitative analysis

### 3 讨论

本研究回顾性分析近期单中心救治的 165 例 14 岁以下心衰患儿的超声、CT 及 MRI 影像学资料,充分验证了多模态无创影像技术在儿童心衰患者中的重要价值。超声心动图作为一线首选的影像学方法,不仅可对心衰的病因做出诊断,还同时对患儿的左右心室功能、肺动脉压力进行评估,可协助临床制订诊疗方案,并可反复检查评估治疗效果和病情进展<sup>[1,14,16-18]</sup>。对于重症患儿,超声仪器可床旁检查,更在监护室救治过程中发挥了不可替代的优势。积极应用超声新技术如应变技术和三

维超声,可更准确敏锐地早期诊断心功能异常以及评估心室容积的变化<sup>[16]</sup>。对于超声心动图详细评估仍有疑问的结构,以及由于患儿声窗受限观察困难的病例,心血管 CT 强大空间分辨力可进行弥补<sup>[14,16-18]</sup>。婴幼儿患者心率快,对 CT 和 CMR 的心脏检查技术要求高,且检查前需要麻醉,只能在心衰患儿病情相对稳定时就检,检查时需要密切监护,因此就检率低,不能普遍开展<sup>[18]</sup>,只能作为对超声诊断和评估的补充。在本研究中 CTA 对肺动脉远心段病变、肺静脉病变、冠状动脉畸形及主动脉弓部异常进行了补充诊断,为临床诊疗提供了更丰富准确的信息。患儿依靠无创的多模态影像学可以明确心衰病因,在本研究中患儿中仅 6 例患儿应用了有创的心血管造影在无创多模态影像学初步诊断的基础上进一步评估肺动脉压力、肺血管阻力或观察确认冠状动脉开口的异常。对于心肌病患儿,有条件下病因诊断还需要结合基因诊断和核磁共振组织特征的分析,才能更准确地进行评估,制订更加个性化的诊疗方案。

在心衰患儿的临床超声检查中还需要警惕将

冠脉畸形造成的可外科矫治的病变误诊为心肌本身的疾病延误治疗,还要警惕将心肌病所导致的瓣膜继发返流误认为瓣膜病进行外科处理,这两种情况在本组患儿中均没有发生。在儿科超声诊断工作中还需要经常将患儿的超声指标测量值结合体表面积计算出 Z 值,帮助我们发现较为轻微的病变。

本研究的局限性在于资料为回顾性分析,超声检查时间与 CMR 检查时间点不同步,两组测量数据存在误差。本中心为国家心血管病中心,是儿童心脏移植和心室辅助救治中心,所收治患儿心功能Ⅲ级及以上占比较高(61.8%),既往接受过手术矫治本次入院需要再次手术救治的重症先心病患者占比较高,不能反映全国普通人群中儿童心衰患者的病因分布情况。

综上所述,有条件的情况下需要综合运用多种无创影像学评估,以明确儿童心衰的病因,及时给予最合理的治疗方案,有效挽救患儿,改善其生存质量。超声心动图诊断医师需要不断积累经验并积极运用新技术,在救治儿童心衰患者中发挥重要作用。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 中华医学会儿科学会心血管学组. 儿童心力衰竭诊断和治疗建议(2020年修订版)[J]. 中华儿科杂志, 2021, 59(2): 84-94.
- [2] 李源欣. 儿童心力衰竭的诊治进展[J]. 中国处方药, 2019, 17(3): 15-17.
- [3] 游贤惠, 王大为. 儿童心力衰竭的预后及影响因素[J]. 实用儿科临床杂志, 2000, 30(5): 273-274.
- [4] Nakano SJ, Miyamoto SD, Price JF, et al. Pediatric heart failure; an evolving public health concern[J]. J Pediatr, 2020, 218: 217-221.
- [5] Rossano JW, Kim JJ, Decker JA, et al. Prevalence, morbidity, and mortality of heart failure-related hospitalizations in children in the United States; a population-based study[J]. J Card Fail, 2012, 18: 459-470.
- [6] 钱明阳, 洪钿. 儿童心力衰竭的诊断与治疗进展[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2020, 35(1): 14-18.
- [7] Hinton RB, Ware SM. Heart failure in pediatric patients with congenital heart disease[J]. Circ Res, 2017, 120(6): 978-994.
- [8] Monda E, Lioncino M, Pacileo R, et al. Advanced heart failure in special population-pediatric age[J]. Heart Fail Clin, 2021, 17(4): 673-683.
- [9] Mille F, Burstein D. Diagnosis and management of pediatric heart failure[J]. Indian J Pediatr, 2023, 90(5): 492-500.
- [10] Bhowmik E, De AK, Mukherjee S. Etiological spectrum of heart failure in pediatric population[J]. Indian J Pediatric, 2015, 82(5): 482.
- [11] Masarone D, Valente F, Rubino M, et al. Pediatric heart failure: a practical guide to diagnosis and management[J]. Pediatr Neonatol, 2017, 58(4): 303-312.
- [12] Daly KP, Zuckerman WA. The Burden of pediatric heart failure that lies just under the surface[J]. J Am Coll Cardiol, 2022, 79(19): 1929-1931.
- [13] Wall JB, Garcia AM, Jacobsen RM, et al. Important considerations in pediatric heart failure[J]. Curr Cardiol Rep, 2020, 22(11): 141.
- [14] Watanabe K, Shih R. Update of pediatric heart failure[J]. Pediatr Clin North Am, 2020, 67(5): 889-901.
- [15] Chandrasekar H, Kaufman BD, Beattie MJ, et al. Abbreviated cardiac magnetic resonance imaging versus echocardiography for interval assessment of systolic function in Duchenne muscular dystrophy: patient satisfaction, clinical utility, and image quality[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2023, 10: 13.
- [16] 饶莉. 先天性心脏病无创影像学诊断进展[J]. 心血管病学进展, 2008, 20(3): 341-343.
- [17] 戴汝平. 优势互补提高先天性心脏病影像诊断水平[J]. 中华放射学杂志, 1999, 10(11): 4.
- [18] 刘辉佳, 张雪宁. 小儿先天性心脏病影像学诊断的研究进展[J]. 中国妇幼保健, 2021, 36(2): 482-484.
- [19] 陆敏杰, 赵世华. 磁共振在复杂先天性心脏病诊断中的价值[J]. 心血管病学进展, 2010, 31(5): 652-655.

(收稿日期: 2023-11-13)