

# 超声心动图定量评估儿童心肌功能的应用进展

樊 利 杨春江

**摘 要** 由于儿童心肌结构、功能差异性大,运动复杂,早期无创定量监测儿童心肌功能对改善心脏疾病患儿预后非常关键,也是目前临床工作中的难点。超声能间接反映心肌细胞可能存在的结构功能改变,具有潜在的应用价值。本文就常规超声心动图、实时三维超声心动图、斑点追踪超声心动图、血流向量成像技术、超声造影等对儿童心脏疾病各房室功能的定量评价进展进行综述。

**关键词** 超声心动描记术,三维,实时;斑点追踪;血流向量成像;心肌声学造影;心房功能;心室功能;儿童  
[中图分类号]R540.45 [文献标识码]A

## Application progress of echocardiography in the quantitative assessment of myocardial function in children

FAN Li, YANG Chunjiang

Department of Ultrasound, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China

**ABSTRACT** Due to the complexity of children's myocardial structure and movements, assess children's myocardial function early in a non-invasive and quantitative technology is very critical, and it is also a difficult point at present in clinical work. Ultrasound has potential application value and can indirectly reflect the possible structural functional changes of cardiomyocytes. This article reviews the current status of conventional echocardiography, real-time three dimensional echocardiography, speckle tracking echocardiography, vector flow mapping technology, contrast-enhanced ultrasound in the quantitative assessment of atrioventricular function in children with different heart diseases.

**KEY WORDS** Echocardiography, three-dimensional, real-time; Speckle tracking; Blood vector flow mapping; Myocardial contrast echocardiography; Atrial function; Ventricular function; Children

儿童心肌功能具有生长特异性,心肌损伤可能导致心肌原纤维发生不同程度的局灶性破坏、间质纤维化等非特异性病理改变,继而出现心脏舒缩功能障碍,进展期可发展为心力衰竭<sup>[1]</sup>。儿童心肌功能的早期筛查和预后评估是临床亟待解决的难题,常用检测方法为心血管影像学检查、血清学检测及心电生理检测等。血清学检测和心电生理检测易受多种干扰因素影响,可能出现假阳性和假阴性,而超声心动图和心脏MRI能实时、客观、准确地显示心脏解剖功能改变。但心脏MRI操作复杂、费用高、噪音大,儿童难以配合,其在儿科临床应用受限;超声具有安全、便捷的优点,更适用于儿童心脏结构功能的常规随访监测。近年随着超声技术的迅速发展,常规超声心动图、实时三维超声心动图(RT-3DE),斑点追踪超声心动图(STE)、血流向量成像(VFM)技术、超声造影等在儿童心肌功能

评价方面均有较好价值,本文就上述各技术在儿童心脏疾病各房室功能定量评价中的应用进展进行综述。

### 一、超声心动图对左室功能的评估

1. 常规超声心动图:其是评估儿童心脏解剖结构改变及心肌舒缩功能的首选检查方法。左室射血分数(LVEF)是评估左室收缩功能的常用超声指标,目前认为化疗后LVEF下降10%以上或低于53%,或无论基线如何化疗后出现临床症状伴LVEF下降5%即可诊断肿瘤治疗相关心功能障碍<sup>[1]</sup>。组织多普勒超声测得的Tei指数可早期评价左室整体功能,且不受年龄、心率、心室几何形态、瓣膜反流等因素的影响<sup>[2]</sup>。陈娇等<sup>[3]</sup>发现左室心肌致密化不全患儿Tei指数较正常对照组显著升高(0.50±0.09 vs. 0.41±0.06),差异有统计学意义( $P<0.05$ )。常规超声心动图亦可通过评估左室功能相关参数预测心血管事件, EI

基金项目:重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2017shmsA130082)

作者单位:400014 重庆市,重庆医科大学附属儿童医院超声科

通讯作者:杨春江, Email:419563452@qq.com

等<sup>[4]</sup>研究发现,肥厚性心肌病患儿左室流出道压力梯度 $>30\text{ mm Hg}$ ( $1\text{ mm Hg}=0.133\text{ kPa}$ )时,其发生心血管事件的风险是压力梯度 $<30\text{ mm Hg}$ 患儿的 5 倍。常规超声心动图价格低、可行性佳、无创伤,但其对图像的分析基于几何假设,可能受操作者经验和仪器影响,检测准确性欠佳。

2.RT-3DE:其可获得左室全容积图像,实时描绘左室容积-时间曲线,量化评估房室各腔容量、心肌质量、心肌收缩同步性、室壁运动、心脏三维负荷成像等。Xu 等<sup>[5]</sup>对 105 例健康新生儿心脏进行扫查,发现最小区域收缩体积点的时间标准差和最大差值均可用于评估新生儿心脏功能收缩同步性,且不受年龄、性别、胎龄、出生体质量的影响。Wang 等<sup>[6]</sup>研究纳入 70 例年龄、性别相匹配的健康儿童与 70 例川崎病患儿,发现健康儿童、无冠状动脉瘤的川崎病患儿及有冠状动脉瘤的川崎病患儿左室收缩期、舒张期不同步指数依次升高,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),表明 RT-3DE 是评估心脏缺陷、心肌病或心律失常的有效手段,但目前其在儿童相关领域中的研究数据较少,仍需进一步探讨。

3.STE:STE 通过跟踪心肌运动能较敏感地定量分析心肌整体纵向、径向和周向的幅度、速率、扭转程度,准确评价儿童不同方向的整体心肌状态<sup>[1]</sup>。左室整体纵向应变(GLS)能准确评估儿童左室功能,其绝对值越低,提示左室整体功能受损越严重。Levy 等<sup>[7]</sup>研究应用三维 STE(3D-STE)分析 2325 例健康儿童心脏功能,提出左室 GLS 正常值为 $-16.7\%\sim-23.6\%$ (平均 $-20.2\%$ )。有学者<sup>[8]</sup>发现,肥胖儿童发生心肌缺血时,最先累及心内膜,导致其 GLS 减低,与健康儿童比较差异有统计学意义 $[(-17.88\pm 3.17)\% \text{ vs. } (-21.5\pm 2.87)\%, P<0.05]$ 。另外,左室 GLS 降低是监测化疗后心脏毒性的最强预测因子, Akam-Venkata 等<sup>[9]</sup>随访 41 例蒽环类药物化疗后儿童的心肌节段应变参数,发现化疗性心肌病患儿左室 GLS 和整体圆周应变均较正常儿童减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.001$ )。有学者<sup>[10]</sup>发现肥厚性心肌病患儿在心肌收缩功能受损或存在左室流出道梗阻时可见左室扭转增强,在心肌重塑、心肌纤维化时可见左室顺应性下降;且与同龄健康儿童比较,左室整体扭转角度和速度均显著升高,解旋速度和解旋率均显著降低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。表明 3D-STE 可通过评估左室扭转较好地评价左室亚临床功能障碍。另外,将左室内膜分为 16、17、18 个节段后,STE 可根据室壁运动评分指数绘制牛眼图,提供左室局部收缩功能信息,反映冠状动脉灌注情况,早期发现心肌缺血。Poterucha 等<sup>[11]</sup>通过分析化疗后儿童左室心肌各节段应变发现各节段受损程度不一,以心尖部受损最为严重。由于二维 STE(2D-STE)检测心肌功能会受压力负荷影响,后负荷增加时 GLS 等参数的诊断效能可能降低<sup>[12]</sup>,因此联合左室压力与左室心肌应变有望成为一种新的心肌功能定量评估方法。Pham 等<sup>[13]</sup>纳入 212 例健康儿童建立左室整体心肌做功指数正常参考值,整体心肌做功指数为 $(1688\pm 219)\text{ mm Hg}\%$ ,平均做功率为 $(96.5\pm 1.4)\%$ ,且整体心肌做功指数与左室 GLS、收缩压均显著相关( $\beta=0.62, 0.65$ , 均 $P<0.001$ )。

4.VFM 技术:其是在回声动力学基础上结合彩色多普勒成像和散斑跟踪分析,通过心尖三腔视图获得涡流、循环、能量损耗(EL)及室壁剪应力等指标,可量化心腔内血流动力学变化。Hayashi 等<sup>[14]</sup>研究发现 64 例健康儿童左室收缩期和舒张期平均 EL 与心率均呈正相关,与年龄均呈负相关(均 $P<0.001$ ),舒张期 EL 与 E 波峰值速度呈正相关( $P<0.001$ ),提示 EL 有望用于早期识别儿童心脏血流动力学改变。另外,由于血流改变,VFM 技术可定量评估房间隔缺损、室间隔缺损患儿左室 EL,右室压力升高是增加左室 EL 的因素之一<sup>[15]</sup>。

5. 超声造影:其可实时评估心内膜、瓣膜、心肌灌注情况,识别心肌质量、血栓、先天性心脏病、心室内肿瘤、血管畸形等<sup>[16]</sup>。如儿童左室心肌致密化不全超声造影可见心室内异常粗大的肌小梁和交错的深隐窝,以及心肌小梁间隙隐窝与心室腔相通的低速血流、左室心尖部结构异常、心室内血栓等。另外,超声造影可利用左室心腔造影计算室壁运动计分指数,利用心肌造影计算心肌灌注指数<sup>[17]</sup>,亦可评估微血管的完整性。Fine 等<sup>[18]</sup>研究发现超声造影评估心脏移植后患儿心血管病变的敏感性和特异性分别为 60% 和 94%。Kutty 等<sup>[19]</sup>随访观察 113 例心脏疾病儿童的心脏超声造影检查情况,发现心脏超声造影对大多数儿童是安全的。但因缺乏相关临床数据,目前在 5 岁以下儿童及部分右向左分流的先天性心脏病患儿中应用受限。

## 二、超声心动图对左房功能的评估

1. 常规超声心动图:左房是肺循环和体循环的交汇点,左房功能可较好地反映左室舒张功能,左房容积指数、肺静脉血流频谱对于评估左室舒张功能障碍及射血分数保留的心力衰竭至关重要<sup>[20]</sup>。Agarwal 等<sup>[21]</sup>研究发现 50 例心肌病患儿经心导管术测得的左房压力与左房容积指数呈线性关系( $r=0.63$ ,  $P<0.001$ )。左房容积指数代表左室充盈压,左房容积指数 $>34\text{ ml/m}^2$ 多提示左室舒张功能障碍。由于左房整体位置偏后且形态不规则,常规超声心动图观察角度有限,目前其对左房功能的评价仅局限于对整体左心功能的评价。

2.RT-3DE:该技术不依赖几何假设即可直接定量评估心房容积、功能,且与心脏 MRI 测量结果相关性高,健康儿童左房相关数据可参考 Linden 等<sup>[22]</sup>研究结果。但目前儿童左房 RT-3DE 研究数据有限, Menon 等<sup>[23]</sup>发现接受蒽环类化疗药物后儿童左房最大体积、左房储存功能和管道功能、膨胀指数、被动排空指数均显著低于健康对照组(均 $P<0.05$ ),表明 RT-3DE 可准确评估左房体积和功能,有望用于早期预测化疗药物对儿童的心脏毒性。

3.STE:STE 测量参数中 GLS 能较好地反映早期左房舒张功能的改变,但径向及圆周应变的应用价值尚有争议<sup>[23]</sup>。Patel 等<sup>[24]</sup>评估 55 例接受蒽环类药物化疗后儿童左房功能状态,发现化疗后左房射血分数、GLS 和整体纵向峰值应变率均较化疗前降低,但差异均无统计学意义。而 Loar 等<sup>[25]</sup>发现接受 1 年以上蒽环类药物化疗儿童的 LVEF、左室大小、左房体积与左房应变均无相关性,但其左房存储期应变和导管期应变均较低,且

蒽环类药物暴露剂量 $\geq 250 \text{ mg/m}^2$ 的患儿较暴露剂量 $< 250 \text{ mg/m}^2$ 的患儿左房储存期应变值低(34.3% vs. 37.4%,  $P < 0.05$ ),提示左房应变对监测肿瘤治疗相关心功能不全有一定价值。目前大多关于左房应变的研究均使用左室应变分析软件,左房应变分析已成为预测成人心力衰竭的有效指标,但最新简化版左房应变专用软件对儿童心肌功能的相关研究甚少,未来需进一步探索。

4.VFM技术:其通过监测左房内血流流场的变化在二维平面上观察左房内血流涡流的形态及变化,预测心房颤动和左房血栓形成。联合STE技术亦可评估左房心肌功能和血流能量损耗<sup>[26]</sup>。目前VFM技术的相关研究主要集中于成人左室,儿童领域心房的相关研究数据非常少,有待进一步探索。

### 三、超声心动图对右心功能的评估

1.常规超声心动图:右房、右室功能与心肺疾病密切相关,可用于评估肺动脉高压患者、致心律失常性右室心肌病患者、扩张性心肌病患者右室改变和心肌淀粉样改变等<sup>[27]</sup>。Tei指数、三尖瓣环收缩期位移、组织多普勒三尖瓣环S'和右室面积变化分数均可反映右室整体收缩功能,其中三尖瓣环收缩期位移 $< 17 \text{ mm}$ 多提示右室纵向收缩功能减低<sup>[28]</sup>。肺动脉血流加速时间、右室射血时间亦可监测肺纤维化患儿早期右室功能改变。但右室位置靠后,且几何形状复杂,常规超声心动图在儿童右室量化评估中往往存在低估。

2.RT-3DE: Laser等<sup>[29]</sup>对比分析360例不同年龄段健康儿童RT-3DE与心脏MRI测得的右室参数,发现两者在右室体积测量方面相关性高( $r = 0.989, 0.993$ , 均 $P < 0.05$ ),并获得了右室体积、右室射血分数、三尖瓣环收缩期位移和右室线性结构大小等在不同年龄、性别间的参考百分位曲线。肺动脉高压患儿右室功能的进行性恶化可使右室衰竭,导致患儿死亡,故早期评估右室功能变化非常重要。Frank等<sup>[30]</sup>使用右房面积变化百分数观察肺动脉高压患儿右房排空随时间的变化,发现右房功能的代偿性变化可能早于肺动脉高压中右室功能障碍,即右房面积变化百分数有望反映右室舒张末期压力的早期变化。

3.STE: Pieles等<sup>[31]</sup>回顾分析120例致心律失常性右室心肌病青少年的心功能指标,发现右室GLS诊断该疾病的截断值为 $-20.4\%$ (敏感性52.6%,特异性100%),且右室GLS每变差一个单位使致心律失常性右室心肌病的发生可能性增加22.8%。右室GLS亦可用于监测肿瘤患儿化疗后心脏毒性,而右室游离壁长轴应变因右室心肌较薄,易发生重构,可用于评估右心衰、肺动脉高压等预后情况。此外,3D-STE能在三维容积内更可靠地追踪右室心肌运动,评估解剖改变及应变,规避肥胖及肺动脉高压患儿心内膜显影欠清晰的缺陷。

4.VFM技术: Chen等<sup>[32]</sup>研究显示EL与右室GLS呈负相关,与心率和右室Tei指数均呈正相关(均 $P < 0.05$ ),提示VFM技术有望提高儿童心肺疾病的血流动力学监测价值。Shibata等<sup>[33]</sup>研究发现法洛四联症修复术后患儿的血流EL显著高于健康儿童,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),表明右室血流EL可能是右室功能障碍的预测参数。准确评估肺动脉反流程度对选择法洛

四联症手术时机非常重要,VFM技术衍生而来的肺动脉反流率已成功用于定量评估成人肺动脉反流严重程度,但其在儿童领域相关研究较少。

5.超声造影:右心声学造影可以改善右室心肌灌注、心肌做功的可视化,提高对静息或运动状态下瓣膜压力梯度、右室收缩压的测量准确性,从而量化心室功能<sup>[21]</sup>。Kutty等<sup>[34]</sup>发现超声造影可提高先天性心脏病青少年患者右室心肌的可视化,与常规超声心动图显示节段比较,差异有统计学意义( $P < 0.001$ ),表明超声造影有利于全面评估青少年心脏功能改变。

### 四、总结

总之,超声心动图在儿童心肌功能评估中具有重要价值,尤其是STE,虽然目前缺乏对儿童左房、右室心肌应变的后处理软件包及正常参考值,但其能通过各节段心肌应变及左室扭转等参数早期定量评估儿童心肌。随着图像后处理技术的不断发展,未来将有更多的研究聚焦于儿童左房、右室及心肌各节段的定量分析,以及心肌功能及心腔内血流动力学的关系,以期临床提供更多的高效评估指标和影像学信息,早期全面评估儿童心肌功能。

### 参考文献

- [1] Delgado V, Ajmone MN. Global and regional longitudinal strain assessment in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(8): e009586.
- [2] 吕媛媛, 陈贻珊, 刘大庆, 等. 7~14岁儿童青少年心脏形态结构功能发育特点及评价敏感指标筛选[J]. *北京体育大学学报*, 2017, 40(4): 44-48.
- [3] 陈娇, 谢亮, 刘瀚旻, 等. 超声对儿童孤立性左心室心肌致密化不全整体左心功能的评价[J]. *西部医学*, 2018, 30(8): 1214-1217.
- [4] El AI, Gauvreau K, Rizwan R, et al. Value of exercise stress echocardiography in children with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(7): 888-894.
- [5] Xu M, Ren W, Xiong F, et al. Evaluating left ventricular systolic synchronicity with real-time 3D echocardiography in newborns [J]. *Pediatr Cardiol*, 2021, 42(5): 1200-1208.
- [6] Wang H, Song Y, Mu J, et al. Left ventricular systolic dyssynchrony in patients with Kawasaki disease a real-time three-dimensional echocardiography study [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(10): 1941-1951.
- [7] Levy PT, Machevsky A, Sanchez AA, et al. Reference ranges of left ventricular strain measures by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in children: a systematic review and Meta-analysis [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(3): 209-225.
- [8] 邓艺雯, 章春泉, 许燕, 等. 三维斑点追踪技术评估单纯性肥胖儿童左室心肌应变早期变化[J]. *中国超声医学杂志*, 2018, 34(3): 217-220.
- [9] Akam-Venkata J, Kadiu G, Galas J, et al. Left ventricle segmental function in childhood cancer survivors using speckle-tracking echocardiography [J]. *Cardiol Young*, 2019, 29(12): 1494-1500.
- [10] 姜逊渭, 孙兴华, 张晗, 等. 儿童肥厚型心肌病患者左室扭转功

- 能及收缩同步性的变化[J].上海交通大学学报(医学版),2020,40(7):930-935.
- [11] Poterucha JT, Kutty S, Lindquist RK, et al. Changes in left ventricular longitudinal strain with anthracycline chemotherapy in adolescents precede subsequent decreased left ventricular ejection fraction[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2012, 25(7):733-740.
- [12] Chan J, Edwards N, Khandheria BK, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(1):31-39.
- [13] Pham T, Truong VT, Vu PN, et al. Echocardiographic reference ranges of non-invasive myocardial work indices in children[J]. Pediatr Cardiol, 2022, 43(1):82-91.
- [14] Hayashi T, Itatani K, Inuzuka R, et al. Dissipative energy loss within the left ventricle detected by vector flow mapping in children: normal values and effects of age and heart rate[J]. J Cardiol, 2015, 66(5):403-410.
- [15] Honda T, Itatani K, Takanashi M, et al. Exploring energy loss by vector flow mapping in children with ventricular septal defect pathophysiologic significance [J]. Int J Cardiol, 2017, 244(10):143-150.
- [16] Kutty S, Biko DM, Goldberg AB, et al. Contrast-enhanced ultrasound in pediatric echocardiography [J]. Pediatr Radiol, 2021, 51(12):2408-2417.
- [17] 唐红.《超声增强剂在超声心动图中的临床应用2018美国超声心动图指南更新》及《心脏超声增强剂临床应用规范专家共识》解读[J].西部医学,2020,32(4):492-495.
- [18] Fine NM, Greenway SC, Mulvagh SL, et al. Feasibility of real-time myocardial contrast echocardiography to detect cardiac allograft vasculopathy in pediatric heart transplant recipients [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2021, 34(5):503-510.
- [19] Kutty S, Xiao Y, Olson J, et al. Safety and efficacy of cardiac ultrasound contrast in children and adolescents for resting and stress echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2016, 29(7):655-662.
- [20] Thomas L, Marwick TH, Popescu BA, et al. Left atrial structure and function, and left ventricular diastolic dysfunction JACC state-of-the-art review[J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(15):1961-1977.
- [21] Agarwal A, Lam S, Li H, et al. Association of left atrial pressure with left atrial volume and N-terminal prohormone brain natriuretic peptide in children with cardiomyopathy [J]. Cardiol Young, 2018, 28(11):1333-1337.
- [22] Linden K, Goldschmidt F, Laser KT, et al. Left atrial volumes and phasic function in healthy children reference values using real-time three-dimensional echocardiography [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(8):1036-1045.
- [23] Menon D, Kadiu G, Sanil Y, et al. Anthracycline treatment and left atrial function in children: a real-time 3-dimensional echocardiographic study[J]. Pediatr Cardiol, 2022, 43(3):645-654.
- [24] Patel NR, Chyu CK, Satou GM, et al. Left atrial function in children and young adult cancer survivors treated with anthracyclines [J]. Echocardiography, 2018, 35(10):1649-1656.
- [25] Loar RW, Colquitt JL, Rainusso NC, et al. Assessing the left atrium of childhood cancer survivors[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2021, 37(1):155-162.
- [26] 刘娟,尹立雪,孟庆国,等.超声血流向量成像联合二维组织追踪技术评价心房颤动患者左心房心肌功能及血流能量损耗[J].中国医学影像技术,2020,36(5):680-685.
- [27] Badano LP, Kolias TJ, Muraru D, et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(6):591-600.
- [28] 何洁欣,张莹.超声心动图评估右心室功能的应用进展[J].岭南心血管病杂志,2021,27(4):504-507.
- [29] Laser KT, Karabiyik A, Korperich H, et al. Validation and reference values for three-dimensional echocardiographic right ventricular volumetry in children: a multicenter study[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2018, 31(9):1050-1063.
- [30] Frank BS, Schafer M, Thomas TM, et al. Longitudinal assessment of right atrial conduit fraction provides additional insight to predict adverse events in pediatric pulmonary hypertension[J]. Int J Cardiol, 2021, 329(4):242-245.
- [31] Pieleas GE, Grosse-Wortmann L, Hader M, et al. Association of echocardiographic parameters of right ventricular remodeling and myocardial performance with modified task force criteria in adolescents with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy [J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2019, 12(4):e7693.
- [32] Chen Z, Li Y, Li C, et al. Right ventricular dissipative energy loss detected by vector flow mapping in children characteristics of normal values[J]. J Ultrasound Med, 2019, 38(1):131-140.
- [33] Shibata M, Itatani K, Hayashi T, et al. Flow energy loss as a predictive parameter for right ventricular deterioration caused by pulmonary regurgitation after tetralogy of fallot repair [J]. Pediatr Cardiol, 2018, 39(4):731-742.
- [34] Kutty S, Olson J, Danford CJ, et al. Ultrasound contrast and real-time perfusion in conjunction with supine bicycle stress echocardiography for comprehensive evaluation of surgically corrected congenital heart disease[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2012, 13(6):500-509.

(收稿日期:2021-12-03)