

综述

超声心动图技术在高血压儿童心脏评估中的应用进展

吴毓俭, 孙 锟

上海交通大学医学院附属新华医院小儿心血管科, 上海 200092

[摘要] 儿童期高血压的检出率在全球范围内呈不断上升的趋势, 而高血压对心脏的损害因直接影响预后而备受关注。超声心动图是评价心脏结构和功能最常用的检查方法。在传统技术的基础上, 其近年来出现的新方法与新技术也逐渐应用于临床, 并表现出各自的优势与价值。该文就超声心动图技术在高血压儿童心脏评估方面的应用及进展作一综述。

[关键词] 超声心动图; 高血压; 儿童

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.12.017 **[中图分类号]** R 445.1; R725.404 **[文献标志码]** A

Progress on application of echocardiography in cardiac assessment for hypertensive children

WU Yu-jian, SUN Kun

Department of Pediatric Cardiology, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China

[Abstract] The detection rate of childhood hypertension is on the rise all over the world and the damage of hypertension to heart has been paid enormous attention for its direct influence on prognosis. Echocardiography is routinely used to evaluate cardiac structure and function. On the basis of the traditional techniques, some new ultrasound imaging techniques have continuously applied in clinic in recent years and shown their respective advantages and values. This article reviewed the application and progress of echocardiography in cardiac assessment for hypertensive children.

[Key words] echocardiography; hypertension; children

我国约有 2.9 亿高血压患者, 是名副其实的高血压人口大国。而随着饮食与生活模式的改变, 儿童期高血压的发病率也逐渐升高, 并有部分患儿早期出现心脏靶器官损害^[1]。流行病学研究^[2]证实, 血压的发展存在“轨迹现象”, 儿童期血压偏高的个体, 最终发展为成年期高血压患者及出现心血管不良事件的概率都明显升高。因此, 儿童心脏结构与功能的早期检测显得尤为重要, 这有助于评价病情、判断预后并合理选择临床干预节点, 从而将高血压防治窗口下移至儿童人群。

在临床工作中, 超声心动图因其无创、便捷、准确的特点, 常作为心脏结构与功能评估的首选检查手段。超声心动图技术评估高血压性心脏损害的相关报道以往多聚焦于成人领域, 而针对儿童的研究在近年来也逐渐成为国内外学者关注的热点。本文就超声心动图在高血压儿童心脏评估方面的应用及最新进展作一综述。

1 M 型、二维与多普勒超声心动图

M 型超声心动图是最先使用的一项超声心动图技术,

采用单声束进行扫描, 回声光点群形成曲线从而反映心脏及大血管的运动信息, 现已较少单独应用。二维超声心动图则是通过多条声束的回声, 形成与心脏解剖对应的二维切面图像, 能够即时动态地观察心脏形态和活动状态, 是其他类型超声心动图的图像基础。多普勒超声心动图一般包括频谱多普勒及彩色多普勒血流显像, 通过探测红细胞运动产生的声波频移, 应用多普勒原理进行信号的计算转换, 可视化地实时显示血流的方向及速度。在临床操作中, 通常将这几种技术结合使用, 在二维显像的基础上对需要测量的部位启用 M 型超声检查, 辅以多普勒技术检测血流信号, 从而更准确地反映室壁和血流的运动情况及心内结构。

在心脏评估方面, M 型、二维与多普勒超声心动图已经成为最常用的无创性检查手段。在检查过程中, 通过不同切面的扫查, 可以多角度地观察心腔、瓣膜及大动脉的形态和结构; 多普勒超声心动图则能观察各瓣膜的前向血流及反流情况; 通过测量左心室壁及室间隔厚度、左心房及左室内径等, 可以判断高血压儿童是否伴有心脏扩大、室壁肥厚等心脏结构改变; 测算左心室短轴缩短百分

[作者简介] 吴毓俭 (1994—), 男, 博士生; 电子信箱: wuyujian299@163.com。

[通信作者] 孙 锟, 电子信箱: kunsun@yahoo.com.cn。



率 (shortening fraction, FS)、射血分数 (ejection fraction, EF) 可评估左心室收缩功能; 测量左心室等容舒张时间 (isovolumetric relaxation time, IRT) 可反映左心室舒张功能。以上各方法和指标已在临床中得到了广泛的认可及应用。

值得注意的是, 左心室肥大 (left ventricular hypertrophy, LVH) 是儿童高血压最常见的心脏靶器官损害。相继有研究^[3-5]显示: 在高血压儿童人群中, LVH 的检出率可达 16% ~ 41%, 其发生的风险可能与血压升高的程度有关, 并可作为药物治疗高血压的适应证之一; 而超声心动图检查对于诊断 LVH 有着不可替代的作用。通过超声心动图检查, 利用 Deiereux 公式计算左心室质量 (left ventricular mass, LVM), 并利用体表面积校正得到左心室质量指数 (left ventricular mass index, LVMI), 是当前较为普遍使用的判断有无 LVH 的方法。多项研究^[6-9]均证实, 与血压正常的对照组相比, LVMI 在高血压 (包括高血压前期) 儿童中显著升高。一项随访 25 年的队列研究^[10]显示, 未成年时期的 LVH 与成年后心血管疾病不良结局具有独立和显著的相关性。2017 年美国《儿童青少年高血压筛查与管理临床实践指南》^[11]建议, 高血压患儿应接受超声心动图检查, 诊断是否存在 LVH, 并可用于定期复查以监测心脏功能的改善或进展情况。

由此可见, M 型、二维与多普勒超声心动图仍然是高血压儿童心脏检查与评估中不可或缺的重要工具。同时, 随着超声硬件设备与计算机软件不断发展, 近年来不断涌现出新的超声心动图技术, 进一步补充完善了心脏彩超检查的检测范围与能力。

2 Tei 指数

日本学者 Tei 于 1995 年首先提出心肌做功指数 (myocardial performance index, MPA), 故该指数又被称为 Tei 指数。其定义为 IRT 与等容收缩时间 (isovolumetric contraction time, ICT) 之和除以心室射血时间 (ejection time, ET) 所得比值。Tei 指数可综合评价心脏收缩与舒张的整体功能, 操作简单、对图像质量要求不高, 且受到心率波动的影响较小^[12]。

新生儿出生后 1 个月内, Tei 指数出现明显的降低趋势, 其变化幅度在一定程度上反映了新生儿心肌成熟、血流动力学逐渐稳定的过程^[13]。3 岁以后, Tei 指数则基本保持稳定。有研究^[14]显示, 成人高血压患者合并向心性肥厚或偏心性肥厚时, 其 Tei 指数高于单纯高血压患者。但 Karaye 等人^[15]却认为, 左心室几何形态的改变 (心室

肥厚或心室重构) 与否, 并不会引起高血压患者 Tei 指数的明显差异。Gupta-Malhotra 等人^[16]针对高血压儿童患者的研究发现, 原发性高血压儿童的 24 h 动态血压测量平均值每升高 10 个单位, 其 Tei 指数则随之升高 0.14 个单位; 不过作者同时指出, 仅依赖 Tei 指数无法鉴别原发性高血压与白大衣高血压儿童。此外, 在评估儿童心力衰竭严重程度方面, Tei 指数被认为是一个较好的预测模型^[17], 但在高血压人群评估方面尚无明确结论。

作为一个能够反映心脏整体功能的指标, Tei 指数测量便捷、可重复性高, 在儿童心彩色超声检查中具有一定优势。但由于无法诊断单纯的心脏舒张或收缩功能异常, Tei 指数在高血压儿童心功能评估中的应用仍十分有限。

3 超声背向散射

超声背向散射积分 (integrated backscatter, IBS) 是一项以声学密度定量检测为基础的技术。超声波在介质中传播, 遇到远小于其波长的界面时, 回声发生散射, 朝向探头方向并被接收的超声束即为背向散射, 对其进行积分即可得到 IBS 值。超微组织结构的变化达到一定程度时可引起 IBS 的改变, 故而通过该技术可以分析心脏组织病理变化的有无、类型及程度。

高血压性心脏病早期的病理变化是心肌胶原纤维的异常增多、沉积。运用 IBS 技术可以便捷地分析心肌胶原纤维网络, 从而评估高血压患者左心室重构, 并在指导患者预后方面有一定作用^[18]。Maceira 等^[19]认为, 联合分析高血压患者的超声 IBS 参数与血清 I 型前胶原检测值, 有助于诊断重度心肌纤维化。在儿科领域, 人们也逐渐应用 IBS 技术对儿童心肌纤维化程度进行定量分析^[20-21]。此外, 一些研究^[22]发现高血压患者经过长期药物治疗后, 原本降低的背向散射积分心动周期变化幅度 (cyclic variation in integrated backscatter, CVIB) 缓慢回升, 舒张功能也得到了不同程度的恢复, 提示 IBS 技术可以早期发现心肌纤维的可逆性改变。

在高血压儿童患者中, IBS 技术目前应用较少, 但有着广阔的前景。它能早期识别心肌纤维沉积, 有望成为临床治疗决策的参考依据, 帮助患儿在心脏永久损伤形成之前, 纠正可逆性的心肌重构; 并且在评估病变程度和治疗效果、评估预后和识别高危群体方面, 也能发挥作用。但是, 由于在检查操作中对测量角度要求较高, 在数据处理时较为复杂, 在结果分析上缺乏统一的标准, IBS 技术的广泛应用尚需各方面的努力与改进。

4 组织多普勒技术

与传统多普勒超声心动图测定红细胞的高频低振幅运动信号不同,组织多普勒技术(tissue Doppler imaging, TDI)通过检测运动心肌的低频高振幅信号而不显示血流信号,从而获取局部心肌的运动图像。当心脏收缩时,心肌纵向缩短、径向增厚、圆周率缩短;而当心脏舒张时,心肌的变化则与之相反。TDI能够较为准确地测量取样点部位各时刻的心肌运动速度,从而反映整个心肌运动功能的活性。

高血压性心脏病早期即可影响左心室舒张功能。左心室舒张功能减退甚至可早于收缩功能异常及室壁增厚的出现。心导管测量左心室舒张末压是评价左心室舒张功能的金标准,但由于操作的有创性和复杂性,无法作为临床上的常规检查项目。利用TDI技术测量二尖瓣环舒张早期运动速度(e'),并结合二尖瓣口舒张早期血流速度(E)计算 E/e' 值是近年来逐渐应用的方法。 e' 不受前后负荷及心率的影响,与左心室舒张功能直接相关;而 E/e' 值则与肺毛细血管嵌压有很好的相关性,能够非侵入性地评价左心室充盈压^[23-24]。在成人人群中的相关研究已经取得了可喜的成果。Komori等^[25]发现,与控制较好的高血压患者相比,隐蔽的控制不佳高血压患者的 E/e' 明显增高, e' 降低。但其在儿童中的应用仍然存在争议。有数据^[26]表明,年龄是 e' 和 E/e' 值的影响因素,因此测量所得数值需根据年龄进行校正。Agu等人^[27]发现,在高血压儿童中二尖瓣室间隔侧的 E/e' 明显增高, e' 降低。Lee等^[28]的研究却提出, e' 和 E/e' 值与血压值无明显相关性,仅在合并左心室肥厚的患者中 E/e' 比值高于其他人群。不过,El Saiedi等人^[29]仍然肯定了 E/e' 在肥胖儿童心脏评估中的作用。

由于去除了血流信号的干扰,TDI技术能够得到高分辨率的组织多普勒运动图像,进而获取较准确的心肌运动信息。在评价左心室舒张功能、评估早期心功能变化方面,TDI技术或许是一项敏感指标,但其在高血压儿童群体中的应用价值仍待更多研究进一步证实。

5 二维斑点追踪

进行心脏超声波检查时,入射的超声波在心肌组织中发生反射和散射,在图像上形成回声斑点。在灰度二维图像上逐帧追踪斑点回声,并与上一帧进行对比,即可得到心肌组织像素的位移信息,从而定量地显示感兴趣区心肌节段的速度、应变、应变率、旋转角度等运动参数,进而实现对局部与整体心肌组织运动情况的评价^[30-31]。

由于二维斑点追踪(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)不受声束方向与室壁运动方向的影响,能够多角度地进行测量,并且准确性优于普通超声技术^[32],因而在临床中得到了广泛使用。许多研究^[33-34]都表明,2D-STI检查能够敏感地检测成人高血压患者左心房及左心室运动参数的异常,即使在血压轻度升高、EF正常或尚未发生左心室重构的时候,也可发现早期的心脏改变^[35-36]。Black等人^[37]在针对儿童进行的研究中,利用斑点追踪测量组织二尖瓣环位移从而计算心脏左心室EF,与心脏磁共振检查得到的金标准结果有极强的线性相关,并且准确性明显优于M型超声检查得到的EF值。除了在准确性上的优势,2D-STI还能比常规超声心动图更早地发现儿童左心功能的改变,甚至敏感检测到心肌损伤^[38]。为了在未成年人群中推广应用,研究人员^[39-42]对基于2D-STI技术的健康儿童右心室应变行meta分析,探讨了各指标在儿童及青少年人群中的参考值范围。但也有学者^[43]认为,由于测量方法各异、样本量不足等因素,无法实现有说服力的meta分析,年龄和心率等对各形变指数的影响尚需进一步的研究。

在评估儿童心脏早期病变方面,2D-STI技术的准确性、敏感性已经得到了广泛的认可,但缺乏公认统一的适用于不同年龄段儿童的参考数值,因此在现阶段极大地限制了它的应用。此外,基于二维平面的2D-STI检查难以全面反映心肌在三维空间内的立体位置,在技术上存在一定缺陷。

6 三维斑点追踪

三维斑点追踪(three-dimensional speckle tracking imaging, 3D-STI)是在原有2D-STI技术的基础上,结合实时三维超声心动图发展起来的一项新技术;在三维空间内识别并追踪心肌回声斑点的运动轨迹,采集得到感兴趣区域心肌的全容积图像^[44-45]。通过对多个角度的心肌三维运动信息进行分析,可在纵向、径向、圆周向等维度计算心肌应变,并可测得心肌旋转和扭转运动的参数,进而在立体空间而非二维平面上反映心脏局部与整体的形变与运动情况;与2D-STI技术相比,能更准确地评价心肌组织的功能改变。

近年来已有许多研究^[46-47]证实,3D-STI作为一项敏感的检测手段,可应用于早期发现成人高血压患者左室收缩及舒张功能的变化,并预测左心房与左心室形态结构的改变。在儿童领域,有研究^[48]测量了正常儿童左室短轴各节段的应变指标并加以分析,发现径向应变和三维应变不受年龄、心率的影响,可反映儿童心肌形变的能力。

Navarini 等^[49]则首先使用 3D-STI 技术对 26 名高血压儿童和 37 名正常血压儿童进行了心脏三维应变检查,发现高血压儿童的心脏应变能力明显减弱,整体纵向应变、整体径向应变、整体圆周向应变、整体三维应变和应变指数等指标都明显低于对照组。不过在这项研究中,高血压组与对照组儿童的平均年龄和 BMI 均存在差异,且纳入研究的人数仅 63 人,研究结论尚需进一步重复验证。

目前有限的研究表明,3D-STI 将很有可能为临床上对高血压儿童进行早期心脏评估提供一种新方法。但它在鉴别诊断、判断预后、指导治疗方面的临床使用价值仍需要更大样本量的数据进行验证,同时其在分辨率、降噪方面的不足也限制了该技术的推广应用^[50]。

7 总结与展望

随着高血压发病率的逐年升高、发病年龄的低龄化,

儿童高血压的诊治越来越受到医学界和全社会的关注。早期诊断儿童期高血压,对心脏损害进行敏感、准确地识别及评估,从而选择最佳干预时机,是诊治儿童高血压乃至改善我国高血压疾病负担的重要环节。

作为心脏评估的最常用手段,超声心动图在高血压儿童人群中得到了广泛的应用。但传统的 M 型和二维超声心动图在发现心血管早期病变方面敏感性较差,越来越难以满足临床上的需求。随着软硬件水平的飞速发展,包括 Tei 指数、IBS、TDI、斑点追踪等在内的新的超声心动图测量技术和方法逐渐应用于临床。各项技术都有独具特色的优势,也各自存在着一定的局限和不足,尚无一种技术能在各方面表现出不可替代的能力。因此在临床实践中,应当根据患者具体情况,合理搭配使用各项检查技术。相信随着技术的不断创新、改进、融合,超声心动图检查将会在高血压儿童心脏评估中发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 陈伟伟,高润霖,刘力生,等.《中国心血管病报告 2017》概要[J].中国循环杂志,2018,33(1): 1-8.
- [2] Herman KM, Craig CL, Gauvin L, et al. Tracking of obesity and physical activity from childhood to adulthood: the physical activity longitudinal study[J]. Int J Pediatr Obes, 2009, 4(4): 281-288.
- [3] Brady TM, Fivush B, Flynn JT, et al. Ability of blood pressure to predict left ventricular hypertrophy in children with primary hypertension[J]. J Pediatr, 2008, 152(1): 73-78. e1.
- [4] McNiece KL, Gupta-Malhotra M, Samuels J, et al. Left ventricular hypertrophy in hypertensive adolescents: analysis of risk by 2004 National High Blood Pressure Education Program Working Group staging criteria[J]. Hypertension, 2007, 50(2): 392-395.
- [5] Varda NM, Gregoric A. A diagnostic approach for the child with hypertension[J]. Pediatr Nephrol, 2005, 20(4): 499-506.
- [6] Florianczyk T, Golabek-Dylewska M, Kucinska B, et al. Evaluation of left ventricular function in overweight children and teenagers with arterial hypertension and white coat hypertension[J]. Cardiol J, 2017. DOI: 10.5603/CJ.a2017.0151.
- [7] Falkner B, DeLoach S, Keith SW, et al. High risk blood pressure and obesity increase the risk for left ventricular hypertrophy in African-American adolescents[J]. J Pediatr, 2013, 162(1): 94-100.
- [8] Stelcar A, Homsak E, Marcun Varda N. Assessment of early cardiovascular risk in children and adolescents with essential hypertension[J]. Klin Padiatr, 2017, 229(5): 286-292.
- [9] Urbina EM, Khoury PR, McCoy C, et al. Cardiac and vascular consequences of pre-hypertension in youth[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2011, 13(5): 332-342.
- [10] Armstrong AC, Jacobs DR Jr, Gidding SS, et al. Framingham score and LV mass predict events in young adults: CARDIA study[J]. Int J Cardiol, 2014, 172(2): 350-355.
- [11] Flynn JT, Kaelber DC, Baker-Smith CM, et al. Clinical practice guideline for screening and management of high blood pressure in children and adolescents[J]. Pediatrics, 2017, 140(3): e20171904.
- [12] Song B, Qi Q, Liu R, et al. Clinical value of Tei index in pediatric patients with repaired tetralogy of Fallot[J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8(5): 7971-7976.
- [13] Bokinić R, Wlasienko P, Borszewska-Kornacka MK, et al. Myocardial performance index (Tei index) in term and preterm neonates during the neonatal period[J]. Kardiologia, 2016, 74(9): 1002-1009.
- [14] Akintunde AA, Akinwusi PO, Opadijo GO. Relationship between Tei index of myocardial performance and left ventricular geometry in Nigerians with systemic hypertension[J]. Cardiovasc J Afr, 2011, 22(3): 124-127.
- [15] Karaye KM. Relationship between Tei Index and left ventricular geometric patterns in a hypertensive population: a cross-sectional study[J]. Cardiovasc Ultrasound, 2011, 9: 21.
- [16] Gupta-Malhotra M, Hamzeh RK, Poffenbarger T, et al. Myocardial performance index in childhood onset essential hypertension and white coat hypertension[J]. Am J Hypertens, 2016, 29(3): 379-387.
- [17] Sanchez Mejia AA, Simpson KE, Hildebolt CF, et al. Tissue Doppler septal Tei index indicates severity of illness in pediatric patients with congestive heart failure[J]. Pediatr Cardiol, 2014, 35(3): 411-418.
- [18] Przewlocka-Kosmala M, Kotwica T, Mysiak A, et al. Reduced circulating apelin in essential hypertension and its association with cardiac dysfunction[J]. J Hypertens, 2011, 29(5): 971-979.
- [19] Maceira AM, Barba J, Varo N, et al. Ultrasonic backscatter and serum marker of cardiac fibrosis in hypertensives[J]. Hypertension, 2002, 39(4): 923-928.
- [20] Xie L, Man E, Cheung PT, et al. Myocardial integrated backscatter in obese adolescents: associations with measures of adiposity and left ventricular deformation[J]. PLoS One, 2015, 10(10): e0141149.
- [21] Xie L, Wang R, Huang M, et al. Quantitative evaluation of myocardial fibrosis by cardiac integrated backscatter analysis in Kawasaki disease[J]. Cardiovasc Ultrasound, 2016, 14: 3.
- [22] Mizuta Y, Kai H, Mizoguchi M, et al. Long-term treatment with valsartan improved cyclic variation of the myocardial integral backscatter signal and diastolic dysfunction in hypertensive patients: the echocardiographic assessment[J]. Hypertens Res, 2008, 31(10): 1835-1842.
- [23] Li C, Zhang J, Zhou C, et al. Will simultaneous measurement of E/e' index facilitate the non-invasive assessment of left ventricular filling pressure in patients with non-valvular atrial fibrillation? [J]. Eur J Echocardiogr, 2010, 11(3): 296-301.
- [24] Kasner M, Westermann D, Steendijk P, et al. Utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of diastolic function in heart failure with normal ejection fraction: a comparative Doppler-conductance catheterization study[J]. Circulation, 2007, 116(6): 637-647.
- [25] Komori T, Eguchi K, Kabutoya T, et al. Left ventricular diastolic function evaluated by the E/e' ratio is impaired in patients with masked uncontrolled hypertension[J]. Clin Exp Hypertens, 2014, 36(8): 538-544.
- [26] de Sutter J, de Backer J, van de Veire N, et al. Effects of age, gender, and left ventricular mass on septal mitral annulus velocity (E') and the ratio of transmitral early peak velocity to E' (E/E') [J]. Am J Cardiol, 2005, 95(8): 1020-1023.
- [27] Agu NC, McNiece Redwine K, Bell C, et al. Detection of early diastolic alterations by tissue Doppler imaging in untreated childhood-onset essential

- hypertension[J]. *J Am Soc Hypertens*, 2014, 8(5): 303-311.
- [28] Lee H, Kong YH, Kim KH, et al. Left ventricular hypertrophy and diastolic function in children and adolescents with essential hypertension[J]. *Clin Hypertens*, 2015, 21: 21.
- [29] El Saiedi SA, Mira MF, Sharaf SA, et al. Left ventricular diastolic dysfunction without left ventricular hypertrophy in obese children and adolescents: a tissue Doppler imaging and cardiac troponin I study[J]. *Cardiol Young*, 2018, 28(1): 76-84.
- [30] Orde SR, Pulido JN, Masaki M, et al. Outcome prediction in sepsis: speckle tracking echocardiography based assessment of myocardial function[J]. *Crit Care*, 2014, 18(4): R149.
- [31] Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011, 24(3): 277-313.
- [32] Artis NJ, Oxenburgh DL, Williams G, et al. Two-dimensional strain imaging: a new echocardiographic advance with research and clinical applications[J]. *Int J Cardiol*, 2008, 123(3): 240-248.
- [33] Liu Y, Wang K, Su D, et al. Noninvasive assessment of left atrial phasic function in patients with hypertension and diabetes using two-dimensional speckle tracking and volumetric parameters[J]. *Echocardiography*, 2014, 31(6): 727-735.
- [34] Celic V, Tadic M, Suzic-Lazic J, et al. Two- and three-dimensional speckle tracking analysis of the relation between myocardial deformation and functional capacity in patients with systemic hypertension[J]. *Am J Cardiol*, 2014, 113(5): 832-839.
- [35] Yang EY, Brunner G, Dokainish H, et al. Application of speckle-tracking in the evaluation of carotid artery function in subjects with hypertension and diabetes[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(8): 901-909. e1.
- [36] Hensel KO, Jenke A, Leischik R. Speckle-tracking and tissue-Doppler stress echocardiography in arterial hypertension: a sensitive tool for detection of subclinical LV impairment[J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 472562.
- [37] Black DE, Bryant J, Peebles C, et al. Tissue motion annular displacement of the mitral valve using two-dimensional speckle tracking echocardiography predicts the left ventricular ejection fraction in normal children[J]. *Cardiol Young*, 2014, 24(4): 640-648.
- [38] Altiok E, Tiemann S, Becker M, et al. Myocardial deformation imaging by two-dimensional speckle-tracking echocardiography for prediction of global and segmental functional changes after acute myocardial infarction: a comparison with late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27(3): 249-257.
- [39] Levy PT, Sanchez Mejia AA, Machevsky A, et al. Normal ranges of right ventricular systolic and diastolic strain measures in children: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014, 27(5): 549-560. e3.
- [40] 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. e6.
- [41] Kutty S, Padiyath A, Li L, et al. Functional maturation of left and right atrial systolic and diastolic performance in infants, children, and adolescents[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(4): 398-409. e2.
- [42] Jashari H, Rydberg A, Ibrahim P, et al. Normal ranges of left ventricular strain in children: a meta-analysis[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2015, 13: 37.
- [43] Cantinotti M, Kutty S, Giordano R, et al. Review and status report of pediatric left ventricular systolic strain and strain rate nomograms[J]. *Heart Fail Rev*, 2015, 20(5): 601-612.
- [44] Seo Y, Ishizu T, Atsumi A, et al. Three-dimensional speckle tracking echocardiography[J]. *Circ J*, 2014, 78(6): 1290-1301.
- [45] Sun YJ, Wang F, Zhang RS, et al. Incremental value of resting three-dimensional speckle-tracking echocardiography in detecting coronary artery disease[J]. *Exp Ther Med*, 2015, 9(6): 2043-2046.
- [46] Sacki M, Sato N, Kawasaki M, et al. Left ventricular layer function in hypertension assessed by myocardial strain rate using novel one-beat real-time three-dimensional speckle tracking echocardiography with high volume rates[J]. *Hypertens Res*, 2015, 38(8): 551-559.
- [47] Galderisi M, Esposito R, Schiano-Lomoriello V, et al. Correlates of global area strain in native hypertensive patients: a three-dimensional speckle-tracking echocardiography study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012, 13(9): 730-738.
- [48] 钟舒文, 张玉奇, 陈丽君, 等. 三维斑点追踪技术评价正常儿童左室短轴的收缩功能的研究[J]. *医学影像学杂志*, 2014, 24(5): 733-737.
- [49] Navarini S, Bellsham-Revell H, Chubb H, et al. Myocardial deformation measured by 3-dimensional speckle tracking in children and adolescents with systemic arterial hypertension[J]. *Hypertension*, 2017, 70(6): 1142-1147.
- [50] Kawamura R, Seo Y, Ishizu T, et al. Feasibility of left ventricular volume measurements by three-dimensional speckle tracking echocardiography depends on image quality and degree of left ventricular enlargement: validation study with cardiac magnetic resonance imaging[J]. *J Cardiol*, 2014, 63(3): 230-238.

[收稿日期] 2018-07-06

[本文编辑] 曹智勇

