

三维超声斑点追踪技术评价心脏功能的研究进展*

王秋霜¹ 智光^{2△} 赵晓东³

[摘要] 三维超声斑点追踪技术(3D-STE)是一项评估心肌功能的新技术。除左室射血分数外,3D-STE还能评价各种心肌功能,包括收缩和舒张功能,旋转和扭转及同步运动等,其可靠性和重复性已通过大量的临床研究得到验证。研究表明,3D-STE优于2D-STE,且3D-STE还增加了新的应变检测指标,能够更准确地检测左室整体和局部心肌功能。现将近年3D-STE在心脏功能方面的研究进展及局限性综述如下。

[关键词] 三维超声;斑点追踪;心脏;功能

doi:10.13201/j.issn.1001-1439.2015.05.003

[中图分类号] R445 **[文献标志码]** A

Progress of the assessment of cardiac function by three dimensional speckle-tracking echocardiography

WANG Qiushuang¹ ZHI Guang² ZHAO Xiaodong³

(¹Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of PLA General Hospital;²Department of Cardiology, The PLA General Hospital;³Department of Emergency, The First Affiliated Hospital of PLA General Hospital)

Corresponding author: ZHI Guang, E-mail: 13910994856@163.com

Summary Three dimensional speckle-tracking echocardiography (3D-STE) is a new technology to evaluate cardiac function. Beyond analysis solely of left ventricular ejection fraction, STE allows the assessment of various myocardial function, including systolic and diastolic function, twist and rotation, and dyssynchrony. Through experimental studies and clinical investigations, the reliability and feasibility of 3D-STE-derived data have been validated, and the advantages of 3D-STE over 2D-STE have been revealed. In addition, 3D-STE provides novel deformation parameters (ie, 3D-strain) that have the potential for more accurate assessment of overall and regional myocardial function. In this review, we focus on the progress of the assessment of various myocardial function by 3D-STE and limitations of 3D-STE.

Key words three dimensional echocardiography; speckle-tracking; cardiac; function

三维超声斑点追踪技术(three-dimensional speckle tracking echocardiography, 3D-STE)是在实时三维超声心动图及二维超声斑点追踪技术(2D-STE)基础上发展起来的新技术,其克服了组织多普勒成像技术的角度依赖性及2D-STE的“跨平面失追踪”的局限性,不受心肌运动方向的限制,可以在三维容积内客观、准确地追踪心肌的运动轨迹,更准确地评估心肌在三维空间内的复杂形变。近年来3D-STE已成为国内外超声研究热点,3D-STE评价心脏功能的研究包括心脏的局部和整体功能、收缩和舒张功能、同步及不同步运动、左室和右室功能等多个方面。现将近年3D-STE在心脏功能方面的研究进展综述如下。

1 超声斑点追踪技术原理

二维灰阶超声遇到小于入射超声波长的结构

时产生背向散射、反射、干扰等现象,形成心肌组织中所谓的“回声斑点”。2D-STE基于二维超声图像的基础,用区域匹配方法逐帧追踪心肌组织内的超声斑点,描计心肌节段的运动轨迹,记算心肌各节段形变即应变。由于2D-STE与组织频移无关,不受声束方向与室壁运动方向夹角的影响,故能更准确地检测心肌的运动。3D-STE技术则是在心脏三维显像及2D-STI基础上发展起来的新技术。

心肌组织包括内、外层的螺旋形肌束和中层的环形肌束,因此心脏的运动基本包括以下4个部分:长轴方向的运动以纵向应变(longitudinal strain, LS)表示,短轴方向的运动以径向应变(radial strain, RS)表示,反映室壁收缩期的增厚程度,短轴方向的环形运动以圆周应变(circumferential strain, CS)表示。短轴方向的旋转角度以旋转应变(rotation strain, Rot)表示。应用3D-STE可以分别检测纵向、径向、圆周及旋转方向上的形变,从而更加全面地评价心脏的各种功能。

2 三维和二维超声斑点追踪技术的区别

心脏运动是三维空间内的复杂运动,2D-STE追踪的是二维平面运动或投影到二维平面的三维

* 基金项目:解放军总医院科技创新苗圃基金重点项目(No:11KMZ03)

¹解放军总医院第一附属医院心内科(北京,100048)

²解放军总医院心内科

³解放军总医院第一附属医院急救部

△ 审校者

通信作者:智光, E-mail: 13910994856@163.com

运动,理论上 2D-STE 时斑点粒子会移动到追踪平面外,3D-STE 运用模式匹配技术直接追踪三维容积状态下的三维运动矢量,而不只是一个投影平面,因此 3D-STE 将减少斑点“失追踪”。

2D-STE 是在不同心动周期不同切面完成对心肌应变的测定,心率变异会带来检测误差,3D-STE 测定心肌应变是在一个心动周期中完成的,避免了心律不齐带来的检测误差,提高了时间分辨率。

正是由于上述 3D-STE 和 2D-STE 的差异,两种方法测定的心肌应变也存在差异,日本学者 Saito 等^[1]研究表明:3D-STE 测得的左心室 16 节段纵向应变峰值均明显低于 2D-STE,圆周应变峰值均值明显高于 2D-STE [$-(17.4 \pm 5.0)\%$: $-(19.9 \pm 6.7)\%$, $P < 0.001$; $-(30.1 \pm 7.1)\%$: $-(26.3 \pm 6.9)\%$, $P < 0.001$],两种方法测得的径向应变峰值均值差异无统计学意义。Andrade 等^[2]应用 2D-STE 及 3D-STE 技术,比较二者在健康志愿者中左室扭转角度测量中的差异,发现 3D-STE 测量的收缩期峰值扭转角度小于 2D-STE 测量值,但是二者收缩期扭转角度达峰时间并没有显著差异。

3D-STE 较 2D-STE 引入了面积应变、三维整体应变等新的评价室壁整体和节段运动的参数,面积应变代表了左室收缩和舒张时的心内膜表面的形变,可视为纵向和圆周应变的复合,面积应变依赖于心内膜的改变,能够非常敏感地检测出心肌的缺血。Sebastian 等^[3]测定 140 例患者的三维面积应变,并与室壁运动评分(wall motion score index, WMSI)和左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)对比,结果显示面积应变能够准确评价左室局部和整体收缩功能,并有较好的重复性。

Saito 等^[1]对 3D-STE 和 2D-STE 测量正常人 16 节段的纵向、径向及圆周应变结果进行比较,结果表明 3D-STE 所需时间明显较 2D-STE 减少,3D-STE 结果的观察者间与观察者内变异分别为 10.1%和 10.9%,因此认为 3D-STE 是一种方便、可行和重复性好的评价室壁运动的方法。

3 超声斑点追踪技术评价心脏功能

3.1 评价节段性室壁运动异常

3D-STE 可以通过计算机分析计算出心肌各节段的 3 个方向的形变和心脏的旋转,即心脏 17 节段的纵向应变、径向应变、圆周应变和面积应变及旋转角度,从而更全面地评价心肌的局部和整体运动。当心肌发生缺血、梗死时,相应的心肌节段将出现不同程度的运动异常。Seo 等^[4]在对 3D-STE 的多项研究中报道,心肌应变能准确区分室壁运动正常节段与运动减弱和消失节段。以心肌节段纵向应变低于 -13% 、应变率低于 $-0.8\%/s$ 诊断心

肌梗死节段的敏感度和特异度均为 85%。Arnold 等^[5]在多巴酚丁胺超声负荷试验结合 2D-STE 诊断冠心病的研究中,纵向应变、圆周应变、径向应变和 WMSI 诊断严重狭窄(狭窄 $>75\%$)的冠状动脉疾病的准确性分别为 85.2%、75.7%、70.3%和 82.1%;丁尚伟等^[6]应用低剂量多巴酚丁胺负荷超声结合 2D-STE 评价心肌梗死犬心肌存活性研究中,STE 识别存活心肌的准确率为 92.9%,2D-STE 可以减少 WMSI 半定量的主观影响因素,为超声心动图评价心肌存活性提供了一个更客观准确的定量方法。

Maffessanti 等^[7]对正常及缺血心肌节段进行对比研究时,3D-STE 较 2D-STE 更敏感地检测节段性室壁运动减弱,且具有较小的测量偏倚。3D 面积应变在评价室壁运动异常方面与有经验的超声医师有相同的准确性和重复性。在评价急性心肌梗死患者预后的研究中,心肌应变和应变率对左室重构及心脏事件均有较强的预测价值,其中 3D 整体纵向应变在预测急性心肌梗死后左室功能的恢复方面优于其他超声指标^[8]。

近年来国内外多项研究显示整体纵向应变(globe longitudinal strain, GLS)能够准确判定心肌梗死范围,并且较 LVEF 和 WMSI 的诊断价值更高。Crosby 等^[9]应用该技术对局部心肌功能评价的研究表明,3D-STE 能准确识别局部收缩功能障碍的心肌。Zhu 等^[10]应用 3D-STI 和 MRI 对比评价心肌梗死范围的研究显示,各种心肌应变与心肌梗死范围均存在较好的相关性,且透壁性心肌梗死节段的各种心肌应变比非透壁心肌梗死节段及正常节段明显降低。

3.2 左室整体收缩功能

左室的收缩功能是通过纵向走行和环形走行心肌交合协同作用实现的,心肌功能受损是与不同走向的心肌受损相一致的,由于 3D-STE 不受周围心肌牵拉和心脏整体运动的干扰,能分别从长轴、短轴和圆周等 3 个方向分别测量心肌的应变。因此 3D-STE 能够更好地评价左室收缩功能,Brown 等^[11]应用整体纵向应变评价左室收缩功能的研究中,GLS 与 MRI 测定的 LVEF 有较好的相关性($r = -0.69$, $P < 0.001$),而在有 6 个以上节段室壁运动异常的患者中 GLS 与 MRI-EF 相关性增加($r = -0.77$, $P < 0.001$),应用回归方程测定 $GLS > -15.3\%$ 是评价 LVEF 正常的界值。Reant 等^[12]研究显示,3D-STE 测定的左室整体心肌应变与 LVEF 和心输出量有较高的相关性。刘红云等^[13]应用 3D-STE 连续观测 23 例心力衰竭患者心脏移植后 1~3 个月的心脏功能变化,术后 1 个月 LVEF 恢复正常,左室纵向应变第 2 个月恢复正常,而圆周应变、面积应变和径向应变术后 3 个月

仍较正常组减低,表明心肌应变较 LVEF 更全面地反映心肌收缩功能的变化。

3.3 心脏的旋转和扭转运动

心脏的收缩舒张运动是心肌纤维一系列的旋转、扭转、缩短和增厚构成的,从心尖方向看,心尖部收缩期呈逆时针旋转,舒张期顺时针解旋,心底部则刚好相反。这种旋转和解旋运动保证了心室能够有效地抽吸和射出血液,收缩期左心室扭转,使室壁弹性伸长储存能量,至等容舒张期快速释放,使左室迅速形成压力阶差,顺利充盈抽吸。单纯评价心肌长轴和径向的运动只能评价心肌收缩力的 30%~40%,60%~70%的收缩力不包括在内,心肌的扭转运动即是其中的一方面,因此评价心肌运动不仅需要评价心肌在长轴和短轴的运动,还需评价心肌的扭转等运动。3D-STE 从旋转角度、扭转角度和扭矩方面来评价室壁的扭转和旋转运动。Notomi 等^[14]应用 STE 技术测量了冠心病、心肌病等患者的左室扭转运动,结果显示 STE 测量的左室扭转与 MRI 测的结果呈强相关($r=0.93, P<0.01$),STE 测量的扭转速度与组织多普勒技术结果相关性良好($r=0.76, P<0.011$),认为 STE 技术可以很好地评价左室扭转运动。Kaku 等^[15]应用 STE 研究左室扭转运动特征,结果显示心尖部旋转运动与左室收缩功能有关,旋转角度与射血分数正相关;基底部旋转运动与左室舒张早期充盈有关,与年龄呈负相关。

3.4 心脏的同步运动功能评价

近年来多中心试验证实,心脏再同步治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)能改善严重心力衰竭伴心脏收缩不同步患者心功能,降低病死率。而术前准确评价心脏的不同步对于 CRT 的疗效至关重要,超声心动图技术能够判断心室间与心室内的机械同步性,成为评价 CRT 治疗和预测 CRT 疗效的可靠检测技术。应用斑点追踪技术测量左室纵向应变、径向应变、环向应变收缩达峰的时间标准差及同一平面任意两节段最大达峰时间差值,评价各节段心肌收缩期达峰时间的离散度,离散越大,心肌运动同步性越差。Lim 等^[16]应用纵向应变延迟指数,预测 CRT 治疗的疗效,当纵向应变延迟指数 $\geq 25\%$ 时,82%患者对 CRT 治疗有效(CRT 治疗 3 个月后,左室收缩末容积缩小 $> 15\%$),而纵向应变延迟指数 $< 25\%$ 的患者中 92%对 CRT 治疗无效。Kleijn 等^[17]运用 3D-STE 来评价 CRT 患者的疗效,研究显示 3D-STE 能够评价心肌运动同步性,并且面积应变更接近于理想评价指标,收缩不同步指数 9.8%在预测 CRT 治疗有效的敏感度 93%,特异度 75%。

3.5 评价左室舒张功能

3D-STE 可以在长轴和短轴上评价心肌变形能

力,左心室长轴的应变和扭转能力可以用于评价舒张功能。收缩期:心肌纤维从心尖到基底部的长度缩短,心室围绕长轴方向发生扭转,心内膜剪切力指向心腔,利于心室射血。舒张期:心肌纤维在长轴方向解旋,40%的心肌纤维解旋发生在二尖瓣开放前,STE 通过描记心肌的运动曲线,可以获得心肌舒张期各时间点的应变大小及应变率,为评价心肌舒张功能提供了更多的参数。邢圆圆等^[18]在犬顿抑心肌左室舒张功能延迟恢复的动物实验中,应用 3D-STE 测定 12 只犬冠状动脉前降支结扎 15 min 后再灌注 120 min 内心肌应变的变化,缺血心肌收缩期纵向应变峰值(LS)和应变舒张指数 $[(LS \text{ 峰值} - LS \text{ 舒张早期 } 1/3) / LS \text{ 峰值} \times 100\%]$ 在缺血 15 min 内明显减低,再灌注 120 min LS 峰值恢复正常,但应变舒张指数仍低于正常,延迟恢复。Wang 等^[19]应用 STE 测量二尖瓣环运动来评价心力衰竭患者的左室舒张功能,结果显示与正常对照组比较,心力衰竭组的舒张早期二尖瓣环室间隔位移及速度均减低,而舒张晚期无明显变化。

3.6 评价右室功能

3D-STE 同样可用于评价右室整体和局部功能。3D-STE 能准确地检测右室心肌运动速度,评价右室功能受损的早期变化。因为右室每搏输出量的 80%都来自于右室长轴方向的收缩,将长轴方向的应变作为评价右室功能的指标,可对右室功能做出定量评估。叶振盛等^[20]应用 2D-STE 测定心力衰竭患者右室游离壁局部和整体收缩期纵向峰值应变均较对照组明显减低。周晔等^[21]应用 STE 评价急性肺栓塞患者右室局部心肌功能的研究中,右室壁各节段的纵向峰值应变均明显减低。Sachdev 等^[22]研究测定应变/应变率能够预测肺动脉高压患者右心功能的变化及预后。国内外的上述多项研究表明,STE 为准确评价右室功能提供了一种新方法。

4 局限性及未来的发展

尽管 3D-STE 克服了“跨平面失追踪”的技术局限性,能同步追踪心脏各室壁的运动,但是该技术仍有许多不足之处:①3D-STE 对图像质量要求高,而三维超声在心内膜显示方面,分辨力不如二维超声;②3D-STE 获取的全容积实时灰阶图像帧频为 20~30 帧/S,时间分辨率较低,当帧频过低时,3D-STE 需在拼接的全容积图像上进行追踪,容易出现拼接错位影响结果。③全容积三维最大取样角度为 90 度,对于左心室体积较大的患者评价欠准确。因此距理想的 3D-STE 还有一定的距离。但随着三维超声的快速发展,三维超声图像将越来越清晰地显示心内膜回声,3D-STE 将超越 2D-STE,更加快速准确地评估心脏的各项功能。

参考文献

- [1] SAITO K, OKURA H, WATANABE N, et al. Comprehensive evaluation of left ventricular strain using speckle tracking echocardiography in normal adults: comparison of three-dimensional and two-dimensional approaches [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009,22:1025-1030.
- [2] HELLE VT, CROSBY J, EDVARSEN T, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography [J]. *Circulation*, 2005,112:3149-3156.
- [3] SEBASTIAAN A, MOHAMED F, CAROLINE B, et al. Three-Dimensional speckle tracking echocardiography for automatic assessment of global and regional left ventricular function based on area strain [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011,24:314-321.
- [4] SEO Y, ISHIZU T, AONUMA K, et al. Current status of 3-dimensional speckle tracking echocardiography: a review from our experiences [J]. *J Cardiovasc Ultrasound*, 2014,22:49-57.
- [5] ARNOLD C T, SITGES M, PHUONG N, et al. Incremental value of 2-dimensional speckle tracking strain imaging to wall motion analysis for detection of coronary artery disease in patients undergoing dobutamine stress echocardiography [J]. *Am Heart J*, 2009,158:836-844.
- [6] 丁尚伟,黄晓宇,吴文谦,等. 多巴酚丁胺负荷试验结合斑点追踪成像技术识别心肌梗死犬存活心肌的实验研究 [J]. *临床心血管病杂志*, 2014,30(2): 166-169.
- [7] MAFFESSANTI F, NESSER H J, WEINERT L, et al. Quantitative evaluation of regional left ventricular function using three-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without heart disease [J]. *Am J Cardiol*, 2009,104:1755-1762.
- [8] ABATE E, HOOGLAG G E, ANTONI M L, et al. Value of three-dimensional speckle-tracking longitudinal strain for predicting improvement of left ventricular function after acute myocardial infarction [J]. *Am J Cardiol*, 2012,110:961-967.
- [9] CROSBY J, AMUNDSEN B H, HERGUM T, et al. 3-D speckle tracking for assessment of regional left ventricular function [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2009,35:458-471.
- [10] ZHU W, LIU W, TONG Y, et al. Three-dimensional speckle tracking echocardiography for the evaluation of the infarct size and segmental transmural involvement in patients with acute myocardial infarction [J]. *Echocardiography*, 2013. doi: 10.1111/echo.12284.
- [11] JOSEPH B, CARLY J, THOMAS H M, et al. Use of myocardial strain to assess global left ventricular function: A comparison with cardiac magnetic resonance and 3-dimensional echocardiography [J]. *Am Heart J*, 2009,157:102. e1-e5.
- [12] REANT P, BARBOT L, TOUCHE C, et al. Evaluation of global left ventricular systolic function using three-dimensional echocardiography speckle-tracking strain parameters [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012,25:68-79.
- [13] 刘红云,邓又斌,刘琨,等. 实时三维超声心动图斑点追踪技术评价移植心脏左心室收缩功能[J]. *中华超声影像学杂志*, 2013,22(6): 475-479.
- [14] NOTOMI Y, LYSYANSKY P, SESLER R M, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005,45:2034-2041.
- [15] KAKU K, TAKEUCHI M, TSANG W, et al. Age-related normal range of left ventricular strain and torsion using three-dimensional speckle-tracking echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014,27:55-64.
- [16] PASCAL L, ADISAI B, ZORAN B, et al. Longitudinal strain delay index by speckle tracking imaging—A new marker of response to cardiac resynchronization therapy [J]. *Circulation*, 2008,118:1130-1137.
- [17] KLEIJN S A, ALY M F, KNOLD L, et al. A meta-analysis of left ventricular dyssynchrony assessment and prediction of response to cardiac resynchronization therapy by three dimensional echocardiography [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012,13:763-775.
- [18] 邢圆圆,李玉宏. 实时三维斑点追踪显像技术检测犬顿抑心肌左心室舒张功能延迟恢复[J]. *中国医学影像技术*, 2013,29(7):1058-1061.
- [19] WANG J, KHOURY D S, THOHAN V, et al. Global diastolic strain rate for the assessment of left ventricular relaxation and filling pressures [J]. *Circulation*, 2007,115:1376-1383.
- [20] 叶振盛,戴莹,欧宓,等. 超声二维应变评价慢性心力衰竭患者右室心肌纵向收缩功能[J]. *临床心血管病杂志*, 2014,30(9):797-799.
- [21] 周晔,谢明星,任萍萍,等. 二维斑点追踪显像评价急性肺栓塞患者右心室局部心肌收缩功能改变[J]. *中华超声影像学杂志*, 2014,23(9):741-745.
- [22] SACHDEV A, VILLARRAGA H R, FRANTZ R P, et al. Right ventricular strain for prediction of survival in patients with pulmonary arterial hypertension [J]. *Chest*, 2011,139:1299-1309.

(收稿日期:2015-03-02)