

Experimental and clinical application research of two dimensional strain echocardiography

LIAO Shu-sheng, RUAN Qin-yun*

(Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, China)

[Abstract] Two dimensional strain echocardiography (2DSE), deriving from speckle tracking, is a newly developed echocardiographic technology. With the advantage of being angle-independent, this technology is able to examine different components of cardiac function, such as left ventricular long-axis function, short-axis function and torsion (or twisting), providing a new path to explore myocardial mechanics and potential application in various clinical settings. This paper reviews the principle, image acquisition, and the advances on experimental and clinical research of 2DSE.

[Key words] Strain; Speckle tracking; Echocardiography; Myocardial function

二维应变超声心动图的实验与临床应用研究现状

廖书生 综述, 阮琴韵* 审校

(福建医科大学附属第一医院超声影像科, 福建 福州 350005)

[摘要] 二维应变超声心动图是新近发展起来的超声心动图技术, 基于二维斑点追踪原理, 不受声束角度限制, 能对心肌纵向、径向、周向及心室扭转运动进行定量检测, 为评价心肌功能及深入了解心脏机械运动的机制提供了新手段, 有着广泛的临床应用前景。本文对二维应变超声心动图的基本原理、检查方法及近年来应用在动物实验和临床研究现状做一综述。

[关键词] 应变; 斑点追踪; 超声心动描记术; 心肌功能

[中图分类号] R540.45 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8475(2009)01-0095-04

1 左室心肌运动模式与超声心动图评价方法

1.1 左室心肌运动模式 心肌纤维的解剖排列走向与心肌运动模式密切相关, 是研究心脏功能学的基础。对动物和人体的心脏解剖研究发现, 正常左室心肌分为三层: 心外膜下层纤维呈左手螺旋状围绕心室腔, 心内膜下纤维则呈右手螺旋状围绕心室腔, 而室壁中层纤维呈环形走行^[1]。心肌的这种解剖排列方式使心脏的舒缩运动表现为四个方面: 纵向运动, 即心脏长轴方向的运动; 径向运动, 即短轴方向的运动; 周向运动, 即沿心脏短轴圆周方向的环形运动; 扭转运动, 即心脏

在短轴方向的不同旋转运动。

1.2 心肌运动的超声心动图评价方法 二维和 M 型超声心动图是目前临床上评价心肌运动功能最常用和简便的方法。二维超声心动图通过 16 节段室壁运动评分的方法半定量地对左室心肌运动进行评价, 但其准确性在一定程度上依赖于观察者的经验, 对小面积的心肌运动异常难以发现; M 型或解剖 M 型超声主要通过测量室壁增厚率及心内膜运动幅度来反映心肌的运动功能, 并且有很好的时间分辨率, 指标也较客观。但是, 二维与 M 型超声都只限于对心肌的径向运动进行评价。组织多普勒及其衍生的应变和应变率成像技术能检测局部心肌运动速度和形变, 是定量评价局部心肌功能的新方法, 对心肌长轴方向运动的检测有很好的准确性, 具有广泛的临床应用价值, 但由于受多普勒角度的影响, 在评价心肌径向和周向运动方面的价

[作者简介] 廖书生(1980-), 男, 福建福州人, 在读硕士, 医师。研究方向: 无创性心功能评价。E-mail: lshsh303@sina.com

[通讯作者] 阮琴韵, 福州市茶中路 20 号, 福建医科大学附属第一医院超声影像科, 350005。E-mail: qyruan@126.com

[收稿日期] 2008-07-24 [修回日期] 2008-10-30

值有限。二维应变超声心动图(2-dimensional strain echocardiography, 2DSE)是基于斑点追踪(speckle tracking)原理的一项新技术,以二维图像为基础,无角度依赖性,可定量检测心肌多个方向上的运动。

2 2DSE 的基本原理与检查方法

2.1 心肌应变与应变率的概念

应变(strain, S)是指物体在力的作用下发生的形状改变,可用 Lagrangian 公式 $S = \Delta L / L_0 = (L - L_0) / L_0$ 来表示, S 指某一方向上的应变, ΔL 为长度的变化量, L_0 为初始长度。心肌应变反映了心肌发生变形的程度,常用心肌长度或厚度的变化值占心肌初长度或厚度的百分数表示。由于心肌组织是不能被压缩的,其长轴方向的伸长伴随着短轴上变薄,而长轴方向的缩短则伴随着短轴上增厚,所以长轴和短轴的形变呈负相关关系。应变率(Strain Rate, SR)是指心肌发生变形的速度,可以用公式 $SR = S / \Delta t = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta t)$ 来表示。心肌的应变/应变率是由心肌纤维舒缩所致,反映的是心肌机械特性,因此可作为评价局部心肌功能的指标。

2.2 2DSE 的工作原理

2DSE 是通过超声定量分析软件在二维灰阶动态图像上定量检测心肌运动速度和应变的技术。超声图像中包含众多均匀分布于心肌内的声学斑点,大小约 20×40 像素,这些自然声学标志与组织运动同步,且形状在相邻两帧图像间变化不大。在超声图像中辨认这些斑点,并应用图像处理方法逐帧追踪其位置的移动,相邻两斑点的距离随时间的变化即可反映心肌的形变。这种斑点追踪技术与组织多普勒频移无关,不受声束角度限制,故 2DSE 能检测心肌纵向、径向及周向等多个方向上的应变,更全面准确地了解心肌运动特性。

2.3 2DSE 的检查方法与测量指标

检查方法: 2DSE 操作简便,只需获取一个完整的心动周期的常规二维超声图像,然后用二维应变软件进行脱机后处理得出相应的指标。二维图像要有较高的时间和空间分辨率,目前一般要求帧频在 50 ~ 80 帧/秒,图像要包含完整的所要分析的心肌,并尽可能清晰显示心内膜与心外膜。在进入二维应变软件工作站后,操作者选定感兴趣区(regions of interest, ROI),启动软件即可自动识别追踪每帧图像中的“斑点”,然后以应变和应变率曲线、彩色 M 型显像、“牛眼图”等模式显示相应的结果。

常用指标: 2DSE 可以对心脏的纵向运动、径向运动、周向运动及旋转运动进行全面的定量测量,主要指标包括时相性参数和运动幅度的参数,如每一节段心

肌各个方向上的速度、位移、应变/应变率、旋转角度。另外,2DSE 通过计算收缩后应变指数(postsystolic strain index, PSI)可增加缺血心肌的检出率。

3 2DSE 在动物实验研究方面的现状

国外学者已在多项动物实验研究中证实,由 2DSE 所获得的心肌应变指标与用心肌内植入超声微晶体所得的结果有着很好的一致性,2DSE 能准确而有效地对心肌形变(包括纵向、径向及周向)和左室的扭转运动进行评价^[2]。2DSE 在观察梗死或缺血心肌及其不同负荷状态下的运动功能方面有很好的价值。孙静平^[3]等研究发现在心梗早期心肌各个方向的应变即明显减低。Migrino^[4]的研究结果认为,以收缩期末应变小于 2% 作为判断某一节段心肌梗死面积大于 50% 的敏感性和特异性分别是 88%、95%,2DSE 对于鉴别梗死心肌与存活心肌具有重要价值。2DSE 在左室舒张功能评价方面也具有潜在的临床应用价值。Wang^[5]等人研究结果表明,由 2DSE 所测的等容舒张期应变 SR_{IVR} 能更准确地反映左室的松弛性能, SR_{IVR} 与 Tau 指数、 $-dp/dt$ 均高度相关;在估测左室充盈压方面,二尖瓣 E 峰与 SR_{IVR} 的比值 E/SR_{IVR} 比与组织多普勒获得的 E/E_a 更为准确,与左室舒张末压的相关系数为 0.81。潘敏等^[6]在生理状态下实验动物猪的研究中也发现,2DSE 测量值与左室峰值 dp/dt 相关性良好,尤以左室整体周向收缩期峰值应变与左室峰值 dp/dt 的相关性更为显著。

4 2DSE 在临床应用研究中的价值

4.1 正常人心肌二维应变

已有的应用 2DSE 的研究发现,虽然左室各室壁基底段、中间段、心尖段纵向收缩期峰值速度依次递减,但纵向应变/应变率差异无统计学意义,各室壁的径向收缩期峰值速度、应变/应变率也是均一的;右室基底段收缩期峰值应变高于心尖段^[7]。而舒先红等^[8]应用组织多普勒应变率显像测量的各室壁在长轴方向上应变率发现基底段、中间段、心尖段依次递减,心尖部最小,这种结果上的差异可能与多普勒角度在心尖段较大有关,也可能与所研究人群差异有关,有待于更大样本的深入研究。

4.2 冠心病的诊断

超声心动图在冠心病诊断及其心功能评价中的价值一直是临床研究的热点,2DSE 为冠心病患者梗死或缺血心肌的识别、局部心肌功能监测以及预后评价方面提供了新手段^[9]。有文献报道^[10],以收缩期径向峰值应变 29% 为截断点鉴别室壁运动减弱和无运动的敏感性为 83%,特异性为 83%,其 ROC 曲线下面积为 0.90。Winter 等^[11]对 8

例患者在经皮冠脉介入过程中,用球囊阻塞引起短暂的急性心肌缺血时发现,缺血部位心肌的径向、圆周的应变均明显减低,分别下降了 $(27 \pm 23)\%$ 和 $(35 \pm 23)\%$,缺血心肌的旋转角度亦明显减小。因此,2DSE 有望成为监测急性心肌梗死心肌功能的无创性手段。2DSE 对预测心肌梗死后左室重构有很好的临床价值,Mollema 等^[12]在对 178 例急性心肌梗死患者随访观察 6 个月后发现,以左室收缩不同步大于 130 ms 为截断点,预计 6 个月后发生左室重构的敏感性和特异性分别为 82% 和 95%。2DSE 在行负荷超声心动图检查的冠心病患者预后评价中也具有很好的应用价值,Ingul 等^[13]对 646 例曾行多巴酚丁胺负荷超声心动图检查的患者随访观察 7 年后发现,节段心肌的收缩期应变率 SRs 是患者死亡率的独立预测因子,其危险率为 3.6。2DSE 同样可以用于冠心病患者左室舒张功能的评价,Liang 等^[14]对 61 例冠脉狭窄患者研究认为,以舒张早期应变率 SRe 小于 0.96 为截断点,预测冠脉狭窄 $\geq 70\%$ 的敏感性为 77%,特异性为 92%。

4.3 肥厚型心肌病心功能评价 2DSE 可用以评价肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)局部心肌的舒张功能,Goto^[15]对 27 例 HCM 患者研究发现,HCM 患者各节段心肌平均舒张早期应变率 E_{SR} 、舒张晚期应变率 A_{SR} 及 E_{SR}/A_{SR} 均明显降低,且 E_{SR} 、 E_{SR}/A_{SR} 与彩色 M 型超声的左室血流传播速度(flow propagation velocity, FPV)呈负相关,随室壁增厚程度的增加而呈递减趋势。

4.4 右心功能评价 超声对右室功能的评价一直是临床工作中的难点,而 2DSE 将有助于解决这一难题。Teske^[16]等用 2DSE 和 TDI(tissue doppler imaging)对三组不同右室功能状态(正常人、运动员、各种右室功能损害患者)的人群研究发现,用 TDI 和 2DSE 这两种不同方法所测得的心肌运动和形变的峰值指标相关性良好,二者的时相性参数中度相关,均能有效鉴别不同病理生理情况下的右室功能状态。也有学者应用 2DSE 对肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension, PAH)患者右室功能进行评价,发现 PAH 患者右室的整体和局部收缩功能均有减退,而在用扩血管药物治疗 6~11 个月后,局部心肌功能明显改善。

4.5 左室扭转运动研究 左室扭转运动对维持正常心脏功能有着重要作用,是一个相对独立的心功能指标,但对它的检测较困难。以往主要应用磁共振标记成像观察左室的扭转运动,但其设备昂贵,难以成为临床常规检查的手段。2DSE 有望成为临床研究左室扭

转运动新的无创检查方法。Takeuchi 等^[17]用 2DSE 对 118 例不同年龄段正常人的研究中发现,正常人左室平均峰值扭转角度为 $(7.7 \pm 3.5)^\circ$,并随年龄的增长收缩期扭转角度增加,而舒张期解旋率降低,解旋时间延长,这可能与老年人左室舒张功能减退有关。Kim 等^[18]对 160 例健康人的研究认为,年龄的增长主要影响的是舒张早期基底部的旋转运动,而心尖部的旋转运动主要与左室收缩功能有关。Notomi 等^[19]应用 2DSE 和 MRI 对 15 例包含不同病理状态(冠心病、主动脉瓣狭窄和关闭不全、主动脉瓣置换术后、心肌病等)的研究表明,2DSE 的左室扭转指标与 MRI 所测相应指标高度相关,并且 2DSE 的扭转参数重复性良好。另有研究表明心肌梗死患者左室扭转运动发生了变化,Takeuchi 等在对 30 例前壁心肌梗死患者研究发现,LVEF 值明显减低($< 45\%$)的患者左室扭转及解旋均明显降低,其峰值扭转角度为 $(5.6 \pm 2.6)^\circ$,而 LVEF 值正常组为 $(9.5 \pm 4.0)^\circ$,并且峰值扭转与 LVEF 及收缩末容积有较好的相关性,相关系数分别为 0.73 和 0.56。这主要是因为心尖部梗死心肌的周向应变严重下降,导致心尖部旋转功能严重削弱。

4.6 心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT) 左室收缩功能严重损害(心功能 III、IV 级)患者的病残率和病死率很高,CRT 是延长他们的生命、改善临床症状的重要措施。遴选合适的 CRT 对象一直是临床棘手的问题,既往主要以心电图 QRS 波增宽为依据,但约有 30%~40% 患者治疗后心功能没有明显改善。2DSE 在 CRT 的患者筛选、预测及疗效评价方面均有重要的临床应用价值。Gorcsan III 等^[20]对 176 例心衰晚期患者行 CRT 后随访观察 3~9 个月后发现,结合 TDI 纵向运动不同步和 2DSE 径向运动不同步的指标对预测 CRT 后左室 EF 值提高的敏感性和特异性分别为 88%、80%。也有人在观察功能性二尖瓣反流患者行 CRT 的治疗效果时发现,通过 2DSE 可以很好地检测到左室两组乳头肌运动在 CRT 前后的变化。

5 展望和局限性

2DSE 克服了组织多普勒在评价局部心功能中遇到的角度依赖性问题,尤其对左室短轴方向上心肌运动和心室扭转运动的检测有其独特的优越性。随着研究的深入,2DSE 将成为超声了解心脏运动机制和全面评价心功能的有力手段,为临床心血管病的诊治提供有力依据。目前,2DSE 还有其自身的局限性。首先,心肌的运动是在三维空间上的,而 2DSE 只能通过多

个二维超声切面间接反映心肌三维空间上的运动信息,已有学者进行三维应变成像的探索;其次,目前二维图像的时间分辨率有限,帧频不足,用 2DSE 对等容收缩期和等容舒张期的研究有一定困难,国外已有应用高分辨率的斑点追踪技术实验研究;已有的临床研究样本量相对较小,临床前瞻性的研究较缺乏,因此 2DSE 详细的临床应用价值有待进一步深入探索。

[参考文献]

- [1] Sengupta P, Krishnamoorthy VK, Korinek J, et al. Left ventricular form and function revisited: applied translational science to cardiovascular ultrasound imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20(5): 539-551.
- [2] Korinek J, Wang J, Sengupta P, et al. Two-dimensional strain – a doppler-independent ultrasound method for quantitation of regional deformation: validation in vitro and in vivo. *J Am Soc Echocardiogr*, 2005, 18(12): 1247-1253.
- [3] Sun JP, Niu J, Chou D, et al. Alterations of regional myocardial function in a swine model of myocardial infarction assessed by echocardiographic 2-dimensional strain imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20(5): 498-504.
- [4] Migrino RQ, Zhu X, Pajewski N, et al. Assessment of segmental myocardial viability using regional 2-dimensional strain echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20(4): 342-351.
- [5] Wang J, Khoury DS, Thohan V, et al. Global diastolic strain rate for the assessment of left ventricular relaxation and filling pressures. *Circulation*, 2007, 115(4): 1376-1383.
- [6] Pan M, Lu SK, Wang SS, et al. Assessment of left ventricular systolic circumferential function by two dimensional speckle tracking imaging. *Chin J Med Imaging Technol*, 2007, 23(9): 1267-1269.
潘敏, 鲁树坤, 王双双, 等. 超声二维斑点追踪技术对左室心肌周向收缩功能的研究. *中国医学影像技术*, 2007, 23(9): 1267-1269.
- [7] Tong C, Li CL, Song JL, et al. Assessment of right ventricular free wall longitudinal myocardium deformation using speckle tracking imaging in normal subjects. *Chin J Med Imaging Technol*, 2007, 23(11): 1641-1643.
童春, 黎春雷, 宋家琳, 等. 斑点追踪评价正常成人右室长轴心肌形变能力. *中国医学影像技术*, 2007, 23(11): 1641-1643.
- [8] Shu XH, Huang GQ, Pan CZ, et al. Quantitative evaluation of strain and strain rate imaging in normal subject. *Chin J Ultrasonogr*, 2004, 13(11): 805-807.
舒先红, 黄国倩, 潘翠珍, 等. 正常人心肌应变及应变率定量分析. *中华超声影像学杂志*, 2004, 13(11): 805-807.
- [9] Xiong L, Deng YB, Shentu WH, et al. Two-dimensional strain in patients with myocardial infarction measured by speckle tracking echocardiography. *Chin J Med Imaging Technol*, 2007, 23(7): 990-993.
熊莉, 邓又斌, 申屠伟慧, 等. 超声斑点追踪技术对心肌梗死患者室壁运动的二维应变研究. *中国医学影像技术*, 2007, 23(7): 990-993.
- [10] Becker M, Bilke E, Kuhl H, et al. Analysis of myocardial deformation based on pixel tracking in two dimensional echocardiographic images enables quantitative assessment of regional left ventricular function. *Heart*, 2006, 92(): 1102-1108.
- [11] Winter R, Jussila R, Nowak J, et al. Speckle tracking echocardiography is a sensitive tool for the detection of myocardial ischemia: a pilot study from the catheterization laboratory during percutaneous coronary intervention. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20(8): 974-981.
- [12] Mollema SA, Liem S, Suffoletto MS, et al. Left ventricular dyssynchrony acutely after myocardial infarction predicts left ventricular remodeling. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(16): 1532-1540.
- [13] Ingul CB, Rozis E, Slordahl SA, et al. Incremental value of strain rate imaging to wall motion analysis for prediction of outcome in patients undergoing dobutamine stress echocardiography. *Circulation*, 2007, 115(3): 1252-1259.
- [14] Liang HY, Cauduro S, Pellikka P, et al. Usefulness of two-dimensional speckle strain for evaluation of left ventricular diastolic deformation in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol*, 2006, 98(7): 1581-1586.
- [15] Goto K, Mikami T, Onozuka H, et al. Role of left ventricular regional diastolic abnormalities for global diastolic dysfunction in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006, 19(7): 857-864.
- [16] Teske AJ, De Boeck BW, Olimulder M, et al. Echocardiographic assessment of regional right ventricular function: a head-to-head comparison between 2-dimensional and tissue Doppler – derived strain analysis. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008, 21(3): 275-283.
- [17] Takeuchi M, Nakai H, Kokumai M, et al. Age-related changes in left ventricular twist assessed by two-dimensional speckle-tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006, 19(9): 1077-1084.
- [18] Kim HK, Sohn DW, Lee SE, et al. Assessment of left ventricular rotation and torsion with two-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007, 20(1): 45-53.
- [19] Notomi Y, Lysyansky P, Setser RM, et al. Measurement of ventricular torsion by two-dimensional ultrasound speckle tracking imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(4): 2034-2041.
- [20] Goresan III J, Tanabe M, Bleeker GB, et al. Combined longitudinal and radial dyssynchrony predicts ventricular response after resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(15): 1476-1483.