

速度向量成像技术对心脏运动的研究

王 玮综述 施仲伟审校

【摘要】 速度向量成像技术(VVI)是一种斑点追踪技术,在定量评价心脏局部和整体功能上比传统的超声技术更具优势。VVI 不仅可以评价局部心肌的收缩或舒张功能障碍,敏感地检出病变心肌,还能分析心室运动的同步性,为心脏再同步化治疗筛选患者、判断疗效,另外运用 VVI 评价心脏的扭转运动也是当前的热门课题。

【关键词】 速度向量成像;角度依赖性;心室功能

1 速度向量成像技术

速度向量成像(velocity vector imaging, VVI)是一种新颖的超声技术,没有角度依赖性。它基于二维灰阶成像原理,应用像素的空间相干、追踪技术和实时心肌运动跟踪运算法则,获得心肌运动的物理参数。这种技术不是简单的追踪斑点而是利用特殊参照点,包括二尖瓣环、组织或心腔边界的运动,边界附近的组织运动,以及根据 RR 波确定的心脏运动周期、心尖或心腔中部静态参照物等,达到对组织的精确跟踪,不仅可以测定心肌运动速度、应变和应变率,还可以获得节段性面积、容积及射血分数、速度达峰时间、应变及应变率达峰时间,特别是达 75% 及 50% 的速度、应变和应变率峰值的时间等参数,从而为观察心肌局部和整体运动提供了一种新的检测手段。VVI 的显示方法为将速度向量叠加于二维平面图像上,向量的长度代表组织运动速度的大小,向量的箭头指向代表组织运动方向。

2 VVI 评价心脏的收缩及舒张运动

2.1 正常人的心脏运动

正常人左室壁的纵向收缩期峰值速度从基底段、中间段到心尖段依次递减,而基底段、中间段和心尖段的纵向收缩期应变及应变率并无显著差异^[1]。Kutty 等^[2]用 VVI 评价正常儿童的右室功能,发现峰值速度和最大位移亦呈从基底段到心尖段递减的趋势,其中右室基底部的舒张期峰值速度与组织多普勒所测数据具有良好的相关性。

2.2 心血管疾病

2.2.1 缺血性心脏病 Pirat 等^[3]用 VVI 研究心肌缺血节段纵向和环向应变及应变率与声纳微测量法的结果相关性良好。Jurcut 等^[4]在用 VVI 对急性心肌梗死患者的研究中发现:(1)心肌梗死节段的纵向收缩期应变(S)和应变率(SR)低于远处的非梗死节段(S: -9.6% 对 -14.6%, $P < 0.0001$; SR: -0.75/s 对 -1.08/s, $P < 0.0001$),但收缩后应变指数明显增高(21% 对 8.3%, $P < 0.001$);(2)如果左室至少有一个心肌节段纵向收缩期峰值应变小于 -6.5%,那么有很高的可能性说明该患者存在心肌梗死(敏感性为 91%,特异性为 90%);(3)VVI 测得的纵向收缩期应变及应变率可以帮助预测存在局部功能异常的心肌,定位梗死部位和梗死程度。国内一项对陈旧性心肌梗死患者的收缩功能研究得出类似结果,并且补充证实了邻近非梗死节段的收缩功能也会受到梗死节段的影响^[5]。

2.2.2 心肌病 对于扩张型心肌病患者,左室 18 个节段纵向收缩期和舒张早晚期峰值速度、应变、应变率这些参数中,除了舒张晚期应变与正常对照组相应节段差异没有统计学意义($P > 0.05$)外,其余都明显低于对照组($P < 0.05 \sim 0.01$),提示扩张型心肌病引起心脏收缩和舒张功能的损害普遍存在于心肌的所有节段,与其发病机制一致^[1]。在对 Tako-Tsubo 心肌病患者回顾性分析研究中,发现 VVI 可以证明患者不仅存在二维经胸超声心动图所测得的左室径向收缩功能障碍,还存在纵向的收缩、舒张功能障碍,同时还可能存

作者单位:200025 上海交通大学医学院附属瑞金医院心内科

在左房功能障碍^[6]。

2.2.3 糖尿病和高血压 国内研究人员用 VVI 结合负荷超声心动图技术研究糖尿病大鼠的左室壁运动^[7]。结果发现,收缩期和舒张期环向应变率比其他参数更敏感地评估心肌损害,一是由于代表心肌变形速率的应变率比起速度不受整个心脏运动的影响,二是因为环向应变率与心肌纤维的排布一致,而径向应变率与心肌纤维的排布方向垂直,因此环向应变率能更敏感地反映出心肌形变异常,这一研究提示 VVI 可以检测出糖尿病早期阶段潜在的心肌损害。研究人员还发现左室肥厚的高血压患者可能存在着局部心肌收缩功能异常,尽管整体收缩功能参数(左室射血分数和缩短率)正常^[8]。

2.2.4 右室功能异常 Pirat 等^[9]用 VVI 评估肺动脉高压患者右室局部和整体的收缩功能,结果表明该病患者心肌收缩期峰值速度、应变及应变率明显低于对照组相应节段,且肺动脉压力越高,心肌节段的损害越严重,肺动脉收缩压和肺血管循环阻力指数分别与右室应变有良好的相关性($r=0.61$ 和 $r=0.65$, P 均 <0.05),运用 Simpson 法测得的右室容积和射血分数与 VVI 所测的值也有良好的相关性($r=0.95\sim 0.98$, P 均 <0.001)。

2.3 胎儿心脏

胎儿心功能的评价相当困难,因为胎儿心脏的肌细胞很少,主要由不具收缩性的细胞组成,因此比成人心脏质地硬,其次胎心周围充满液体的肺脏也限制了心室的舒张导致顺应性降低。加上胎儿心脏体积较小,胎儿在母体内位置多变,所以用于成人心的多种测量方法往往不能准确地评价胎儿的心功能。Younoszai 等^[10]通过试验证明,VVI 可以无创而安全地评价正常胎儿的心功能。右室游离壁、室间隔和左室游离壁的所有节段的纵向收缩期和舒张期速度峰值都随孕龄的增加而增大($r=0.56\sim 0.78$, $P<0.05$),与之前用组织多普勒测定的结果相符,而收缩期应变和应变率与孕龄没有明显的相关性,这与多普勒技术的研究结果不同,后者显示左室的应变和应变率随着孕龄的增加而增加,但对于右室没有给出任何研究数据,所以并没有说明这种规律是否存在

于所有的心肌节段中^[11]。Barker 等^[12]还将研究对象扩展为患有心脏疾病的胎儿,发现这些胎儿的心肌整体应变低于正常对照组。

3 心脏扭转运动中应用

在心动周期中,左室存在着收缩期扭转和舒张早期解旋的过程,这一扭转是由于心尖部和基底部分不同方向的旋转而造成,从心尖看,收缩期心尖部逆时针旋转而基底部顺时针旋转,产生纵向的缩短、径向向心运动和环向的旋转运动,舒张期运动方向相反,产生心室主动抽吸功能。尽管收缩期心尖部的旋转主要是逆时针方向,但仍有小部分心肌在等容收缩期顺时针方向旋转^[13],这种相反的运动被声纳微测量法和斑点追踪技术检测到,但没有被磁共振(MRI)检测出来,可能由于 MRI 的帧频过低,获得信息量少,不能充分反应心肌运动。VVI 通过实时追踪心内膜运动,可定量分析心肌的扭转和解旋运动,不仅可以测量扭转的角度,还可以测量扭转的方向,为研究心肌运动提供了一种新的方法。研究人员对正常人扭转运动的研究显示,左室扭转角度为 $6.10^{\circ} \pm 2.93^{\circ}$ (男性为 $5.45^{\circ} \pm 2.46^{\circ}$,女性为 $7.04^{\circ} \pm 3.31^{\circ}$),男女间差异没有统计学意义,与以往的研究结果相似,但比 MRI 的测量结果偏小,心尖部扭转幅度显著大于心底部,心内膜扭转显著大于心外膜^[14-15]。

左室扭转在方式和强度上的改变与心肌疾病密切相关。扩张型心肌病患者心底部和心尖部旋转角度和旋转速度、心内膜与心外膜旋转角度和旋转速度均明显低于对照组^[16];肥厚型心肌病患者在显著肥厚的节段,心肌内外膜扭转速度/位移差值显著大于对照组^[15]。不正常的扭转运动形式,提示心肌特性和功能改变,因此对扭转相关参数的测量为临床提供一个非常有价值的诊断依据。

4 心脏同步性运动中应用

以往评价左室同步性的方法是测量心电图上 QRS 波的宽度,并将 QRS 波间期 >120 ms 作为接受心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)的适应证之一,但是这一评价方法受到质疑,认为 QRS 波增宽仅表示电不同

步,不能代表机械运动是否同步,有些 QRS 波增宽的患者机械运动是同步的,而有些 QRS 波正常的患者却存在机械不同步。Tzemos 等^[17]用 VVI 评估法洛四联症纠治术后患者的左室同步性,希望可以为此类患者接受 CRT 建立入选标准。

VVI 不仅可以为 CRT 选择合适的患者,还有可能帮助估计预后。Cannesson 等^[18]评价 21 例心力衰竭患者在接受 CRT 后(8±5)个月心功能是否改善(将左室射血分数比接受 CRT 前提高≥15%定义为 CRT 有效),发现左室长轴纵向收缩期达峰时间延迟≥75 ms 预测 CRT 疗效的敏感性为 85%,特异性为 80%,较用组织多普技术所测得的值 65 ms^[19]略大,可能是多普勒的帧频与 VVI 的差异造成的。

由于 VVI 不受角度依赖,可以从各个方向评价 CRT 疗效,弥补了多普勒技术的不足。Vannan 等^[20]报道 1 例 QRS 波增宽的患者接受 CRT 后心功能没有明显改善,通过 VVI 发现 CRT 虽然改善了左室纵向和径向心肌运动的同步性,但没有改善环向运动的同步性,导致 CRT 疗效不佳,而环向运动的评价为组织多普勒技术所不济。

5 展望

VVI 是基于二维图像的斑点追踪技术,其对图像质量的要求较高,心脏大小、胸壁厚度以及肺的覆盖等因素都会影响经胸采集图像的质量,进而影响心内膜或心外膜边界的勾画,导致数据的精确性和重复性降低。此外,目前有关 VVI 的研究样本量都较小,各种参数缺乏统一标准。但是,VVI 技术的优势也十分突出,它无角度和帧频的依赖,噪音显著减少,无分析切面的局限,能定量测定心肌在纵向、径向和环向运动中的速度、位移、应变以及应变率等多种心脏参数,无需事先标定瓣膜开放和关闭时间。为了阐明 VVI 评价心脏运动的临床价值,需要设计和开展更大规模的协作研究。

参 考 文 献

[1] Zeng S, Zhou QC, Peng QH, et al. Assessment of regional myocardial function in patients with dilated cardiomyopathy by velocity vector imaging[J]. Echocardiography, 2009, 26(2):163-170.

- [2] Kutty S, Deatsman SL, Nugent ML, et al. Assessment of regional right ventricular velocities, strain, and displacement in normal children using velocity vector imaging[J]. Echocardiography, 2008, 25(3):294-307.
- [3] Pirat B, Khoury DS, Hartley CJ, et al. A novel feature-tracking echocardiographic method for the quantitation of regional myocardial function: validation in an animal model of ischemia-reperfusion[J]. J Am Coll Cardiol, 2008, 51(6):651-659.
- [4] Jurcut R, Pappas CJ, Masci PG, et al. Detection of regional myocardial dysfunction in patients with acute myocardial infarction using velocity vector imaging[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2008, 21(8):79-86.
- [5] Chen J, Cao T, Duan Y, et al. Velocity vector imaging in assessing the regional systolic function of patients with post myocardial infarction[J]. Echocardiography, 2007, 24(9):940-945.
- [6] Burri MV, Nanda NC, Lloyd SG, et al. Assessment of systolic and diastolic left ventricular and left atrial function using vector velocity imaging in takotsubo cardiomyopathy[J]. Echocardiography, 2008, 25(10):1138-1144.
- [7] Wei Z, Su H, Zhang H, et al. Assessment of left ventricular wall motion in diabetic rats using velocity vector imaging combined with stress echocardiography[J]. Echocardiography, 2008, 25(6):609-616.
- [8] Chen J, Cao T, Duan Y, et al. Velocity vector imaging in assessing myocardial systolic function of hypertensive patients with left ventricular hypertrophy[J]. Can J Cardiol, 2007, 23(12):957-961.
- [9] Pirat B, McCulloch ML, Zoghbi WA. Evaluation of global and regional right ventricular systolic function in patients with pulmonary hypertension using a novel speckle tracking method[J]. Am J Cardiol, 2006, 98(5):699-704.
- [10] Younoszai AK, Saudek DE, Emery SP, et al. Evaluation of myocardial mechanics in the fetus by velocity vector imaging[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2008, 21(5):470-474.
- [11] Di Salvo G, Russo MG, Paladini D, et al. Quantification of regional left and right ventricular longitudinal function in 75 normal fetuses using ultrasound-based strain rate and strain imaging[J]. Ultrasound Med Biol, 2005, 31(9):1159-1162.
- [12] Barker PC, Houle H, Li JS, et al. Global longitudinal cardiac strain and strain rate for assessment of fetal cardiac function: novel experience with velocity vector imaging[J]. Echocardiography, 2009, 26(1):28-36.
- [13] Helle-Valle T, Crosby J, Edvardsen T, et al. New noninvasive method for assessment of left ventricular rotation: speckle tracking echocardiography[J]. Circulation, 2005, 115(20):3149-3156.

(下转第 364 页)

- breathing and heart failure a dangerous liaison[J]. Trends Cardiovasc Med, 2008, 18(7):240-247.
- [11] Carmona-Bernal C, Ruiz-García A, Villa-Gil M, et al. Quality of life in patients with congestive heart failure and central sleep apnea[J]. Sleep Med, 2008, 9(6):646-651.
- [12] Barcena JA, Fang JC. Diagnosis and treatment of sleep apnea in heart disease[J]. Curr Treat Option Cardiovasc Med, 2007, 9(6):501-509.
- [13] 陈南星, 郑泽琪. 睡眠呼吸暂停综合征与心律失常[J]. 国际心血管病杂志, 2006, 33(5):300-302.
- [14] Caples SM, Somers VK. CPAP treatment for obstructive sleep apnoea in heart failure: expectations unmet[J]. Eur Heart J, 2007, 28(10):1184-1186.
- [15] Gilman MP, Floras JS, Usui K, et al. Continuous positive airway pressure increases heart rate variability in heart failure patients with obstructive sleep apnoea[J]. Clin Sci (Lond), 2008, 114(3):243-249.
- (收稿:2009-05-12 修回:2009-07-15)
(本文编辑:丁媛媛)

(上接第 351 页)

- [14] 阎国辉, 智光, 徐勇. 速度向量成像技术对正常人左室扭转运动特征的分析[J]. 中国超声医学杂志, 2006, 22(12):911-913.
- [15] 陈海燕, 舒先红, 潘翠珍, 等. 应用速度向量成像技术评价正常人及肥厚型心肌病患者的心肌扭转[J]. 中华超声影像学杂志, 2008, 17(3):193-196.
- [16] 阎国辉, 智光, 徐勇. 速度向量成像技术对扩张型心肌病扭转运动的研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2008, 17(5):378-80.
- [17] Tzemos N, Harris L, Carasso S, et al. Adverse left ventricular mechanics in adults with repaired tetralogy of Fallot[J]. Am J Cardiol, 2009, 103(3):420-425.
- [18] Cannesson M, Tanabe M, Suffoletto MS, et al. Velocity vector imaging to quantify ventricular dyssynchrony and predict response to cardiac resynchronization therapy[J]. Am J Cardiol, 2006, 98(7):949-953.
- [19] Bax JJ, Bleeker GB, Marwick TH, et al. Left ventricular dyssynchrony predicts response and prognosis after cardiac resynchronization therapy[J]. J Am Coll Cardiol, 2004, 44(9):1834-1840.
- [20] Vannan MA, Pedrizzetti G, Li P, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on longitudinal and circumferential left ventricular mechanics by velocity vector imaging: description and initial clinical application of a novel method using high-frame rate B-mode echocardiographic images[J]. Echocardiography, 2005, 22(10):826-830.
- (收稿:2009-05-25)
(本文编辑:金谷英)

(上接第 354 页)

- [23] Nissen SE, Yock P. Intravascular ultrasound: novel pathophysiological insights and current clinical applications[J]. Circulation, 2001, 103(4):604-616.
- [24] Smits PC, Pasterkamp G, de Jaegere PP, et al. Angioscopic complex lesions are predominantly compensatory enlarged; an angioscopy and intracoronary ultrasound study[J]. Cardiovasc Res, 1999, 41(2):458-464.
- [25] Nakamura M, Nishikawa H, Mukai S, et al. Impact of coronary artery remodeling on clinical presentation of coronary artery disease; an intravascular ultrasound study[J]. J Am Coll Cardiol, 2001, 37(1):63-69.
- [26] Saunamäki KI. Virtual histology and the hunt for the vulnerable plaque[J]. Eur Heart J, 2006, 27(24):2914-2915.
- [27] Nair A, Margolis MP, Kuban BD, et al. Automated coronary plaque characterisation with intravascular ultrasound backscatter: ex vivo validation[J]. EuroIntervention, 2007, 3(1):113-120.
- [28] Rodriguez-Granillo GA, McFadden EP, Valgimigli M, et al. Coronary plaque composition of nonculprit lesions, assessed by in vivo intracoronary ultrasound radio frequency data analysis, is related to clinical presentation[J]. Am Heart J, 2006, 151(5):1020-1024.
- [29] Pundziute G, Schuijff JD, Jukema JW, et al. Evaluation of plaque characteristics in acute coronary syndromes: non-invasive assessment with multi-slice computed tomography and invasive evaluation with intravascular ultrasound radiofrequency data analysis[J]. Eur Heart J, 2008, 29(19):2373-2381.
- [30] Takeuchi H, Morino Y, Matsukage T, et al. Impact of vascular remodeling on the coronary plaque compositions: an investigation with in vivo tissue characterization using integrated backscatter- intravascular ultrasound[J]. Atherosclerosis, 2009, 202(2):476-482.
- (收稿:2009-10-29)
(本文编辑:丁媛媛)