



超声心动图评价心肌做功的研究进展

李雪洁, 舒先红

引用本文:

李雪洁, 舒先红. 超声心动图评价心肌做功的研究进展[J]. 中国临床医学, 2021, 28(1): 111–115.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202091>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

二维纵向应变对冠心病患者经体外心脏震波治疗后左心室收缩功能变化的效果评价

Evaluation of left ventricular systolic function in patients with coronary artery disease after cardiac shock wave therapy by two-dimensional longitudinal strain

中国临床医学. 2021, 28(1): 65–69 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202393>

应用二维斑点追踪技术评价正常人左室整体及节段收缩功能

Application of two dimensional speckle tracking echocardiography in evaluation of left ventricular global and segmental systolic function

中国临床医学. 2017, 24(1): 47–50 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2017.20160916>

实时三维超声心动图在三尖瓣反流中的应用

Application of real-time three-dimensional echocardiography in patients with tricuspid regurgitation

中国临床医学. 2021, 28(1): 116–120 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20200100>

组织追踪MR技术评价正常人左室形变功能的临床研究

Tissue tracking magnetic resonance for evaluation of left ventricular global myocardial deformation in healthy subjects

中国临床医学. 2020, 27(6): 954–958 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201715>

二维斑点追踪技术评价高血压兔模型的左心室收缩期应变

Two-dimensional speckle tracking imaging in evaluating left ventricular systolic strain in hypertensive rabbit models

中国临床医学. 2017, 24(6): 900–903 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2017.20170490>

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202091

超声心动图评价心肌做功的研究进展

李雪洁^{1,3}, 舒先红^{1,2,3*}

1. 复旦大学附属中山医院心超室, 上海 200032

2. 上海市影像医学研究所, 上海 200032

3. 上海市心血管病研究所, 上海 200032

引用本文 李雪洁, 舒先红. 超声心动图评价心肌做功的研究进展[J]. 中国临床医学, 2021, 28(1): 111-115. LI X J, SHU X H. Research progress of echocardiography in evaluating myocardial work[J]. Chinese Journal of Clinical Medicine, 2021, 28(1): 111-115.

[摘要] 无创心肌做功是最新发展的一项超声心动图技术。其结合二维斑点追踪与无创估测左室压力技术, 得到左室从二尖瓣闭合到二尖瓣开放期间的心肌各节段及整体的做功, 能够定量、客观且敏感地评估心肌局部及整体功能, 对于各种心血管疾病的评估有一定优势, 有良好的应用前景。

[关键词] 无创心肌做功; 压力应变环; 二维斑点追踪技术

[中图分类号] R 445.1; R 541.4 **[文献标志码]** A

Research progress of echocardiography in evaluating myocardial work

LI Xue-jie^{1,3}, SHU Xian-hong^{1,2,3*}

1. Department of Echocardiography, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

3. Shanghai Institute of Cardiovascular Diseases, Shanghai 200032, China

[Abstract] Noninvasive myocardial work is a newly developed echocardiography technology. It combines two-dimensional speckle tracking imaging and noninvasive estimation of left ventricular pressure to obtain the work of each segment and the whole left ventricle from mitral valve closure to mitral valve opening. It can quantitatively, objectively, and sensitively evaluate the regional and global myocardial function, showing advantages in evaluating various cardiovascular diseases, and might have a great application prospect.

[Key Words] noninvasive myocardial work; pressure-strain loop; two-dimensional speckle tracking imaging

常规超声心动图通过左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)反映左室整体收缩功能。二维斑点追踪技术(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)通过追踪心肌超声图像的声学斑点信号, 定量评价左室整体及节段的收缩功能。但是, 该应变成像技术存在不可忽略的局限性, 即负荷依赖性, 而后负荷的增高会造成应变值的降低, 导致临床医师对心肌真实收缩能力的误判。无创心肌做功技术通过结合2D-STI与后负荷测定, 能够客观地评估整体及节段心室收缩功

能, 具有较大的临床应用潜力, 本文对此进行综述。

1 心肌做功的概念

心肌做功的研究起源于左室压力-容积环(pressure-volume loop, PVL)及压力-长度环的概念。PVL由Suga等^[1]在1979年提出, 描述了一个心动周期中左室内压力与容积变化的相互关系(图1)。理论上, PVL能够评估生理及各种病理状态下的心脏功能及储备能力。该技术不仅在动物实验^[2]中得到验证, 在多种心脏疾病如冠

[收稿日期] 2020-09-27 **[接受日期]** 2020-11-09

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(82071933). Supported by General Program of National Natural Science Foundation of China (82071933).

[作者简介] 李雪洁, 博士, 住院医师. E-mail: 18111210099@fudan.edu.cn.

* 通信作者(Corresponding author). Tel: 021-64041990, E-mail: shu.xianhong@zs-hospital.sh.cn

心病、二尖瓣狭窄中也得到了广泛应用^[3-4]。但是,PVL通过有创的心导管方法获得,临床应用存在一定局限性。

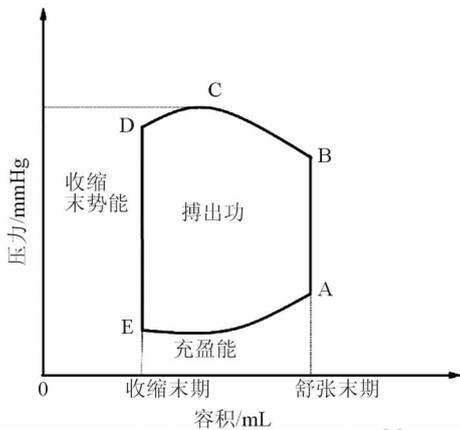


图1 左室压力-容积环示意图^[1]

A:二尖瓣关闭;B:主动脉瓣开放;C:左室压力峰值;D:主动脉瓣关闭;E:二尖瓣开放. 闭合的环内面积反映心脏搏出功;收缩末势能反映心脏的贮备功能;充盈能是血液回流心室所产生的能量,其大小与心脏的舒张功能和搏出量有关. 收缩末势能、充盈能与搏出功之和体现1次心动周期过程中产生的总能量。

2005年,Urheim等^[5]利用犬模型探讨了根据应变多普勒超声心动图(strain Doppler echocardiography,SDE)和有创压力得出的节段性心肌做功指数来量化区域功能的可行性。该研究通过颈动脉在麻醉犬左室置入微压计导管测量左室压力,分别用SDE和声纳微测量法测量心肌纵向应变,发现通过联合左室压力和SDE获得的心肌应变可以估计局部心肌做功;在增加容积负荷和冠状动脉闭塞等条件下,SDE方法显示的环面积与超声微测量法的环面积有很好的相关性。但是有创的压力测量限制了其临床常规应用。

近期Russell等^[6]提出将斑点追踪超声心动图(speckle tracking echocardiography,STE)与估计的左室压力曲线相结合,构建左室的无创压力应变环(pressure-strain loop,PSL)来表示心肌做功。他们先在犬模型中使用微压计进行有创性左室压力(left ventricular pressure,LVP)测量,并使用心内膜下植入的超声测微晶体测得心肌节段长度;使用STE记录心肌应变,假设肱动脉袖带记录的收缩压等于左室收缩压峰值,通过调整参考左室压力曲线的轮廓来生成估计的压力曲线,使用软件获得估测的左室PSL,结果显示估测的左室PSL和有创性测量的真实PSL具有良好的相关性($r=0.96$)。该团队在随后的临床试验中证实,无创和有创PSL同样

显示了良好的相关性($r=0.99$)和一致性。

2 无创心肌做功的计算方法

在超声心动图测量之前用袖带血压计记录收缩压,应用2D-STI超声心动图测量应变,在心尖长轴、二腔和四腔观中追踪左室内膜边界,假定左室收缩期峰值压力和动脉峰值压力相等,利用应变和血压数据在EchoPAC软件上构建左室PSL,并根据不同心脏周期阶段的持续时间(根据主动脉瓣和二尖瓣启闭时间确定等容收缩和射血期)调整标准化参考曲线。PSL是根据二尖瓣从关闭至开放期间左室压力及应变之间的变化关系而形成的闭环(图2)。二尖瓣关闭,进入等容收缩期,左室压力急剧上升,而心肌应变无明显改变;随后主动脉瓣开放,进入射血期,左室压力进一步升高,伴随心肌细胞收缩,应变绝对值升高;主动脉瓣关闭,左室压力开始下降,进入等容舒张期,在此阶段左室压力迅速下降而应变无明显变化;当左室压力小于左房时,二尖瓣开放,进入充盈期,此时左室压力变化较小,心肌舒张,应变绝对值减小。

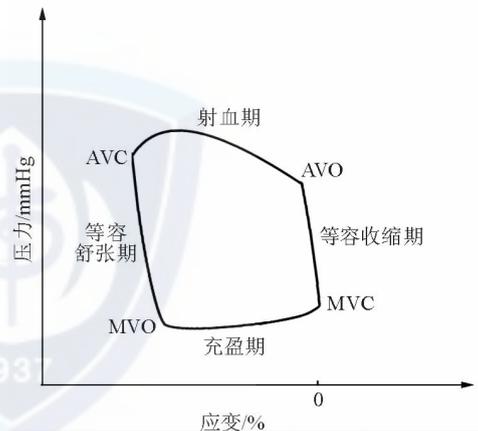


图2 左室压力应变环示意图

AVC:主动脉瓣关闭;AVO:主动脉瓣开放;MVO:二尖瓣开放;MVC:二尖瓣关闭

心肌做功为节段应变(%)与瞬时左室压力(mmHg)的乘积(mmHg%)。心肌做功主要的测量参数:整体做功指数(global work index,GWI)、整体有用功(global constructive work,GCW)、整体无用功(global wasted work,GWW)及整体做功效率(global work efficiency,GWE)。其中,GWI为PSL内的总面积,是从二尖瓣关闭到二尖瓣开放的左室全部做功;GCW为有助于心室射血的做功,包括收缩期心肌缩短及等容舒张期心肌伸长;GWW为不利于射

血的做功,包括收缩期心肌伸长及等容舒张期心肌缩短; $GWE = GCW / (GCW + GWW) \times 100\%$ 。还可以根据17节段左室模型计算出每个节段的有用功(CW)、无用功(WW)及作效率(WE)。

3 无创心肌做功的临床应用

3.1 评估心肌能量代谢 Russell等^[6]不仅证实了无创心肌做功的可行性,还证明了左室局部PSL面积和心肌葡萄糖代谢之间有很强的相关性。其在6例左束支传导阻滞(LBBB)患者中,使用18-氟脱氧葡萄糖正电子发射断层扫描(¹⁸F-FDG-PET)观察心肌代谢,显示室间隔心肌¹⁸F-FDG摄取值降低,而无创PSL区域局部心肌做功分布与糖代谢模式一致,所有患者的PSL面积节段值与局部FDG摄取之间均有很强的相关性($r=0.81$)。该研究结果进一步支持PSL反映心肌做功分布的结论。

3.2 评估运动员及存在心血管危险因素人群的心血管风险 耐力训练是否有益于心血管系统,一直存在争议。目前已证实在业余运动员马拉松训练后左室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)出现异常,产生亚临床心功能不全,但GLS的负荷依赖可能导致研究结果偏倚。Sengupta等^[7]对24例南亚业余运动员在参加半程马拉松前、结束后2h内和结束后72h进行经胸超声心动图(TTE)检查,结果显示心肌做功出现了2种趋势:第1组($n=11$)在马拉松前后GWI无显著变化;第2组($n=13$)GWI在运动期间增加,在结束后恢复基线水平。两组之间的GWW、GWE及GCW没有显著差异;而第2组受试者运动后即刻心率及脑钠肽(BNP)水平较高,提示心肌应激的存在。该研究显示,无创心肌做功能够识别耐力运动下的不同心肌功能变化,提示对于部分人群,耐力运动会随着心率增加引起更高的心肌消耗,这可能是心脏应激的早期表现,其长期意义还需要进一步探讨。

有研究^[8]回顾性地纳入了无结构性心脏病及心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)危险因素的健康人120例,无结构性心脏病但有CVD危险因素(高血压、高脂血症、糖尿病、吸烟史、CVD家族史)的患者30例,无心力衰竭的心肌梗死(STEMI)患者30例,缺血性射血分数降低的心衰(HFREF)患者30例。研究显示:总人群中GWE与LVEF显著相关($r=0.80, P<0.001$),存在CVD危险因素人群及CVD患者的GWE与LVEF无显著相关性;

健康人及仅有CVD危险因素的人群左室GWE为96.0%,STEMI组GWE下降为93%($P<0.001$),而HFREF组GWE降低为69%($P<0.001$)。结果提示仅存在CVD危险因素不会降低左室GWE,而无心力衰竭的STEMI和缺血性HFREF患者的GWE逐渐下降。GWE是否可以预测STEMI患者进展为缺血性心肌病,有待进一步研究。

3.3 预测冠心病 早期发现和治疗冠心病(coronary atherosclerotic disease, CAD)至关重要,但是在CAD早期常规超声心动图参数常保持正常。Edwards等^[9]对115例LVEF大于55%且无节段性室壁运动异常的患者进行TTE检查,TTE检查后3h内行冠状动脉(冠脉)造影,将一支或多支主要冠脉狭窄 $\geq 70\%$ 定义为显著性CAD,结果显示:所有CAD患者的GLS($P<0.05$)和GWI($P<0.001$)均显著低于对照组,单支和多支血管CAD亚组间GWI无统计学差异;单支血管CAD患者与对照组间GLS无统计学差异,多支血管CAD亚组GLS明显降低($P<0.001$);GWI是显著性CAD最强的预测因子(AUC=0.786),优于GCW(AUC=0.746)、GLS(AUC=0.693)和GWE(AUC=0.650)。这项研究表明,GWI能识别常规TTE参数无法识别的CAD患者,并能敏感地预测显著的冠脉狭窄。

急性冠脉闭塞(acute coronary occlusion, ACO)能够引起相应灌注区缺血和收缩功能障碍,该区域被称为功能危险区(functional risk area, FRA)。Boe等^[10]选择了150例临床诊断为非ST段抬高急性冠脉综合征(NSTE-ACS)并计划入院后3d内行冠脉造影的患者,在冠脉造影之前行TTE,发现存在大于或等于4个节段FRA MWI $1700 \text{ mmHg}\%$ 对于预测ACO显示出良好的灵敏度和特异度(81%、82%)。这项研究显示了局部WI对于识别NSTE-ACS患者ACO优于传统参数,能为NSTE-ACS患者选择早期冠脉造影及介入治疗提供更多证据。

STEMI早期左室不良重构与心衰发生和死亡率升高有关。Lustosa等^[11]纳入了350例行介入治疗的STEMI患者,在其入院后48h和STEMI发生3个月时进行超声心动图检查,记录左室整体及罪犯血管局部的WI和WE,结果显示:STEMI早期是否发生不良重构与罪犯血管位置无关,发生早期左室不良重构的患者在出院前已经出现GWI、

GWE、GLS及罪犯血管区域WI和WE降低;罪犯血管区域WI降低对早期左室重构的预测优于常规超声心动图参数(如GLS和LVEF);局部WI小于1 129 mmHg%预示着早期左室重构,而局部WI大于1 460 mmHg%有高达89%的负预测价值。因此,使用罪犯血管区域WI有助于早期识别STEMI患者的不良左室重构风险,并指导随访和药物治疗。

3.4 评估高血压病(HTN)和扩张型心肌病(CMP) 为了探究不同疾病的无创心肌做功模式,Chan等^[12]前瞻性地招募了HTN和CMP患者及冠脉造影显示无明显冠心病的对照组,将HTN组分为HTN 1级组和HTN 2/3级亚组,CMP患者分为非缺血性CMP(CMPN-ISC)组和缺血性CMP(CMPISC)亚组。结果显示:与对照组相比,HTN 1级亚组GWI和GCW均有升高趋势($P=0.90, P=0.87$),HTN 2/3级患者亚组GWI和GCW均升高($P<0.05, P=0.0001$);与对照组相比,CMPN-ISC亚组的GWI显著降低、GWW显著增加(均 $P<0.001$),CMPISC亚组GWI进一步降低($P<0.001$)、GWW无明显改变($P=0.49$)。该研究发现,在LVEF和GLS保留的HTN患者中,GWI会随着后负荷增加升高,但是由于GCW和GWW按比例增加,GWE无改变,证实GWI比GLS能更敏感地反映后负荷的增加。

3.5 识别肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM) Hiemstra等^[13]纳入了110例非梗阻性HCM患者及35例健康受试者,将HCM根据表型分为心尖肥厚型、向心肥厚型和室间隔肥厚型,中位随访期5.4(3.0~7.8)年;联合终点事件:全因死亡、心脏移植、心衰住院治疗、心源性猝死后幸存及植入ICD治疗。结果显示:与对照组相比,HCM患者平均GCW、GWE和GWI显著降低,GWW显著增加(均 $P<0.001$);在整体及节段水平上,CW都是减少最显著的心肌做功参数,且不同表型的HCM之间CW存在节段性差异,因此评价节段CW有助于鉴别HCM的类型;GCW与临床不良结局显著相关($P<0.001$),提供了临床上识别高危HCM患者的新思路。

Galli等^[14]招募了82例非梗阻性HCM患者及20名健康人,其中70例HCM患者接受了心脏磁共振显像(CMR),根据Maron分类法将HCM分为I~IV型。结果显示:尽管LVEF正常,但HCM患者的GCW仍较对照组降低($P<0.0001$),不同

分型亚组之间GCW没有差异($P=0.43$);CMR显示纤维化程度明显的患者GCW明显减少($P<0.0001$)。GCW是心肌纤维化的唯一预测因子,其预测心肌纤维化的截点值为1 623 mmHg%($AUC=0.80, P<0.0001$),灵敏度可达82%。GCW不仅能够较敏感地识别早期心肌纤维化,还能评估心肌的代谢紊乱程度,有望成为评估心室纤维化的有效工具。

3.6 再同步化治疗疗效的评估 心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)是左室不同步性心衰患者的重要治疗方法,然而30%~40%的患者对CRT无应答,这意味着目前的筛选指标还有局限性。为了探究无创心肌做功能否识别CRT无应答者,Vecera等^[15]前瞻性地纳入21例心衰患者,在基线及CRT后(8±3)个月进行自身对照和组间对照,结果显示:CRT后有应答者GWW和室间隔WW显著减少($P<0.01$),无应答组GWW及室间隔WW无明显变化;基线室间隔WW水平是对CRT反应的唯一独立预测因子($P=0.028$),ROC分析显示其预测CRT的能力($AUC=0.8$)优于室壁运动评分指数(WMSI; $AUC=0.63, P<0.05$),两者联合预测CRT的能力进一步升高($AUC=0.86$)。这提示心肌做功参数能为合理选择CRT患者提供帮助,可能成为CRT适应证制定的有效指标。

4 小结

无创心肌做功是最新发展的一项超声心动图技术,具有无创、简便、敏感、可重复性高的优点,克服了后负荷对心肌形变的影响,能评估多种心血管疾病,有良好的应用前景。但是,PSL并不能完全等同于心肌做功,而仅是心肌做功的替代指标;用PSL计算心肌做功时未考虑左室的几何形状、室壁厚度和张力,也未考虑心室舒张期的心肌做功;在某些疾病如主动脉瓣狭窄、梗阻性HCM、外周血管病变等,肱动脉收缩压与真实左室压力之间误差较大。目前缺乏中国人心肌做功各参数的参考标准,仍需要进一步探索。

参考文献

- [1] SUGA H. Total mechanical energy of a ventricle model and cardiac oxygen consumption[J]. Am J Physiol, 1979, 236(3): H498-H505.
- [2] PACHER P, NAGAYAMA T, MUKHOPADHYAY P, et

- al. Measurement of cardiac function using pressure-volume conductance catheter technique in mice and rats[J]. *Nat Protoc*, 2008, 3(9): 1422-1434.
- [3] SHOUCRI RACHAD M. End-systolic pressure-volume relation, ejection fraction, and heart failure: theoretical aspect and clinical applications [J]. *Clin Med Insights Cardiol*, 2015, 9 (Suppl 1): 111-120.
- [4] MAURER M S, KING D L, RUMBARGER L E K, et al. Left heart failure with a normal ejection fraction: Identification of different pathophysiologic mechanisms[J]. *J Card Fail*, 2005, 11(3): 177-187.
- [5] URHEIM S, RABBEN S I, SKULSTAD H, et al. Regional myocardial work by strain Doppler echocardiography and LV pressure: a new method for quantifying myocardial function [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2005, 288 (5): H2375-H2380.
- [6] RUSSELL K, ERIKSEN M, AABERGE L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(6): 724-733.
- [7] SENGUPTA S, JAIN R, BURKULE N, et al. Myocardial work index: a novel method for assessment of myocardial function in South Asian recreational athletes[J]. *J Patient Cent Res Rev*, 2020, 7(2): 147-156.
- [8] EL MAHDIUI M, VAN DER BIJL P, ABOU R, et al. Global left ventricular myocardial work efficiency in healthy individuals and patients with cardiovascular disease[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(9): 1120-1127.
- [9] EDWARDS N F A, SCALIA G M, SHIINO K, et al. Global myocardial work is superior to global longitudinal strain to predict significant coronary artery disease in patients with normal left ventricular function and wall motion[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(8): 947-957.
- [10] BOE E, RUSSELL K, EEK C, et al. Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation—acute coronary syndrome[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16 (11): 1247-1255.
- [11] LUSTOSA R P, FORTUNI F, VAN DER BIJL P, et al. Left ventricular myocardial work in the culprit vessel territory and impact on left ventricular remodelling in patients with ST-segment elevation myocardial infarction after primary percutaneous coronary intervention [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020.
- [12] CHAN J, EDWARDS N F A, KHANDHERIA B K, 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] HIEMSTRA Y L, VAN DER BIJL P, EL MAHDIUI M, et al. Myocardial work in nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy: implications for outcome[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(10):1201-1208.
- [14] GALLI E, VITEL E, SCHNELL F, et al. Myocardial constructive work is impaired in hypertrophic cardiomyopathy and predicts left ventricular fibrosis[J]. *Echocardiography*, 2019, 36(1): 74-82.
- [15] VECERA J, PENICKA M, ERIKSEN M, et al. Wasted septal work in left ventricular dyssynchrony: a novel principle to predict response to cardiac resynchronization therapy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(6): 624-632.

[本文编辑] 姬静芳