

无创左室压力-应变环技术在心血管疾病中的应用进展

张鹏英 薛 婷 任 斐 张 洁

摘 要 无创左室压力-应变环技术通过测量心肌应变和左室压力,为定量评估心肌做功提供了一种新方法。心肌做功对诊断早期心肌功能障碍有较高的敏感性,在识别左室心肌亚临床功能受损方面优于左室射血分数和整体纵向应变,对多种心血管疾病的诊断和预后具有重要价值。本文就无创左室压力-应变环技术在心血管疾病中的应用进展进行综述。

关键词 左室压力-应变环;心肌做功;心肌功能;应变
[中图法分类号]R540.45 [文献标识码]A

Application progress of non-invasive left ventricular pressure-strain loop in cardiovascular disease

ZHANG Pengying, XUE Ting, REN Fei, ZHANG Jie

Department of Ultrasound, the Affiliated Lianyungang Hospital of Xuzhou Medical University, Jiangsu 222000, China

ABSTRACT Non-invasive left ventricular pressure-strain loop provides a novel method for the quantitative assessment of myocardial work by measuring myocardial strain and left ventricular pressure. Myocardial work has high sensitivity for the diagnosis of early myocardial dysfunction, and is superior to left ventricular ejection fraction and global longitudinal strain in the recognition of left ventricular myocardial subclinical dysfunction, which is of great value in the diagnosis and prognosis of cardiovascular diseases. This paper reviews the application progress of non-invasive left ventricular pressure-strain loop technology in cardiovascular diseases.

KEY WORDS Left ventricular pressure-strain loop; Myocardial work; Myocardial function; Strain

心肌功能的评估是超声心动图检查的重要组成部分。左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)在心肌功能的评估中有重要地位,尽管存在较多局限性,但仍是目前最常用的收缩功能参数。然而,LVEF作为一个整体功能参数,依赖于几何假设,不能体现局部的心肌功能,且受后负荷的影响存在不准确性^[1]。二维斑点追踪超声心动图(two dimensional speckle tracking echocardiography, 2D-STE)与常规二维超声心动图和组织多普勒相比,无角度依赖性、重复性好,可多角度地评估心肌运动。研究^[2]表明2D-STE能综合评估左室心肌整体和局部功能,对心肌功能的评估优于LVEF。然而,2D-STE的负荷依赖性可影响心肌功能评估的准确性。已有研究^[3]证实后负荷增加可使应变值降低,但并不意味着收缩功能受损,因此容易导致对真实心肌功能的误判。在动物模型试验^[4]中同样证实了这一观点,后负荷升高30 mm Hg(1 mm Hg=0.133 kPa),左室整体应变值明显降低,而无创左室压力-应变环结果不受此影响,故本文就无创左室压力-应变环技术在心血管疾病中的

应用进展进行综述。

一、无创左室压力-应变环的基本原理及应用范围

心肌做功是一种评估左室心肌功能的新参数,由左室压力-应变环分析所得,避免了负荷依赖的影响,为心肌功能的评估提供了增量价值^[1]。做功定义为力乘以位移的距离,而压力-应变环采用应变表示距离,室壁压力代表力。该技术由Russel团队研发,将无创动态左室压力与2D-STE所测的应变指标相结合,形成左室压力-应变环,其环内面积代表二尖瓣关闭到二尖瓣开放的总做功,该原理在动物模型中进行了广泛的血流动力学试验,并在18例慢性心力衰竭患者中得到验证^[5-6],同时还证明无创左室压力-应变环与有创测量的左室压力-应变环具有良好的相关性,该结论在Hubert等^[7]研究中也得到了证实。目前该技术已被应用于评价多种心脏病对心肌力学的影响,如高血压病、冠状动脉粥样硬化性心脏病(以下简称冠心病)、心肌梗死、心力衰竭等。相关研究^[8-9]证实心肌做功是判断心脏再同步化治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)反应

基金项目:连云港市卫生计生科技项目(201805);连云港市第一人民医院医疗技术扶持项目

作者单位:222000 江苏省连云港市,徐州医科大学附属连云港医院超声科(张鹏英、薛婷、张洁),心血管内科(任斐)

通讯作者:张洁, Email: zj6100@163.com

的一个强有力的预测因子,在识别急性冠状动脉综合征方面优于 LVEF 和整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)^[10-11],且不受左室峰值压力的影响,是评价心肌功能更可靠的指标。

二、心肌做功的主要参数

心肌做功的主要参数有:①整体心肌做功指数(global myocardial work index, GWI),即从二尖瓣关闭到二尖瓣开放的左室压力-应变环区域内的总做功;②整体心肌有效做功(global myocardial constructive work, GCW),指有助于左室射血所做的功,即收缩期心肌缩短和等容舒张期心肌延长所做的功;③整体心肌无效做功(global myocardial wasted work, GWW),指不利于左室射血所做的功,即收缩期心肌延长和等容舒张期心肌缩短所做的功;④整体心肌做功效率(global myocardial work efficiency, GWE),计算公式为:有效功/(有效功+无效功)×100%,反映机械能在整个心动周期中做功的效率。研究^[11-14]发现,心肌受损程度越重、范围越大,则 GWI、GCW 和 GWE 降低越明显, GWW 升高越显著,如冠心病、CRT、肥厚型心肌病等;而高血压病患者收缩压越高, GWI、GCW 和 GWW 升高越显著,但 GWE 无明显变化。

三、无创左室压力-应变环技术在健康个体中的应用

确定心肌做功的正常参考值范围对各种心血管疾病的诊断和评估预后至关重要。Manganaro 等^[15]在一项纳入 226 例健康受试者的研究中得出,健康个体的左室 GWE 正常值为 96% (94%~97%)。理论上,当心肌舒缩正常且后负荷合适,同时各节段在每个心动周期内均能同步收缩、舒张,左室 GWE 应接近 100%。然而,研究^[16]发现无任何器质性心血管疾病及心血管危险因素的健康个体左室 GWE 为 96.0% (95.0%~96.3%),分析其原因是纳入的健康个体存在轻度左室运动不同步。此外,该技术本身的局限性也可能导致正常值的变化,毕竟左室整体心肌做功只是估测值,而非直接测量值。

然而, Russell 等^[5]研究表明应用无创左室压力-应变环技术评估的心肌做功与 PET 显示的心肌糖代谢显著相关($r=0.81$, $P<0.05$),证实了无创左室压力-应变环技术是心肌力学的有效检测手段。同时, Larsen 等^[17]也发现无创左室压力-应变环技术评估的局部心肌做功与 MRI 结果相关($r=0.71$, $P<0.05$)。Galli 等^[18]在一项纳入 115 例健康个体的研究中得出心肌做功的正常值参考范围: GWI 为 (1926±247) mm Hg%, GCW 为 (2224±229) mm Hg%, GWW 为 90 (61~123) mm Hg%, GWE 为 96% (94%~97%);且女性 GWI 和 GCW 均高于男性。Manganaro 等^[19]在一项纳入 226 例健康受试者的研究中发现, GWI 与 GLS、LVEF、收缩压和整体径向应变均相关($\beta=-0.23$ 、 0.15 、 0.56 、 0.19 , 均 $P<0.05$); GCW 与 GLS、收缩压、整体径向应变和整体圆周应变均相关($\beta=-0.55$ 、 0.71 、 0.11 、 -0.10 , 均 $P<0.05$); GWW 与 Tei 指数相关($\beta=0.17$, $P<0.05$),与 LVEF 呈负相关($\beta=-0.14$, $P<0.05$); GWE 与 LVEF 直接相关($\beta=0.18$, $P<0.05$),与 Tei 指数呈负相关($\beta=-0.20$, $P<0.05$)。

四、无创左室压力-应变环技术在高血压病中的应用

无创左室压力-应变环技术作为一种具有潜在优势的新技术,避免了后负荷的影响,可更好地了解不同负荷条件下左室重构与室壁压力之间的关系。该技术能充分考虑到高血压病患者后负荷增加引起的心功能变化^[20]。在高血压病患者中,左

室射血需要克服动脉高压,短时间内每搏量会减少,为代偿升高动脉压力,左室心肌做功将增加,最终将反映更高水平的 GWI^[20]。在一定压力下,心肌为适应后负荷的增加, GWI 相应增加,从而 LVEF 和心内膜 GLS 得以保留。研究^[16]发现无器质性或功能性病变时,心血管危险因素(如高血压病)单独存在不会对左室 GWE 产生负面影响。然而,长期的心脏负荷增加可导致左室僵硬增加、心室重构,最终导致左室功能衰竭。Chan 等^[1]研究显示收缩压 ≥ 160 mm Hg 的患者总体心肌做功明显高于正常健康成人,早期 GLS 保留, GCW 和 GWW 按比例增加, GWE 保持不变。长期后负荷持续增高可引起心肌肥厚,以代偿收缩末期室壁压力的增加,最终导致 GWI 显著增加。

五、无创左室压力-应变环技术在冠心病中的应用

冠心病在早期阶段虽无症状,但 20%~25% 的冠心病患者起病即为心源性猝死,故其临床早期识别和诊断非常重要。应用常规超声心动图早期诊断冠心病仍具有挑战性,因为在病程的早期阶段,患者常并未发生心肌梗死或心肌损伤,可表现为左室容积和 LVEF 均正常,静息状态下节段性室壁运动异常亦不明显^[21]。Boe 等^[10]在一项纳入 126 例非 ST 段抬高型心肌梗死患者的研究中发现,4 个以上相邻节段的心肌做功均 <1700 mm Hg% 诊断冠心病的准确率明显优于 GLS 和 LVEF,且重复性好。然而,无冠心病的高血压病患者的 2D-STE 测量结果显示 8 个相邻节段受损,导致这一假象的原因并非这些节段存在心肌功能障碍,而是受到后负荷的影响^[10]。

对于有严重冠状动脉疾病(指单支或多支主要冠状动脉血管腔狭窄 $\geq 75\%$)的患者,早期发现和干预对预防心脏不良事件(如导致左室功能障碍的心肌梗死)的发生至关重要。近期研究^[11]显示,当 GWI 截断值为 1810 mm Hg%,可有效检测出无节段性室壁运动异常且 LVEF 正常的显著冠状动脉狭窄患者,其诊断敏感性为 92%,特异性为 51%。同时还发现 GWI 和 GCW 显著降低可反映冠心病患者早期心肌血流减少导致的心肌细胞代谢减少的病理状态,这一变化发生于室壁运动出现异常之前。无创左室压力-应变环技术对早期检测心肌功能障碍具有较高的敏感性,在识别早期亚临床左室心肌功能障碍方面优于 LVEF 和 GLS^[10-11]。

六、无创左室压力-应变环技术在心脏 CRT 中的应用

CRT 是一种有效的非药物治疗手段,通过纠正心力衰竭患者房室、室间、室内不同步运动,从而改善收缩期心力衰竭和宽 QRS 波(>120 ms)患者的临床症状、左室功能和长期预后^[22]。然而,研究^[23]表明仍有 25%~35% 的患者不能从中获益,即 CRT 手术后无反应或无应答。CRT 的纳入标准基于美国纽约心脏病协会功能分类 III~IV 级, LVEF $<35\%$,以及 QRS 波群时限 >120 ms 的患者,但目前仍然不能准确判断哪些患者将会受益。研究^[24]表明,多巴酚丁胺负荷超声心动图的收缩储备与 CRT 患者的生存率和反应有较好的相关性,但该技术依赖于操作人员的主观判断,以及能否达到目标心率的限制。左室压力-应变环技术可提供节段性心肌做功、残余心肌活力和心肌收缩力等多种信息, CRT 有反应者 GCW 更高^[24-25]。在健康个体中,所有的左室节段以一种相对同步的方式收缩,从而促使血液泵入主动脉。然而,心力衰竭或左束支传导阻滞患者,激活的节段在不同时刻收缩,能量浪费在运动相反的节段上^[26],左室

GWE明显降低。最近一项研究^[27]表明,通过无创左室压力-应变环技术定量评估的GCW是CRT反应的独立预测因子,GCW是评估心力衰竭患者CRT反应的有效指标。

七、局限性及应用前景

无创左室压力-应变环技术仍有一定局限性:首先,心肌做功并非直接测量值,而是一个估测值;此外,图像质量不佳的患者限制了2D-STE的准确性,从而导致心肌做功的定量评估不理想。若无创代替有创,即用肱动脉压力代替左室压力,当存在两者压力不一致的情况时(如左室流出道梗阻和主动脉瓣严重狭窄的患者),评估的心肌做功结果并不准确,且无创收缩压袖带测量的精准性低于左室侵入性血压测量。此外,左室心肌做功参数是基于2D-STE测得的新参数,同样受图像质量的限制,且每家供应商提供的GLS正常值范围不完全相同,而目前用于测量左室整体心肌做功参数的软件仅由GE一家超声仪器供应商提供,其数据的精准性还有待进一步研究,且数据的采集和处理步骤耗时,需要经验丰富的专家读取。

综上所述,无创左室压力-应变环技术在评价心肌功能方面有巨大的潜力。在心脏病学中,虽然一直意识到负荷依赖性的存在,但无法在超声测量中客观体现。无创压力-应变技术可将后负荷整合到左室功能参数中以克服LVEF和左室整体应变的负荷依赖,使基本的血流动力学原理能够以一种新的方式应用于临床实践,可为心肌功能的临床评估提升一个新的高度,更全面、更真实地反映心肌功能,具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] Chan J, Edwards N, Khandheria BK, 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.
- [2] Chan J, Shiino K, Obonyo NG, et al. Left ventricular global strain analysis by two-dimensional speckle-tracking echocardiography: the learning curve [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(11): 1081-1090.
- [3] Hubert A, Le Rolle V, Leclercq C, et al. Estimation of myocardial work from pressure-strain loops analysis: an experimental evaluation [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(12): 1372-1379.
- [4] Boe E, Skulstad H, Smiseth OA. Myocardial work by echocardiography: a novel method ready for clinical testing [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(1): 18-20.
- [5] 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.
- [6] Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2013, 305(7): 996-1003.
- [7] Hubert A, Le Rolle V, Leclercq C, et al. Estimation of myocardial work from pressure-strain loops analysis: an experimental evaluation [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(12): 1372-1379.
- [8] 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.
- [9] Galli E, Leclercq C, Hubert A, et al. Role of myocardial constructive work in the identification of responders to CRT [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(9): 1010-1018.
- [10] Boe E, Russell K, Eck 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] Edwards N, Scalia GM, 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.
- [12] Zhu M, Wang Y, Cheng Y, et al. The value of non-invasive myocardial work indices derived from left ventricular pressure-strain loops in predicting the response to cardiac resynchronization therapy [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(4): 1406-1420.
- [13] Hiemstra YL, van der Bijl P, El MM, et al. Myocardial work in nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy: implications for outcome [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(10): 1201-1208.
- [14] Tadic M, Cuspidi C, Pencic B, et al. Association between myocardial work and functional capacity in patients with arterial hypertension: an echocardiographic study [J]. *Blood Press*, 2021, 30(3): 188-195.
- [15] Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(5): 582-590.
- [16] El MM, 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.
- [17] Larsen CK, Aalen JM, Stokke C, et al. Regional myocardial work by cardiac magnetic resonance and non-invasive left ventricular pressure: a feasibility study in left bundle branch block [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(2): 143-153.
- [18] Galli E, John-Matthews B, Rousseau C, et al. Echocardiographic reference ranges for myocardial work in healthy subjects: a preliminary study [J]. *Echocardiography*, 2019, 36(10): 1814-1824.
- [19] Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Correlation between non-invasive myocardial work indices and main parameters of systolic and diastolic function: results from the EACVI NORRE study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(5): 533-541.
- [20] Kuznetsova T, D'Hooge J, Kloch-Badelek M, et al. Impact of hypertension on ventricular-arterial coupling and regional myocardial work at rest and during isometric exercise [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012, 25(8): 882-890.
- [21] Galli E, Lancellotti P, Sengupta PP, et al. LV mechanics in mitral and aortic valve diseases: value of functional assessment beyond ejection fraction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(11): 1151-1166.
- [22] Brignole M, Auricchio A, Baron-Esquivias G, et al. 2013 ESC guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: the task force on cardiac pacing and resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC). Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA) [J]. *Europace*,

2013, 15(8):1070-1118.

[23] Daubert C, Cazeau S, Ritter P, et al. Past, present and future of cardiac resynchronization [J]. Arch Cardiovasc Dis, 2012, 105(5): 291-299.

[24] Galli E, Leclercq C, Hubert A, et al. Role of myocardial constructive work in the identification of responders to CRT [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(9):1010-1018.

[25] 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.

[26] Bernard A, Donal E, Leclercq C, et al. Impact of cardiac resynchronization therapy on left ventricular mechanics: understanding the response through a new quantitative approach based on longitudinal strain integrals [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2015, 28(6):700-708.

[27] Galli E, Hubert A, Le Rolle V, et al. Myocardial constructive work and cardiac mortality in resynchronization therapy candidates [J]. Am Heart J, 2019, 212(6):53-63.

(收稿日期:2020-04-10)

· 病例报道 ·

Ultrasonic manifestations of tibial nerve synovial sarcoma: a case report

胫神经滑膜肉瘤超声表现 1 例

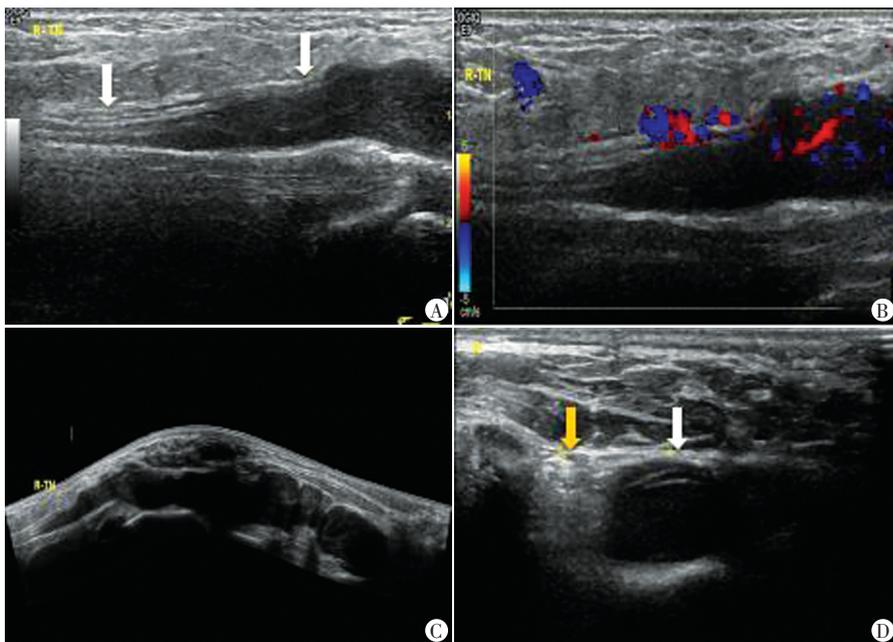
沈素红 付卓 耿丰勤

[中图法分类号]R445.1

[文献标识码]B

患者男,47岁,于2年半前发现右足底部出现肿块并疼痛,间断给予中药熏洗、针灸、冲击波等治疗,效果欠佳。今因肿块进行性生长,行走时疼痛加重,遂来我院就诊。肌电图提示:右侧胫神经内踝以下段感觉支及运动支损害。MRI平扫提示:右足踝部内侧软组织内占位性病变,建议进一步MRI增强扫描协诊。超声检查:于右内踝近端延续至足底中远端软组织内可探及一范围约16.4 cm×1.8 cm×3.4 cm 偏低回声肿物,局部呈串珠状,边界尚清晰,形态不规则,未见明显包膜,内回声不均。肿物近端起始于胫神经,远端主要累及胫神经足底外侧支,胫神经足底内侧支走行回声未见异常。CDFI示肿物内可探及丰富血流信号(图1)。超声提示:右内踝延续至足底软组织内偏低回声肿物,考虑胫神经来源肿瘤,恶性可能。患者于全身麻醉下行肿物切除术,术中见胫神经足底外侧支膨大呈串珠状,边界清,质硬,最大者达3.5 cm×2.5 cm×2.5 cm,病变累计长度约16 cm(图2)。将病变胫神经完整剥离并切除送病理检查,病理提示:右足部肿物由神经纤维出现病变变粗变大引起,免疫组化:EMA病灶(+),CD99(+),bcl-2(+),CD20(-),CD31(-),CD34(-),CK(-)。病理诊断:考虑为滑膜肉瘤,建议进一步分子检测(图3)。

讨论:滑膜肉瘤是一种恶性软组织肿瘤,预后差,易发生远处转移^[1]。因好发于四肢关节部位,最初被认为起源于滑膜组织,实际上仅不足5%的滑膜肉瘤与滑膜有关,目前公认其起源于未分化的原始间充质细胞^[2]。发生于外周神经的滑膜肉瘤



A: 二维超声示肿瘤起源于胫神经(箭头示内踝处胫神经); B: CDFI探及肿瘤内丰富的血流信号; C: 肿瘤宽景图像示肿瘤形态不规则,内呈不均质偏低回声,部分呈极低回声; D: 足底短轴切面示肿瘤累及胫神经足底外侧支(白箭头示),胫神经足底内侧支正常(黄箭头示)

图1 胫神经滑膜肉瘤超声图像

(下转第545页)