

◆ 综述

Progresses of echocardiography in evaluation on ventricular-arterial coupling

JIANG Wenjun, ZHANG Yueli*

(Department of Ultrasound in Medicine, Shanghai Jiao Tong University Affiliated

Sixth People's Hospital, Shanghai Institute of Ultrasound in Medicine,

Shanghai 200233, China)

[Abstract] Ventricular-arterial coupling refers to the interaction between the heart and the arterial system, which is a critical factor of cardiovascular system to maintain normal physiological function and optimal energetic efficiency. Echocardiography can be used to evaluate cardiovascular coupling accurately and obtain the coupling index. This index is useful for detecting the cardiovascular system's functional changes early, reflecting the nature of cardiovascular changes, and predicting the occurrence of adverse cardiovascular events. The progress of echocardiography in evaluation on ventricular-arterial coupling was reviewed in this article.

[Key words] Echocardiography; Ventricular-arterial coupling; Elasticity

DOI:10.13929/j.1003-3289.2016.11.037

超声心动图评价心脏-血管耦联的研究进展

江文君 综述, 张跃力* 审校

(上海交通大学附属第六人民医院超声医学科 上海超声医学研究所, 上海 200233)

[摘要] 心脏-血管耦联指心脏与血管之间的相互作用,是心血管系统发挥正常生理功能及最佳效能的一个关键因素。超声心动图可准确评价心血管耦联并获取耦联指数。该指数有助于早期发现心血管系统的功能改变,反映心血管变化的本质,预测心血管事件的发生。本文对超声心动图评价心脏-血管耦联的研究进展进行综述。

[关键词] 超声心动描记术;心脏-血管耦联;弹性

[中图分类号] R541; R540.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2016)11-1765-04

心血管系统是一个统一的整体,动脉负荷及其血管弹性将影响左心室的功能状态,反之左心室的功能状态也同时改变动脉的特性,两者之间相互作用、相互协调,共同完成心脏的泵血功能;这种心脏和血管之间的相互作用就是心脏-血管耦联(ventricular-arterial coupling, VAC)。常用的心脏-血管耦联指数(ventricular vascular index, VVI)为有效动脉弹性(Ea)与左

心室收缩末弹性(Ees)的比值,即 $VVI = Ea/Ees$ 。左心室弹性-内阻理论^[1]认为心脏的搏功效能与 VVI 的关系近似纯电阻电路,只有 Ea 与 Ees 的合理匹配才能使得心脏发挥最大的搏功效能, VVI 的理想值为 0.3~1.3。另有研究^[2]认为静息状态下 VVI 的理想范围为 0.6~1.2。本文主要从 VAC 的评价方法及不同人群的 VAC 关系这两个方面加以综述。

1 VAC 的评价方法

1.1 容积指标法 容积指标法是应用容积来反映 VAC,即利用 Ea/Ees 计算出 VVI,是评价 VAC 的传统方法,也是最常见、应用最广泛的一种方法。Sunagawa 等^[3]最早提出 VAC 概念,其利用犬离体心脏建立三元弹性腔模型,提出动脉阻力可以用 Ea 来表

[基金项目] 上海市科学技术委员会科研计划项目(134119a5801)。

[第一作者] 江文君(1991—),女,安徽淮北人,在读硕士。研究方向:心脏超声。E-mail: jiangwenjun1991@163.com

[通信作者] 张跃力,上海交通大学附属第六人民医院超声医学科 上海超声医学研究所,200233。E-mail: zhangyueli2002@163.com

[收稿日期] 2016-04-21 **[修回日期]** 2016-07-13

示, E_a 采用评价心功能的时域法[左心室的压力-容积(P-V)曲线], 并通过公式 $E_a = \text{左心室收缩末压}(\text{end systolic pressure, ESP}) / \text{每搏量}(\text{stroke volume, SV})$ 计算得出; 同时 Sunagawa 等^[3] 还认为 E_a 可反映全身系统动脉负荷, 包括外周血管阻力(peripheral vascular resistance, PVR)、总的动脉顺应性、阻抗特性以及收缩与舒张时间, 故 E_a 可看作是体循环系统加在左心室上的动脉净负荷, E_a 增大则后负荷增大, E_a 减小则后负荷减小。该方法替代了传统血管的评价方法——频率法(血管阻抗), 可更好地研究心脏和血管之间的相互关系。Kelly 等^[4] 同样认为由 P-V 曲线得出的 E_a ($E_a = \text{ESP} / \text{SV}$) 可以为评价动脉负荷及动脉对左心室的影响提供方便有效的方法, ESP 的计算公式为: $\text{ESP} = [2 \times \text{收缩期血压}(\text{systolic blood pressure, SBP}) + \text{舒张期血压}(\text{diastolic blood pressure, DBP})] / 3$ 或者 $\text{ESP} = 0.9 \times \text{SBP}$ 。Sagawa 等^[5] 研究提出不同状态下的左心室收缩功能可以用 E_{es} 表示, E_{es} 增大表明心脏的心肌收缩力增强, 反之则心肌收缩力减弱; E_{es} 同样由 P-V 曲线得出, 计算公式为: $E_{es} = \text{ESP} / \text{左心室收缩末容积}(\text{end systolic volume, ESV})$ 。故 E_a / E_{es} 可作为 VVI 来反映二者之间的匹配关系, 由于它最初是基于 P-V 曲线得出的, 故可称之为容积指标法。

上述最初的一些相关研究^[3,5] 多以动物离体心脏为模型建立 P-V 曲线, 之后有研究^[6] 对人进行心导管插入术获取数据建立 P-V 曲线, 得出 E_a 和 E_{es} , 但由于该方法属于侵入性操作, 对患者有创伤性, 故临床应用受限。而超声心动图具有无创、方便、可实时观察等优点, 特别是近年来各种成像新技术的发展, 如实时三维超声心动图、应变与应变率成像等, 使得超声能够更准确地测量心脏的各项数据并对其进行功能评价, 从而无创获取 VVI。目前超声心动图已取代传统技术成为评价 VAC 快速有效的常用方法。有研究^[7] 还借助超声多普勒技术提出左心室流出道血流速度峰值(left ventricular outflow tract, LVOT)与其加速时间(acceleration time, AT)的比值反映 E_{es} , 但相比之下, 公式 $E_{es} = \text{ESP} / \text{SV}$ 仍是最常应用的。在进行 VAC 关系的研究中, 有时会用到左心室舒张末弹性(E_d)这一指标作对照, 其计算公式为: $E_d = [\text{舒张早期二尖瓣血流速度}(E) / \text{舒张早期二尖瓣环运动速度}(e)] / \text{SV}$ ^[8]; Yoon 等^[9] 认为 E_d 可作为预测心力衰竭患者新发房颤的一项指标。

1.2 应变指标法 近年, 有研究^[10-14] 表明应变指标也

可用来评价 VAC。罗向红等^[10] 发现等容舒张末期心尖水平内膜下心肌环向应变和收缩末期心底水平心内膜下心肌环向应变与 VVI 独立相关, 表明心肌应变可反映 VAC。另有李朝军等^[11-13] 同样提出心肌纵向应变能敏感地反映系统动脉的僵硬度和阻抗, 体现心肌做功和功能, 可用来评价 VAC, 且心尖的纵向应变与 VVI 的相关性可能更高, 可作为 VVI 的独立预测指标。张丽等^[14] 研究指出以左心室收缩期最大径向应变与颈动脉舒张期最大径向应变之和作为评价 VAC 的应变指标, 与传统的容积指标相比具有高度相关性及较高的重复可靠性。

2 不同人群的 VAC

2.1 健康人群的 VAC 罗向红等^[10] 应用实时三维超声结合运动负荷试验的方法对健康成人进行研究, 发现 E_a 和 E_{es} 在运动的峰值期增大, 恢复期减小 ($P < 0.05$), 而 VVI 在不同时期无明显变化, 维持“恒定”, 表明心脏、血管存在耦联关系。另有研究^[15] 利用二维超声也得出相同的结果, 表明健康人群运动后血管弹性及左心室弹性呈一致性增大, 心脏-血管的弹性匹配、功能耦联维持在一个狭窄的范围。

同时, 年龄和性别也是影响健康人群 VAC 的主要因素。Redfield 等^[16] 研究指出健康人的 E_a 和 E_{es} 随着年龄的增长而增大, 但女性的 E_{es} 随年龄的增长较男性增大得更多, 故女性的 VVI 随着年龄的增长稍减小。而在健康男性人群中, 其 VVI 随着年龄的增长仍保持在一定的范围基本不变^[17], 表明 E_a 和 E_{es} 的增大相互匹配。Li 等^[18] 对健康青年进行研究并发现静息期、运动高峰期及恢复期女性的 E_d 、VVI 均高于男性, E_{es} 低于男性, 但 E_a 两者间无明显差异, 表明 VAC 存在性别差异。

2.2 高血压人群的 VAC 高血压是心血管系统最常见的疾病之一, 也是导致心血管事件发生的重要危险因素, 评价高血压患者的 VAC 有助于了解其心血管结构与功能的改变。Scali 等^[19] 研究指出高血压患者的 E_a 增高 ($P < 0.01$), E_{es} 和 VVI 的差异无统计学意义, 二者耦联处于正常范围。罗向红等^[20] 研究发现高血压患者的 E_a 和 E_d 较健康人明显增高 ($P < 0.05$), E_{es} 和 VVI 两者差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 表明高血压患者动脉与心脏的弹性变化相互匹配耦联, 有利于保持心脏的搏出功能; 而该研究中 E_d 增高, E_{es} 变化不明显, 提示心功能正常的高血压患者, 心脏的舒张弹性损伤早于收缩弹性。罗向红等^[21] 的另一研究认为高血压病组的 E_a 、 E_{es} 较对照组增高, 但 VVI 在

正常范围,表明高血压患者心血管间存在耦联关系。

2.3 心力衰竭人群的 VAC

2.3.1 收缩性心力衰竭 心力衰竭是以心脏泵血功能障碍为特征的一种疾病,心脏泵血难以满足机体代谢组织的需要,以收缩性心力衰竭较常见。心力衰竭患者的 VVI 有助于评估预后^[22]。Wang 等^[23]研究发现射血分数减低的心脏衰竭患者 Ea 增大, Ees 减小 ($P < 0.001$), VVI 增大 ($P < 0.01$), 表明心力衰竭患者的 VAC 超出正常范围,二者耦联欠佳,心血管功能状态受损,心脏工作效率下降。Yip 等^[24]也提出了相一致的结论。Scali 等^[19]与前述研究不同的是用 Ees/Ea 表示 VVI,故认为收缩性心力衰竭患者的 Ees 和 VVI 均减小 ($P < 0.01$),其结论与前述研究相符。

2.3.2 射血分数保留性的心力衰竭 (heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF) 约有 40% 的心力衰竭患者其射血分数 $\geq 50\%$, 这种类型的心力衰竭被称为 HFpEF, 多见于老年女性^[25]。多个研究^[23-24, 26]认为尽管 HFpEF 患者的 Ea 和 Ees 增高, 但 VVI 与正常对照组相比无明显差异, 说明 HFpEF 患者的 Ea 和 Ees 为成比例的匹配性增高, 二者仍然处于相互耦联的状态。但也有研究^[6]发现 HFpEF 患者的 Ea 和 Ees 的增高不成比例, Ees 的增高大于 Ea, VVI 表现为减低, 二者不相匹配。以上研究结果存在差异的原因可能与选取的 HFpEF 病例及各研究对照组的异质性有关, 但多数研究认为 HFpEF 患者的 VVI 处于正常范围之内, 与正常人之间的差异无统计学意义。

2.4 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 人群的 VAC T2DM 是糖尿病中最常见的类型, 有研究^[27]指出 T2DM 患者的外周及中央动脉硬度增加, 顺应性减低。该疾病长期进展可并发多器官病变, 引起心脏的收缩压增高、左心室肥大等, 易导致糖尿病的独立并发症即糖尿病性心脏病。因此, 评价 T2DM 患者 VAC 关系对了解其心血管病变程度, 预测心血管事件发生具有重大意义^[28]。张晓红等^[29]研究认为 T2DM 组的 Ea、Ed 较对照组明显增高, Ees 及 VVI 两组差异无统计学意义, 表明 T2DM 患者的心血管之间相互关联。李朝军等^[11]研究通过斑点追踪技术获取心肌纵向应变来评价 T2DM 患者的 T2DM, 发现射血分数正常组 (DM normal, DMN 组) 的 Ea 变化不明显, VAC 仍存在, 心肌纵向应变同步减低; 而射血分数减低组 (DM abnormal, DMA 组) 的 Ea 增高, 心肌纵向应变明显减低且失同步, 以心尖受损最重, 心底最

轻, 心脏血管脱耦联。Li 等^[13]进一步研究发现 DMN 组与对照组比较, Ea、Ees 及 VVI 差异无统计学意义, VAC 存在; DMA 组的 Ea 增高、Ees 明显减低、VVI 明显增大, 与 DMN 组及对照组的差异均有统计学意义, 心脏血管脱耦联。另有研究^[30]表明 T2DM 患者的 Ea 与射血分数、心肌氧耗参数、做功参数、生化参数、结构参数高度关联, 认为心脏结构、功能状态和生化指标独立影响外周动脉, 反之外周动脉通过改变负荷影响心肌氧耗和做功进而影响心脏, 心脏、血管之间存在耦联关系。

3 小结

随着超声心动图技术的不断发展, 其在评价 VAC 关系中的应用越来越广泛和深入, 可方便有效地评价 VAC, 有助于探测及评估心血管疾病。但该参数的临床应用仍存在一定的局限性, 如在计算时所需数据较多且计算方法较为复杂, 若采用应变指标法时则需利用软件进行脱机分析, 耗时较长; 另外 VAC 预测疾病以及不良事件等方面的价值尚未被公认, 需要进一步研究和分析。

[参考文献]

- [1] Campbell KB, Ringo JA, Knowlen GG, et al. Validation of optional elastance-resistance left ventricle pump models. *Am J Physiol*, 1986, 251(2 Pt 2):H382-H397.
- [2] Borlaug B, Kass D. Ventricular-vascular interaction in heart failure. *Heart Fail Clin*, 2008, 4(1):23-36.
- [3] Sunagawa K, Maughan WL, Burkhoff D, et al. Left ventricular interaction with arterial load studied in isolated canine ventricle. *Am J Physiol*, 1983, 245(5 Pt 1):H773-H780.
- [4] Kelly RP, Ting CT, Yang TM, et al. Effective arterial elastance as index of arterial vascular load in humans. *Circulation*, 1992, 86(2):513-521.
- [5] Sagawa K, Suga H, Shoukas AA, et al. End-systolic pressure/volume ratio: A new index of ventricular contractility. *Am J Cardiol*, 1977, 40(5):748-753.
- [6] Kawaguchi M, Hay I, Fetics B, et al. Combined ventricular systolic and arterial stiffening in patients with heart failure and preserved ejection fraction: Implications for systolic and diastolic reserve limitations. *Circulation*, 2003, 107(5):714-720.
- [7] Bauer F, Jones M, Shiota T, et al. Left ventricular outflow tract mean systolic acceleration as a surrogate for the slope of the left ventricular end-systolic pressure-volume relationship. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 40(7):1320-1327.
- [8] Ha JW, Lee HC, Park S, et al. Gender-related difference in left ventricular diastolic elastance during exercise in patients with diabetes mellitus. *Circ J*, 2008, 72(9):1443-1448.

- [9] Yoon JH, Kim MH, Chung H, et al. Echo-Doppler-derived indexes of ventricular stiffness and ventriculo-arterial interaction as predictors of new-onset atrial fibrillation in patients with heart failure. *Cardiovasc Ultrasound*, 2016, 14(1):1-7.
- [10] 罗向红, 孙雅萍, 颜青, 等. 实时三维超声结合运动负荷试验对健康成人心脏-血管耦联性的研究. *临床超声医学杂志*, 2015, 17(1):5-8.
- [11] 李朝军, 罗向红. 2 型糖尿病患者心肌二维应变价值的再探讨. *中国医学影像技术*, 2012, 28(6):1103-1107.
- [12] 李朝军, 康春松, 薛继平, 等. 应用超声技术研究 II 型糖尿病患者心脏-血管耦联. *中华超声影像学杂志*, 2012, 21(9):757-761.
- [13] Li ZJ, Du LF, Luo XH. Evaluation of ventricular-vascular coupling in patients with type 2 diabetes mellitus using 2-dimensional speckle tracking imaging. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 2014, 34(6):929-934.
- [14] 张丽, 赵博文, 李世岩, 等. 尿毒症患者心室-动脉耦联的超声定量评估. *中华超声影像学杂志*, 2013, 22(5):388-393.
- [15] 康晓妍, 张燕霞, 李朝军, 等. 超声评价心血管耦联关系的可行性研究. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2013, 11(6):693-694.
- [16] Redfield MM, Jacobsen SJ, Borlaug BA, et al. Age- and gender-related ventricular-vascular stiffening: A community-based study. *Circulation*, 2005, 112(15):2254-2262.
- [17] Najjar SS, Schulman SP, Gerstenblith G, et al. Age and gender affect ventricular-vascular coupling during aerobic exercise. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 44(3):611-617.
- [18] Li ZJ, Du LF, Luo XH. Gender differences in ventricular-vascular coupling following exercise. *Chinese Medical Sciences Journal*, 2015, 30(4):231-238.
- [19] Scali MC, Basso M, Gandolfo A, et al. Real time 3D echocardiography (RT3D) for assessment of ventricular and vascular function in hypertensive and heart failure patients. [2016-03-10]. <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/pdf/1476-7120-10-27.pdf>
- [20] 罗向红, 杨娅, 李治安. 应用超声初步探讨高血压患者心-血管耦联. *中华超声影像学杂志*, 2011, 20(11):921-924.
- [21] 罗向红, 杨娅, 李治安. 不同病理状态下心血管耦联关系的初步探讨. *临床超声医学杂志*, 2012, 14(5):296-298.
- [22] Ky B, French B, May Khan A, et al. Ventricular-arterial coupling, remodeling, and prognosis in chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(13):1165-1172.
- [23] Wang J, Fang F, Wai-Kwok Yip G, et al. Changes of ventricular and peripheral performance in patients with heart failure and normal ejection fraction: insights from ergometry stress echocardiography. *Eur J Heart Fail*, 2014, 16(8):888-897.
- [24] Yip GW, Zhang Q, Xie JM, et al. Resting global and regional left ventricular contractility in patients with heart failure and normal ejection fraction: Insights from speckle-tracking echocardiography. *Heart*, 2011, 97(4):287-294.
- [25] Owan TE, Hodge DO, Herges RM, et al. Trends in prevalence and outcome of heart failure with preserved ejection fraction. *N Engl J Med*, 2006, 355(3):251-259.
- [26] Phan TT, Abozguia K, Nallur Shivu G, et al. Heart failure with preserved ejection fraction is characterized by dynamic impairment of active relaxation and contraction of the left ventricle on exercise and associated with myocardial energy deficiency. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54(5):402-409.
- [27] Schram MT, Henry RM, Van Dijk RA, et al. Increased central artery stiffness in impaired glucose metabolism and type 2 diabetes: The Hoorn Study. *Hypertension*, 2004, 43(2):176-181.
- [28] van Eps CL, Jeffriess L, Haluska B, et al. Cardiac and vascular structure and function parameters do not improve with alternate nightly home hemodialysis: An interventional cohort study. [2016-03-10]. <http://www.bmcnephrol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2369-12-51.pdf>
- [29] 张晓红, 陈颖, 朱丹茹. 应用超声技术对 2 型糖尿病患者心脏-血管耦联的临床研究. *中外医疗*, 2014, 33(21):189-190.
- [30] 李朝军, 康春松, 史凯玲, 等. 基于心脏-血管弹性匹配探讨 II 型糖尿病患者心血管功能变化. *中国超声医学杂志*, 2013, 29(3):231-235.

致谢

科研工作的顺利完成离不开他人的帮助,在正文的最后应向对本研究提供过帮助的人致以谢意。致谢的对象包括:对研究工作提出指导性建议者,论文审阅者,资料提供者,技术协作者,帮助统计者,为本文绘制图表者,提供样品、材料、设备以及其他方便者。

致谢必须实事求是,应防止剽窃掠美之嫌,也勿强加于人,如未经允许写上专家、教授的名字,以示审阅来抬高自己。致谢一般要说明被谢者的工作的内容,如“技术指导”、“收集资料”、“提供资料”等。