

# 三维超声心动图自动定量分析左心功能的研究进展

王江涛 吴小鹏 蔡绮哲 吕秀章

**摘要** 在心力衰竭、心脏瓣膜病和缺血性心脏病等疾病中,左心功能是制定诊疗方案、评价治疗效果及判断预后的重要指标。三维超声心动图(3DE)是评价左心功能的首选检查方法,具有较高的准确率和重复性。传统的全容积多心动周期采集方式虽然分辨率高,但需要患者长时间的屏气,易出现拼接伪像;而单心动周期图像采集方法虽然简单,但时间分辨率较低,这种半手动定量左心功能的3DE技术操作时耗时费力,阻碍了其在临床中的应用推广。随着超声技术的快速发展,以全自动化技术为基础的三维左心功能定量分析促进了3DE技术在临床工作中的应用,本文就3DE自动定量左心功能的应用现状及研究进展进行综述。

**关键词** 超声心动描记术,三维;心室功能,左;心房容积,左;自动定量

[中图分类号]R540.45

[文献标识码]A

## Research progress of automated three-dimensional echocardiography for left heart function quantification

WANG Jiangtao, WU Xiaopeng, CAI Qizhe, LV Xiuzhang

Department of Echocardiography, Beijing Chao-Yang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

**ABSTRACT** Left heart function is a crucial factor to determine cardiovascular therapies and evaluate the effects of treatments and judge the prognosis in conditions such as heart failure, valvular conditions and ischaemic heart disease. Three-dimensional echocardiography (3DE) has been attributed as the preferred one for its assessment, given an increased accuracy and reproducibility. Full-volume multi-beat acquisitions are prone to stitching artefacts due to arrhythmias and require prolonged breath holds. Single-beat acquisitions exhibit a lower temporal resolution, but address the limitations of multi-beat acquisitions. 3DE manual algorithm remains time-consuming and laborious, which hinders its implementation in routine practice. With the further development of ultrasound technology, the fully automated knowledge-based algorithms for left heart function quantification may further promote the widespread use of 3DE in clinic. This paper reviews the application status and research progress of 3DE automated algorithms of left heart function.

**KEY WORDS** Echocardiography, three-dimensional; Ventricular function, left; Atrial volume, left; Automated algorithm

左室容积、左室射血分数(LVEF)及左房容积均是评价左心功能的重要参数,LVEF减低常提示病情的恶化,与患者预后不良密切相关。评估左心功能的影像学方法众多,如心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)、CT或核医学成像和超声心动图,CMR是目前评价左心结构和功能的影像学金标准<sup>[1]</sup>,但耗时繁琐、花费高。超声心动图具有无创、性价比高、便捷等众多优点,便于随访和重复检查,其作为临床评估左心功能最常用的方法,可为临床医师提供重要的诊疗信息。目前,二维超声心动图(two-dimensional echocardiography, 2DE)双平面或

三平面评估左心功能临床最常用,但受潜在的心尖缩短和切面以外的室壁运动异常的限制而影响其准确性。与2DE相比,三维超声心动图(three-dimensional echocardiography, 3DE)在测量左室容积和LVEF方面更准确可靠,容积探头的引入也加速了实时3DE在临床实践中应用。本文就3DE自动定量技术检测左心功能的研究现状和进展进行综述。

### 一、3DE定量评价左心功能的现状

目前3DE技术可获得每秒30多个容积帧的心脏三维图像,使对心脏功能进行更精确的定量分析成为可能。3DE定量

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(81601497);1351人才培养计划(CYMY-2017-28);北京市医院管理中心“青苗”计划专项(QML20180302)

作者单位:100020 北京市,首都医科大学附属北京朝阳医院心脏超声科

通讯作者:吕秀章,Email:chaoyanglxz@163.com

不依赖于几何建模,故不存在本质上的缺陷,测量结果更加精准<sup>[2]</sup>。目前美国超声心动图协会和欧洲心血管影像学会指南已不推荐使用M型超声评价左心容积和功能,虽仍推荐使用改良Simpson法,但对具有足够专业知识的心脏中心建议进行左、右心室的3DE测量,并鼓励进行建立正常值的研究<sup>[3]</sup>。3DE定量左心功能为心血管疾病的诊断、治疗和预后判断等方面带来巨大的获益。

## 二、3DE定量技术评估左心功能的应用

### (一)3DE的采集方式

3DE的采集模式直接影响其定量左心功能的准确性。现有的3DE全容积采集方式包括多心动周期采集模式和单心动周期采集模式。多心动周期采集技术需要获取连续多个心动周期的锥状三维容积,通过心电图门控重建三维图像,能提供最佳时间和空间分辨率,是目前测量左室容积的最佳方式<sup>[4]</sup>。研究<sup>[5]</sup>表明3DE多心动周期采集模式的三维时间分辨率为 $(33\pm 8)$ V/s,优于CMR时间分辨率(24 Hz)。单心动周期采集模式在单一心动周期捕捉整个心脏运动,虽可避免多心动周期的拼接伪影,克服了多心动周期采集模式的局限,但其时间分辨率相对较低。研究<sup>[6]</sup>表明窦性心律患者多心动周期模式采集的人工3DE结果与CMR结果相似,左室舒张末容积(LVEDV)偏差为 $(-15\pm 27)$ ml, LVEF偏差仅 $(-1\pm 6)\%$ ;而单心动周期3DE采集结果偏差增大[LVEDV为 $(-21\pm 25)$ ml, LVEF为 $(-5\pm 8)\%$ ]。因此,3DE定量需要综合考虑和权衡时间分辨率及图像质量之间的比重<sup>[7]</sup>,选择最优的采集模式。

### (二)半手动3DE定量技术评估左心功能的应用

1.半手动3DE定量方法的类型和原理。二十一世纪初,部分设备供应商开发了基于3DE进行左室内膜边界检测的定量算法<sup>[8-9]</sup>,包括TomTec的4D LV-Analysis分析系统、Philips QLab的3DQ-Advanced分析系统和GE EchoPAC中的4D LVQ分析系统。这些分析系统的原理为在快速再现左室内膜立体形态的基础上,测量左心容积和功能。早期3DE定量分析系统多为半手动,需要手动标注重要的解剖标志点(如二尖瓣环、心尖顶点等)。多项研究<sup>[3-4]</sup>表明,这些半手动3DE方法虽未完全自动化,但其测量结果与CMR测量结果具有更好的相关性,优于2DE。

2.半手动3DE定量评价左心功能。包洪靖等<sup>[10]</sup>研究发现,以CMR为标准,应用半手动3DE定量评价心肌梗死患者左心功能较2DE更准确。3DE与CMR两种方法所测左室收缩末期容积(LVESV)、LVEDV、每搏输出量(SV)、LVEF的相关性均高( $r=0.81\sim 0.87$ );2DE与CMR两种方法测量的EDV、SV相关性较高( $r=0.61, 0.67$ ),而LVESV和LVEF值相关性中等或较低( $r=0.41, 0.33$ )。国外一项纳入1198例患者的荟萃分析<sup>[11]</sup>显示,与CMR比较,半手动3DE测量的LVEDV和LVESV仅低估了 $(14\pm 5)$ ml和 $(7\pm 3)$ ml,两种技术测得的LVEF几乎相同;2DE容积测量显示LVEDV和LVESV偏差更大,分别为 $(33\pm 10)$ ml和 $(16\pm 5)$ ml。与2DE相比,3DE的重复性更高。另外,Thavendiranathan等<sup>[12]</sup>研究结果表明测量左室容积和LVEF时,

应用无造影剂3DE方法较常规2DE双平面Simpson、2DE三平面方法的重复性更高。

3.半手动3DE定量评估患者预后。研究<sup>[13]</sup>报道了3DE测量左室参数对评估患者预后具有增量价值,进一步拓展了其临床应用。该研究对455例心血管高风险患者分别行2DE和3DE以评估左室功能,在长达 $(6.6\pm 3.4)$ 年的随访中发现,3DE测得的LVEF和LVESV是患者不良预后(全因死亡率或心脏住院时间)的最强预测因素,其预测价值超过2DE参数。3DE定量左室功能对心肌梗死后中度左室功能障碍或心力衰竭患者可进行准确的风险分层。Gopal等<sup>[14]</sup>对心肌梗死后或充血性心力衰竭患者进行2DE、3DE和CMR检测,并对患者进行风险分层比较,结果发现,以CMR为标准,3DE测量的准确率和相关性优于2DE,3DE测值对患者风险分层的效能与CMR等同,表明3DE定量LVEF对心肌梗死后患者进行风险分层有较好的效能,优于常规2DE。

4.半手动3DE定量评价左房容积。左房大小是评价左室舒张功能的重要指标,左房容积与中风、心血管事件和心房颤动密切相关<sup>[15]</sup>。研究<sup>[16]</sup>发现左房容积指数 $\geq 34$  ml/m<sup>2</sup>是心力衰竭、心房颤动及缺血性卒中、死亡不良临床事件的独立预测因子。Tanaka等<sup>[17]</sup>研究结果表明从婴儿至成人进行半手动3DE定量评估左房容积的可行性为93%,与CMR比较,半手动3DE测量的左房容积较2DE更准确,且左房容积在预测心血管不良事件发生率时,3DE方法具有增量的预测价值<sup>[18]</sup>。

5.局限性:目前半手动3DE定量方法仍存在不足,仅限于科研<sup>[2,4]</sup>,其临床应用和普及受制于对高级别训练要求、对图像质量的严重依赖和相对复杂的操作。

### (三)全自动3DE定量技术评估左心功能的应用

1.全自动3DE定量方法的类型和原理。由于半手动3DE定量方法的不足,促进时效更高的3DE定量新方法的研究和实现。全自动3DE左心功能分析技术,仅需简单培训就能操作,无需人为干预即可获得定量结果。目前有两家供应商已发布了全自动3DE定量分析系统,包括基于轮廓绘制概率算法<sup>[19]</sup>和自适应分析的算法<sup>[20]</sup>的两种新分析系统。西门子医疗公司将左室分析系统整合到Acuson SC 2000 Prime超声诊断仪,采用专家知识库技术进行边界检测<sup>[17]</sup>。随后,飞利浦医疗公司在EPIQ 7设备应用Heart Model分析系统,采用心脏模型的大数据和自适应性分析算法,无需人为干预自动识别舒张末期和收缩末期,创建初步的心脏模型,与现有的三维心脏模型的大数据库寻找并创建体积、形状匹配的心脏立体模型<sup>[18]</sup>。

2.全自动3DE定量评价左心功能。全自动3DE方法无需调整左室内膜边缘,省时便捷,测量的结果与CMR测量结果具有高度的一致性。Tsang等<sup>[20]</sup>使用全自动3DE与CMR同时对65例患者进行左心容积和功能定量对比研究,结果表明,全自动3DE平均分析时间约为76 s,几乎是半手动3DE所需时间(144 s)的一半;全自动3DE定量和CMR测量窦性心律患者LVEF的偏差和相关系数分别为2%和0.91,具有极高的相关性,与一致性,优于半手动3DE。Yang等<sup>[21]</sup>发现全自动3DE与

CMR 测得心房颤动患者的 LVEDV、LVESV 及 LVEF 测值具有良好的相关性和一致性(相关系数分别为 0.91、0.93 和 0.92, 偏差分别为 -31.8 ml、-28.5 ml 和 6.4%)。Medvedofsky 等<sup>[22]</sup> 研究结果发现全自动 3DE 和半手动 3DE 的测值几乎相同, 且全自动 3DE 有更高的可重复率, 表明全自动 3DE 可能是能替代半手动 3DE 更精确的方法。研究<sup>[23]</sup> 表明使用全自动 3DE 随机选取 6~9 个心动周期所测心房颤动患者 LVEDV、LVEF 和最大左房容积的平均值足以接近“真实值”, 且分析时长不足 5 min。由此可见, 全自动 3DE 可能有助于在临床常规工作中推广 3DE 定量技术。

3. 局限性: 首先, 3DE 图像质量差或患者呼吸或心律不齐引起数据采集错误时<sup>[24]</sup>, 轮廓算法的可行性会降低(成功率仅 70%)<sup>[21,25]</sup>。其次, 现有的自动算法三维数据库尚不能分析大动脉瘤、复杂先天性心脏病等疾病情况, 测值存在较大误差<sup>[23]</sup>。最后, 不同技术的供应商不能共享其他超声仪器采集的 3DE 数据, 限制了其在临床应用中的进一步普及<sup>[25]</sup>。未来开发独立的通用供应商分析系统, 可能会有利于全自动分析的进一步推广。

### 三、展望

超声心动图已成为评价 LVEF 和左室容积的首选方法。3DE 具有较好的准确率和重复性, 但其仍然相对耗时费力且需要 3DE 相关专业知识。全自动 3DE 定量分析系统的出现给未来常规 3DE 的广泛临床应用带来了希望。

### 参考文献

- [1] Alkema M, Spitzer E, Soliman O, et al. Multimodality imaging for left ventricular hypertrophy severity grading: a methodological review[J]. J Cardiovasc Ultrasound, 2016, 24(2): 257-267.
- [2] Badano L, Boccia F, Muraru D, et al. Current clinical applications of transthoracic three-dimensional echocardiography[J]. J Cardiovasc Ultrasound, 2012, 20(1): 1-22.
- [3] Lang R, Badano L, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2015, 28(1): 1-39.
- [4] Lang R, Badano L, Tsang W, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2012, 13(1): 1-46.
- [5] Macron L, Lim P, Bensaid A, et al. Single-beat versus multibeam real-time 3D echocardiography for assessing left ventricular volumes and ejection fraction: a comparison study with cardiac magnetic resonance[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2010, 3(4): 450-455.
- [6] Ren B, Vletter W, McGhie J, et al. Single-beat real-time three-dimensional echocardiographic automated contour detection for quantification of left ventricular volumes and systolic function[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014, 30(3): 287-294.
- [7] Thavendiranathan P, Liu S, Verhaert D, et al. Feasibility, accuracy and reproducibility of real-time full-volume 3D transthoracic echocardiography to measure LV volumes and systolic function: a fully automated endocardial contouring algorithm in sinus rhythm and atrial fibrillation[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2012, 5(3): 239-251.
- [8] Leung K, Bosch J. Automated border detection in three-dimensional echocardiography: principles and promises[J]. Eur J Echocardiogr, 2010, 11(2): 97-108.
- [9] Bernard O, Bosch J, Heyde B, et al. Standardized evaluation system for left ventricular segmentation algorithms in 3D echocardiography[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2016, 35(8): 967-977.
- [10] 包洪靖, 陈莉, 屈丰华. 实时三维超声心动图在评估心肌梗患者左心功能的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2012, 22(1): 39-41.
- [11] Rigolli M, Anandabaskaran S, Christiansen J, et al. Bias associated with left ventricular quantification by multimodality imaging: a systematic review and meta-analysis[J]. Open Heart, 2016, 3(1): 388.
- [12] Thavendiranathan P, Grant AD, Negishi T, et al. Reproducibility of echocardiographic techniques for sequential assessment of left ventricular ejection fraction and volumes: application to patients undergoing cancer chemotherapy[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 61(1): 77-84.
- [13] Stanton T, Jenkins C, Haluska BA, et al. Association of outcome with left ventricular parameters measured by two-dimensional and three-dimensional echocardiography in patients at high cardiovascular risk[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2014, 27(1): 65-73.
- [14] Gopal AS, Chukwu EO, Mihalatos DG, et al. Left ventricular structure and function for postmyocardial infarction and heart failure risk stratification by three-dimensional echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2007, 20(8): 949-958.
- [15] Johri AM, Passeri J, Picard M. Three dimensional echocardiography: approaches and clinical utility[J]. Heart, 2010, 9(5): 390-397.
- [16] Abhayaratna W, Seward J, Appleton C, et al. Left atrial size: Physiologic determinants and clinical applications[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 47(3): 2357-2363.
- [17] Tanaka N, Takigiku K, Takahashi K, et al. Assessment of the developmental change in the left atrial volume using real time three-dimensional echocardiography[J]. Echocardiography, 2015, 32(7): 1131-1139.
- [18] Caselli S, Canali E, Foschi M, et al. Long-term prognostic significance of three-dimensional echocardiographic parameters of the left ventricle and left atrium[J]. Eur J Echocardiogr, 2010, 11(2): 250-256.
- [19] Yang L, Georgescu B, Zheng Y, et al. A fast and accurate tracking algorithm of left ventricles in 3D echocardiography[J]. Proc IEEE Int Symp Biomed Imaging, 2008, 14(5): 221-224.
- [20] Tsang W, Salgo I, Medvedofsky D, et al. Transthoracic 3D echocardiographic left heart chamber quantification using an automated adaptive analytics algorithm[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9(6): 769-782.
- [21] Yang LT, Nagata Y, Otani K, et al. Feasibility of one-beat real-time full-volume three-dimensional echocardiography for assessing left ventricular volumes and deformation parameters[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2016, 29(7): 853-860.
- [22] Medvedofsky D, Mor-Avi V, Amzulescu M, et al. Three-dimensional echocardiographic quantification of the left-heart chambers using an automated adaptive analytics algorithm: multicenter validation study

[J].Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(1):47-58.  
 [23] Wu Victor C, Otani K Y, Yang CH, et al. Optimal number of heartbeats required for representing left chamber volumes and function in patients with rate-controlled atrial fibrillation [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(4):495-502.  
 [24] Wu Victor C, Takeuchi M. Three-dimensional echocardiography: current status and real-life applications [J]. Acta Cardiol Sin, 2017,

33(1):107-118.  
 [25] Medvedofsky Do, Mor-Avi Vr, Byku Is, et al. Three-dimensional echocardiographic automated quantification of left heart chamber volumes using an adaptive analytics algorithm: feasibility and impact of image quality in nonselected patients [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2017, 30(7):879-885.

(收稿日期:2019-11-29)

· 病例报道 ·

## Ultrasonic diagnosis of giant diverticulum of the bladder with diverticulum carcinoma: a case report

### 超声诊断膀胱巨大憩室并憩室癌 1 例

龚海燕 苏华杰 杨雅婷 王平

[中图分类号]R445.1

[文献标识码]B

患者男,71岁,因无痛性肉眼血尿就诊。体格检查:耻骨上区扪及一大大小为20 cm×10 cm包块,无压痛。尿常规:尿隐血(+++),细菌(+),白细胞(+)。超声检查:膀胱高度充盈,膀胱壁见小梁小房形成,膀胱右上方见一大大小19.2 cm×14.3 cm×12.4 cm囊性包块(图1),与膀胱腔相通,交通口宽约2.9 cm,于囊性包块底后壁探及一大大小4.5 cm×3.4 cm×4.2 cm实性不均质团块回声,活动性差,内部及表面见多个点状强回声(图2A);CDFI于团块内探及较丰富条状血流信号,峰值流速87 cm/s,阻力指数0.73(图2B)。超声提示:膀胱巨大憩室内实性占位病变,考虑膀胱憩室癌可能。膀胱镜检查:膀胱内见大量小梁小房形成,腔内未见结节,因膀胱憩室较大,改用输尿管镜探查憩室各侧壁,未见明显新生物。膀胱造影检查:膀胱巨大憩室内不规则充盈缺损,考虑肿瘤可能。患者后行膀胱憩室切除术+右侧输尿管膀胱再植术,于膀胱憩室底部探及一菜花样突起肿物,大小4.5 cm×4.0 cm×3.0 cm。病理诊断:膀胱憩室内高级别尿路上皮癌(图3)。

讨论:膀胱憩室分为先天性和获得性两种,后者多见,多发生于60岁以上男性,常源于下尿路的梗阻或神经源性膀胱,易发生尿潴留,其肌层缺乏或发育不良<sup>[1]</sup>。本例患者为获得性膀

胱憩室伴尿潴留。尿潴留时尿液长期刺激憩室黏膜,易导致黏膜发生癌变,继而癌变。目前诊断膀胱憩室癌最可靠的方法是膀胱镜和病理活检,但易受憩室口大小、肿瘤体积及位置的影响而漏诊<sup>[2]</sup>。本例患者憩室内肿瘤位于巨大憩室底后壁,局部呈深凹陷,膀胱镜检查为阴性,原因可能是肿块位于膀胱镜和输尿管镜的盲区,后行膀胱造影见膀胱憩室内充盈缺损,明确病变部位,表明膀胱镜联合影像学检查尤为重要,可减少漏诊。本例患者外院超声仅提示膀胱右侧巨大囊性病变,多考虑来源于膀胱,漏诊了憩室内占位性病变。发生于憩室的肿瘤因缺乏肌层易发生早期浸润及远处转移,常因诊断不及时影响早期治疗,导致预后较差,因此对于膀胱憩室,尤其是巨大憩室,超声检查时应仔细全面扫查各壁,以免漏诊憩室壁的占位病变。

参考文献

[1] 周永昌,郭万学.超声医学[M].6版.北京:人民军医出版社,2011:1125.  
 [2] 宋鲁杰,徐月敏,傅强.膀胱憩室癌19例诊治分析[J].中华临床医师杂志(电子版),2012,6(8):2228-2229.



图1 声像图示膀胱右上方巨大憩室



图2 声像图示膀胱憩室内见团块状实性不均质回声(A),CDFI于其内探及丰富血流信号(B)

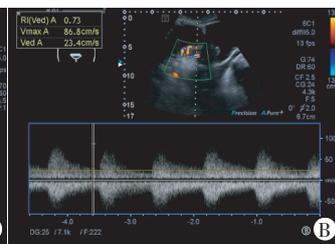


图3 膀胱憩室癌病理图(HE染色, ×100)

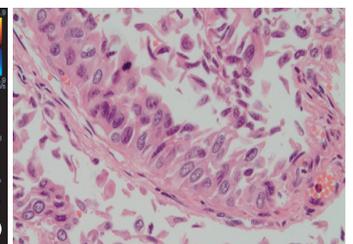


图3 膀胱憩室癌病理图(HE染色, ×100)

(收稿日期:2019-08-29)