

新版关于成人超声心动图心腔定量方法的建议

写作小组成员：Roberto M. Lang, MD, FASE, FESC, Luigi P. Badano, MD, PhD, FESC, Victor Mor-Avi, PhD, FASE, Jonathan Afilalo, MD, MSc, Anderson Armstrong, MD, MSc, Laura Ernande, MD, PhD, Frank A. Flachskampf, MD, FESC, Elyse Foster, MD, FASE, Steven A. Goldstein, MD, Tatiana Kuznetsova, MD, PhD, Patrizio Lancellotti, MD, PhD, EFSC, Denisa Muraru, MD, PhD, Michael H. Picard, MD, FASE, Ernst R. Rietzschel, MD, PhD, Lawrence Rudski, MD, FASE, Kirk T. Spencer, MD, FASE, Wendy Tsang, MD, and Jens-Uwe Voigt, MD, PhD, FESC, *Chicago, Illinois; Padua, Italy; Montreal, Quebec and Toronto, Ontario, Canada; Baltimore, Maryland; Creteil, France; Uppsala, Sweden; San Francisco, California; Washington, District of Columbia; Leuven, Liege, and Ghent, Belgium; Boston, Massachusetts.*

中文翻译：美国加利福尼亚大学戴维斯分校医学中心	范大立
美国纽约艾伯特爱因斯坦医学院	叶清
中国上海交通大学附属仁济医院	沈学东
美国内布拉斯加大学医学中心	谢峰
中文校对：中国山东大学医学院齐鲁医院	张运
美国塔夫斯大学滨州医学中心	姜楞

过去 10 年科技的快速发展，以及这些发展给超声心动图实践带来的变化，需要对过去发表的心腔定量方法指南进行全面更新，而这正是美国超声心动图学会和欧洲心血管影像协会联合写作组成立的目的。本文从多个数据库搜集了相当大量的正常人资料，更新了所有四个心腔的正常值，这也包括三维超声心动图和心肌形变数据。此外，本文也试图消除过去发表的指南中几处不一致的地方。

关键词：成人超声心动图，经胸超声心动图，心室功能，正常值

写作单位：The University of Chicago Medical Center, Chicago, Illinois (R.M.L., V.M.-A., K.T.S.); the University of Padua, Padua, Italy (L.P.B., D.M.); Jewish General Hospital, McGill University, Montreal, Quebec, Canada (J.A., L.R.); Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland (A.A.); INSERM U955 and Hopital Henri Mondor, Creteil, France (L.E.); Uppsala University, Uppsala, Sweden (F.A.F.); the University of California, San Francisco, San Francisco, California (E.F.); Medstar Washington Hospital Center, Washington, District of Columbia (S.A.G.); University Hospital Leuven, Leuven, Belgium (T.K., J.-U.V.); the University of Liege Hospital, Liege, Belgium (P.L.); Massachusetts General Hospital and Harvard Medical School, Boston, Massachusetts (M.H.P.); Ghent University Hospital, Ghent, Belgium (E.R.R.); and the University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada (W.T.).

下列作者报告与本文无实际和潜在的利益冲突：The following authors reported no actual or potential conflicts of interest in relation to this document: Jonathan Afilalo, MD, MSc, Anderson Armstrong, MD, MSc, Laura Ernande, MD, PhD, Frank A. Flachskampf, MD, FESC, Steven A. Goldstein, MD, Tatiana Kuznetsova, MD, PhD, Patrizio Lancellotti, MD, PhD, FESC, Victor Mor-Avi, PhD, FASE, Michael H. Picard, MD, FASE, Ernst R. Rietzschel, MD, PhD, Kirk T. Spencer, MD, FASE, Wendy Tsang, MD, and Jens-Uwe Voigt, MD, PhD, FESC. 下列作者报告有一项或多项商业利益：Luigi P. Badano, MD, PhD, FESC, received grants from GE Healthcare, Siemens, and Esaote and serves on the speakers' bureau for GE Healthcare. Elyse Foster, MD, FASE, received grant support from Abbott Vascular

Structural Heart. Roberto M. Lang, MD, FASE, FESC, received grants from and serves on the speakers' bureau and advisory board for Philips Medical Systems. Denisa Muraru, MD, received research equipment from and served as a consultant for GE Healthcare. Lawrence Rudski, MD, FASE, holds stock in GE.

ASE 会员注意：

ASE 已进入绿色环保！敬请到访 www.aseuniversity.org，通过参与与本文有关的学术活动，获得免费持续医学教育积分。非会员可通过加入 ASE，获得会员优惠待遇。

Drs Lang and Badano 为本写作组共同主席。

索要单行本邮寄地址：American Society of Echocardiography, 2100 Gateway Centre Boulevard, Suite 310, Morrisville, NC 27560 (E-mail: ase@asecho.org).

0894-7317/\$36.00

Copyright 2015 by the American Society of Echocardiography. ASE 版权所有

<http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>

缩写词

AP = 前后
ASE = 美国超声心动图学会
BSA = 体表面积
CMR = 心脏磁共振
DTI = 组织多普勒显像
EACVI = 欧洲心血管影像协会
EDV = 舒张末期容积
EF = 射血分数
ESV = 收缩末期容积
FAC = 面积分数变化
GLS = 整体轴向应变
I-I = 内缘至内缘
IVC = 下腔静脉
LA = 左心房
L-L = 前缘至前缘
LV = 左心室
MDCT = 多探头计算机断层
PW = 脉冲波
RA = 右心房
RIMP = 右心室心肌作工指数
RV = 右心室
RWT = 室壁相对厚度
STE = 斑点追踪超声心动图
TAPSE = 三尖瓣环平面收缩幅度
TAVI = 经导管主动脉瓣植入
TAVR = 经导管主动脉瓣置换
TEE = 经食道超声心动图
3D = 三维
3DE = 三维超声心动图
TTE = 经胸超声心动图
2D = 二维

目录

- I. 左心室
 1. LV 大小的测量
 - 1.1. 径线测量
 - 1.2. 容积测量
 - 1.3. 2DE 参考值
 - 1.4. 3DE 参考值
 - 推荐
 2. LV 整体收缩功能
 - 2.1. 缩短分数
 - 2.2. EF
 - 2.3. 整体纵向应变
 - 2.4. 正常参考值
 - 推荐
 3. LV 局部功能
 - 3.1. LV 节段的划分
 - 3.2. 视觉观察
 - 3.3. 梗死和缺血时的局部室壁运动
 - 3.4. 无冠心病的局部异常
 - 3.5. 多普勒和 STE 对局部室壁运动的定量测定
 - 推荐
 4. LV 质量
 - 推荐
- II. 右心室
 5. RV 定量的一般推荐
 6. 主要声窗和切面
 7. RV 的测量
 - 7.1. 径线测量
 - 7.2. 容积测量
 - 推荐
 8. RV 收缩功能
 - 8.1. RIMP
 - 8.2. TAPSE
 - 8.3. RV 2D FAC
 - 8.4. DTI 得出的三尖瓣侧环收缩速度
 - 8.5. RV 应变和应变率
 - 推荐
 - 8.6. RV 3DE EF
 - 推荐
- III. 左心房和右心房
 9. LA 测量
 - 9.1. LA 大小的一般考虑
 - 9.2. 径线和面积测量
 - 9.3. 容积测量
 - 9.4. LA 正常值
 - 推荐
 10. RA 测量
- IV. 主动脉环和主动脉根部
 11. 主动脉环
 12. 主动脉根部
 13. 主动脉根部扩张的识别

推荐

V. 下腔静脉

通告和免责声明

参考文献

附录

方法

超声心动图测量

统计学分析

心腔大小和功能的定量测定是心脏影像学的基石。超声心动图具有独一无二的实时显示心脏的能力，加之其普及性和灵活性的优点，使其成为最为常用的非创伤性诊断方法。心腔定量方法的标准化有赖于官方指南的提出和推广，人们遵照指南，提供统一的方法和数据，以便于交流。2005 年美国超声心动图学会（ASE）和欧洲超声心动图协会（现更名为欧洲心血管影像协会 [EACVI]）联合发表了“关于超声心动图心腔定量方法的建议”。^{1, 2}

自那时起，超声心动图技术一直在不断发展，其中最主要的发展体现在两个领域：实时三维超声心动图（3DE）和心肌应变显像。本文的目的是全面更新过去指南中的建议和参考值，同时也修正过去指南中不一致之处。在新版指南的正常值中，尽可能包括 3DE 和心肌应变的正常值。尤为重要的是，与过去的指南比较，此次更新是基于更为大量的正常人，汇集了多个数据库，从而使参考值更为可靠。

虽然本文在许多问题上体现了写作组的共识，但在制定异常严重度的界限值这一问题上，大家观点不一。在日常工作中，临床超声心动图医师除了要描述参数是否正常，还要对异常的严重度进行定量，例如轻度、中度、重度异常等，以反映这些测值偏移正常的程度。除了提供正常数据外，最好能对超声心动图检查的所有数据的异常程度制定一个标准化的界限值，例如对中度异常有公认的含义。不过，不同程度异常的界限值可以使用不同的方法获得，而这些方法均有明显的局限性。

第一种方法是根据一组正常人参考值的±标准差来确定轻度、中度、重度异常。此方法的优点是大多数超声心动图参数都是现成的。不过，这种方法有基础性缺陷。首先，即使在正常人群也并非所有参数都是正态分布（高斯分布）。第二，尽管某个参数在正常人群中为正态分布，但在一般人群中大多数超声心动图参数均有明显偏向某一方向的非对称分布（形态参数异常扩大或功能参数异常降低）。另一替代方法是在包括正常和患者人群中根据测值的百分位数确定异常（即95%，99%百分位数）。虽然这些数据仍不属正常分布，但它考虑了在一般人群中的非对称分布以及异常的范围。这种方法的主要限制是，大多数超声参数的人群数据目前无处可查。

更为理想的方法是可以预测患者的预后，如有一变量中度偏离正常值时，可能意味着该患者具有中度危险的不良预后。虽然已有足够的数据证明有几个心腔大小的参数与危险程度有关（如左心室大小、射血分数、左心房容量），但仍欠缺许多参数的预后资料。遗憾的是，这一方法也有若干限制。首先的障碍是如何以最佳的方式定义危险。对于不同病人、不同病情下的不同危险，同一参数所采用的界限值变异很大。

最后，界限值也可根据专家的经验 and 共识来决定。对此，写作组内有广泛的争议。有的专家认为根据这种不够科学的方法提出的界限值对超声心动图学领域会带来伤害，应针对具体的疾病确定参数异常程度的有意义的临床分类。其他专家则认为这种界限值可为超声报告提供统一的参考，更易被送检医师认可。最后的折衷结果是，左心室射血分数和左心房容积采用以经验为基础的界限值，其他左心室大小和质量的界限值则在附录中列出。应谨慎参考本指南给出的所有界限值。除了LV大小、功能和左心房容积外，其他参数本文仅列出经性别、年龄、体表面积标化的界限值的均数和SD或上限和下限。对于这些参数来说，超过 ± 1.96 SD（即95%的可信区间）应视为异常。任何关于正常偏移度在超声报告中的描述，应由各实验室自行决定，本写作组没有推荐特定的界限值。

与经胸超声心动图（TTE）相比，经食道超声心动图（TEE）的定量方法有其优点和缺点。TEE虽可改善心脏结构的显示，但TEE和TTE的测值有所差别，尤其是心腔径线和厚度的测值。这些差别主要由于TEE测量心腔径线时难以获得像TTE那样的标准显像切面。本写作组建议左心室和右心室腔室径线的正常值范围既适用于TTE，也适用于TEE。有关TEE特殊切面的最佳测量，详见最近发表的TEE指南³。

本文所述及的所有测量方法均应测量一个以上的心动周期，以减少心搏之间的变异性。本

写作组建议，在正常窦性心律时应取3个心动周期的平均值，心房颤动时最少应取5个心动周期的平均值。本写作组意识到，具体实施这些建议颇为耗时，故临床实际工作中采用代表性心搏也可接受。

I. 左心室

1. LV大小的测量

描述LV大小的最常用的参数是内径和容量。最常报告的测值是舒张末期和收缩末期内径和容量，由此衍生出LV整体功能的参数。为便于在不同体型的个体中进行比较，超声报告的腔室测值应以体表面积进行标化。

1.1. 径线的测量。 我们建议左心室内径及其室壁的测量应在胸骨旁左心室长轴切面进行。测量时仔细选择与长轴垂直的部位，在二尖瓣瓣尖或紧贴瓣尖下进行测量。此时，电子游标应置于心肌壁与心腔之间的界面，以及室壁与心包之间的界面。腔室内径可以用二维超声引导M型获得，但更好的方法是用二维超声图像直接获取，可避免心室的斜切。

1.2. 容积的测量。 LV容积应采用2DE或3DE的方法测量。以径线测值计算出的容量可能不准确，因为它假设LV为一固定的几何学形态，比如假设为长椭球，但这并不适用于心脏的多种病理学改变。因此，我们不再推荐Teichholz法和Quinones法在临床继续应用。

容量测量的通常方法是，勾画致密心肌和LV腔之间的界面，然后在二尖瓣瓣环两个相对切点用一直线将整个轮廓关闭。LV长度的定义是上述直线的中点与距此最远的LV轮廓心尖点之间的距离。我们建议在心尖二腔心切面和四腔心切面选取较长的径线。

LV容量应在心尖四腔和二腔心切面上测量。在二维图像上选取最大的左心室面积，尽量避免左心室的短切和左心室容量的低估。检查时，将图像的深度减小，专注于LV腔，这样可降低左心室短切的机会，也能使描划心内膜的误差减到最小（表1）。3D测量很少会发生短切问题，故3D图像获取的重点是在金字塔数据中包括整个左心室。为保证较精确识别收缩末期，在不丧失空间分辨力的前提下，尽可能获得3D显像的最大时间分辨力。

如果在心尖切面上连续两个LV节段的心内膜显示不清，应使用声学造影剂来改善心内膜的识别⁴。造影剂增强图像所得到的容量要高于未用造影剂的容量，而后者与磁共振的结果更为接近⁵。造影剂浓度过高时，可造成LV基底部

表 1 超声心动图测量 LV 大小和功能的建议

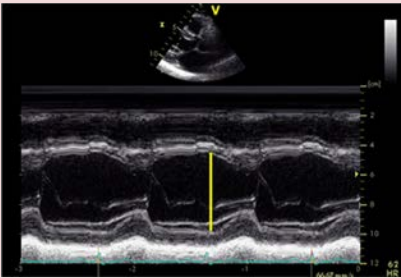
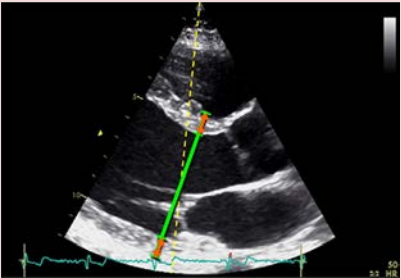
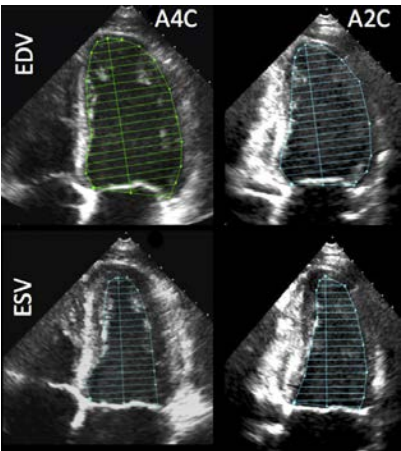
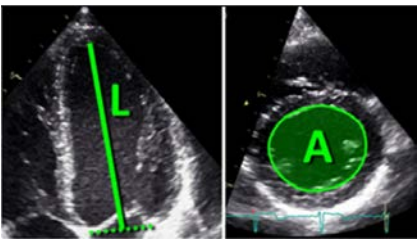
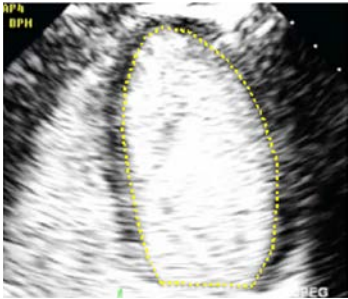
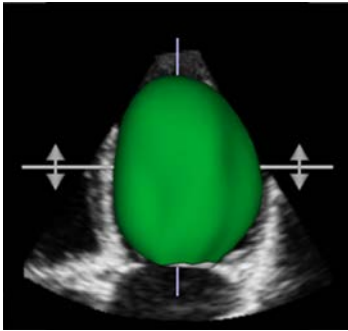
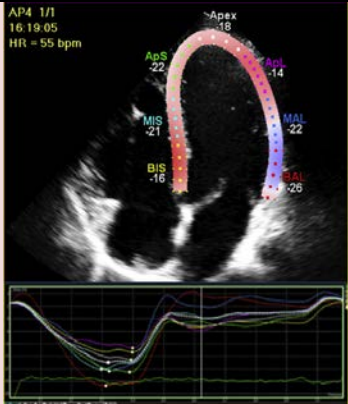
参数和方法	技术	优点	局限性
内径测量 LV 内径的测量应在胸骨旁左心室长轴切面进行。测量时仔细选择与 LV 长轴垂直的部位，在二尖瓣瓣尖水平进行测量。电子卡尺应置于心肌壁与心腔之间的界面，以及室壁与心包之间的界面（桔色箭头）。	M 型测量  2D-引导径线测量 	• 重复性好 • 时间分辨率高 • 大量已发表数据 • 容易确定与长轴垂直的方位	• 声束的方位常常偏离长轴 • 单维，即仅在心室形态正常时才具代表性 • 帧频低于 M 型 • 单维，即仅在心室形态正常时才具代表性
容积： 容积测量的通常方法是，在心尖四腔和二腔切面上勾画血液-组织的界面。然后在二尖瓣瓣环两个相对切点用一直线将整个轮廓关闭。LV 长度的定义是上述直线的中点与 LV 轮廓最远点的距离。	双平面圆碟叠加法  面积长度法 	• 矫正扭曲的形态 • 与径线测量比较，较少依赖假设 • 部分矫正形态扭曲	• 常发生心腔短缩 • 心内膜缺失 • 难以判定在心尖二腔和四腔切面上看不到的形态扭曲 • 常发生心腔短缩 • 严重依赖几何学假设 • 正常人文献数据有限

表 1 （续）			
参数和方法	技术	优点	局限性
	心内膜边缘增强  3D 数据组 	- 对声窗欠佳的病人有帮助 - 测得的容积近似于心脏磁共振的测值 - 无几何学假设 - 不受心腔短缩的影响 - 与其它影像技术相比，准确性和重复性更好	- 与上述非对比剂二维技术的限制相同 - 过多造影剂可产生 LV 心底部声影 - 时间分辨率差 - 正常值文献报道较少 - 依赖图像质量
			

声影，检查时应予以避免。造影剂增强的 LV 容量的正常值目前尚未确立。

二维超声心动图最常用计算测量容量的方法是圆盘叠加法（改良辛普森氏法），也是本写作组一致推荐的方法（表 1）。如果心尖部的心内膜显示不满意，影响轮廓的勾画，可采用面积—长度法替代。这种方法的基础是假设 LV 为一弹头形。先在胸骨旁左心室短轴切面用面积法计算出 LV 中部的横截面积，

然后在心尖四腔心切面测量瓣环中部至心尖部的长度（表 1）。这一方法的缺点是弹头形假设并非适用所有病例。3D 超声测量容积的一个优点是无需几何学假设。如病人的图像较好，3D 超声测量较为精确，重复性也较好。如有 3D 设备，且可行，应使用 3D 测量容积⁶。表 1 概述了各种测量容积方法的优缺点。

1. 3. 2DE 正常参考值。 所有正常参考值来自 7 个数据库, 包括 Asklepios (0-10 年)⁷, Flemengbo⁸, CARSIA5 和 CARDIA25⁹, Padua 3D Echo Normal¹⁰ 以及“超声心动图研究正常参考范围”^{11,12}等数据库(参见本文第 10 节)。所有数据均未使用造影剂。病人数据包括年龄、性别、种族、身高、体重。为了保证所有数据来自正常人群, 符合下列标准的人员将被排除: 收缩压>140 mmHg、舒张压>80 mmHg、高血压药物治疗史、糖尿病、空腹血糖>100 mg/dL、体重指数>30 kg/m²、肌酐>1.3 mg/dL、肾小球滤过率<60 mL/min/1.73 m²、总胆固醇>240 mg/dL、低密度脂蛋白胆固醇>130 mg/dL、甘油三酯>150 mg/dL。统计分析详见附录。因研究目的不同, 各数据库并不包括所有测值。增补表 1 总结了每一测量组的数据来源和基本特征。

表 2 列出了根据性别的 LV 大小和功能二维超声心动图的正常值, 而增补表 2 为不同超声切面获得的相同参数的扩展数据, 也包括用于获取这些资料的受试者的人数。增补表 3 列出 LV 径线、容积、EF 和质量的正常范围和一致同意的界限值。根据多元分析发现, 年龄、性别、BSA 对 LV 舒张末期容量 (EDV) 和收缩末期容量 (ESV) 均有独立的显著性影响。增补表 4 列出年龄以 10 岁分组、不同性别以及以 BSA 标化的正常值 (参见附录)。

因种族是一重要因素, 故在增补表 5 列出了种族和性别的分析结果。通过回归分析, 得到 LV 径线与 BSA, 或以 BSA 标化的 LV 容积与年龄的列线图 (图 1 和图 2)。附录还提供了 LV 绝对测值与年龄的列线图 (增补图 1 和 2), 以及与体表面积的列线图 (增补图 3 和 4)。

1. 4. 3DE 的正常参考值。 目前已有几项研究发表了三维超声心动图的正常参考值, 其结果汇总在表 3¹³。各研究所报告的正常范围的变异很可能是由于人群、超声仪器、分析软件, 以及测量技术的差异。在图像质量优异的病人, 3DE 的测量结果与 CMR 相似, 但超声的测值略低⁶。

在一项种族对三维 LV 容积测量影响的研究中, 发现印度人的 LV 容积小于欧洲白人, 但射血分数没有差别¹⁴。大多数三维超声心动图的研究中, 均研究了年龄与三维 LV 容量的关系, 表明年龄与 LV 容量有微弱至中度的负相关, 而 EF 与年龄无明显关系^{10,15,16}。这些结论与 CMR 文献的描述类似^{17,18}。根据三项研究

的加权平均值^{16,19,20}, 三维超声的 LV 容积要大于二维超声的平均值, 其正常上限为男性 EDV 79 mL/m², 女性 71 mL/m², 男性 EV 32 mL/m², 女性 28 mL/m²。未来我们需要包括不同人群的大系列研究, 以建立不同民族的三维正常参考值。

推荐: LV 大小常规采用二维超声评价, LV 容量的计算使用圆盘叠加法。在有三维超声经验的实验室, 如图像质量许可, 我们建议进行三维测量, 并报告 LV 容积。在报告径线时, 我们推荐的方法是二维超声引导下的测量。LV 大小和容积应报告 BSA 标化的数值。一般而言, 二维超声的上限是 LV EDV 男性为 74 mL/m², 女性为 61 mL/m², ESV 男性为 31 mL/m², 女性 24 mL/m²。

2. LV 整体收缩功能

LV 整体功能通常是通过一维、2D 或 3D 测量的舒张末期和收缩末期的差值, 除以收缩末期的测值来估价的。舒张末期的确定最好用二尖瓣关闭后第一帧图, 或心动周期中所测心腔径线或容量最大的停帧。收缩末期的确定最好用主动脉瓣关闭后的第一帧图, 或心腔径线或容量最小的停帧。如病人心律规则, M 型超声、脉冲多普勒 (PW), 或连续波多普勒 (CW) 所测量的瓣膜开放和关闭时间可作为确定心室时间间隔的精确方法。

2. 1. 缩短分数。 缩短分数可以由二维引导 M 型图像获得, 但最好直接在二维图像上测量径线。如遇冠心病或传导异常造成节段性室壁运动异常, 根据径线测值得出的 LV 整体功能就很成问题。在无并发症的高血压、肥胖、瓣膜病的病人, 如无临床确诊的心肌梗死, 此类节段性差异较为罕见, 因此缩短分数在临床上可提供有用的信息²¹。在 LV 基底正常, 但心室中部和心尖部扩大的病人, LV 容积较之 LV 基底测得的径线, 是更好的反映 LV 大小的指标。

2.2. EF. EF 由 EDV 和 ESV 的测值计算而来, 其公式如下:

$$EF = (EDV - ESV)/EDV$$

如前所述 (1.2 节), LV 容积可以从 2DE 或 3DE 的测值中得出。圆盘双平面法 (改良辛

表 2 不同性别 LV 大小和功能的二维超声心动图正常值

	男性		女性	
	均值±SD	2-SD 范围	均值±SD	均值±SD
LV 内径				
舒张期内径 (mm)	50.2 ± 4.1	42.0-58.4	45.0 ± 3.6	37.8-52.2
收缩期内径 (mm)	32.4 ± 3.7	25.0-39.8	28.2 ± 3.3	21.6-34.8
LV 容积 (双平面)				
LV EDV (mL)	106 ± 22	62-150	76 ± 15	46-106
LV ESV (mL)	41 ± 10	21-61	28 ± 7	14-42
经 BSA 标准化的 LV 容积				
LV EDV (mL/m ²)	54 ± 10	37-74	45 ± 8	29-61
LV ESV (mL/m ²)	21 ± 5	11-31	16 ± 4	8-24
LV EF (双平面)	62 ± 5	52-72	64 ± 5	54-74

普森法)是目前我们一致同意推荐的计算 LVEF 的方法。表 4 列出了 2DE 双平面法计算的 LVEF,包括正常范围,以及根据性别划分的且一致同意的严重度界限值。如病人图像质量较好,3DE 测量的 EF 也很准确,且重复性很好,如有可能,应当采用^{6,10,15,16,19,20}。

2.3.整体纵向应变 (GLS)。 应变张量的定义为,物体在某一方向内相对于初始长度的变化:

$$\text{应变}(\%) = (L_t - L_0) / L_0,$$

此处 L_t 为在时间 t 的长度, L_0 是时间 0 的初始长度。最常用以应变为基础的 LV 整体功能的测量参数是 GLS,通常用斑点跟踪超声心动图(STE)评估²²⁻²⁴(表 1)。2DE 的 GLS 峰值系指舒张末期与收缩末期之间 LV 心肌长度的相对变化。

$$\text{GLS}(\%) = (\text{MLs} - \text{MLd}) / \text{MLd}$$

此处 ML 为收缩末期 (MLs)和舒张末期 (MLd)的心肌长度。由于 MLs 小于 MLd,故 GLS 峰值为负数。当描述应变增加或减少时, GLS 的负数表达往往会引起混淆。为此,我们建议所有涉及应变改变的参考文献,在提及应变的增加或减少时,应使用绝对值,以避免混淆。

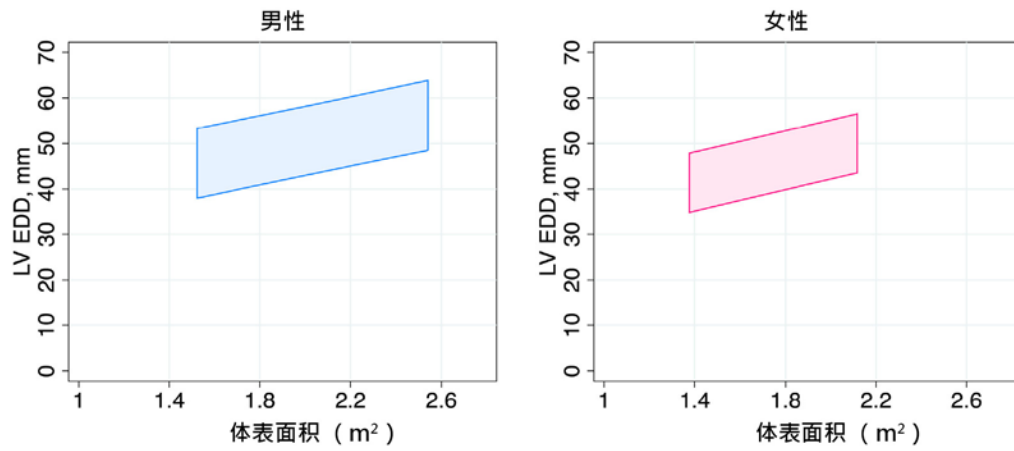
GLS 应在三个心尖标准切面上测量,并取平均值。测量时要选取最佳的图像质量、最大的帧频、并将心腔短切的可能性降至最低²⁵。所有这三个因素对减少变异性均至关重要。测量时,先取心尖长轴切面,利用主动脉瓣开放和关闭的喀喇音,或在 M 型图像上的主动脉瓣开放和关闭,来确定主动脉瓣的关闭。如果在一个切面上有两个心肌节段局部跟踪不满意,应取消 GLS 的计算。对于此类病例,可采用其他替代方法估价 LV 长轴功能,如二尖瓣环收缩期运动幅度,或组织多普勒显像得出的二尖瓣环收缩速度峰值 (S')。

使用心内膜、壁间或平均形变作为计算 GLS 的基础时,目前定义不一。本写作组对此不作建议,并提交正在拟定的 ASE、EACVI 和超声影像产业的联合标准化方案来决定^{24,26}。由于各设备和软件厂家的产品之间的不尽相同,也由于此参数依赖于年龄和心脏负荷,故对同一病人进行系列评估时,应使用同一超声设备和同一计算软件。

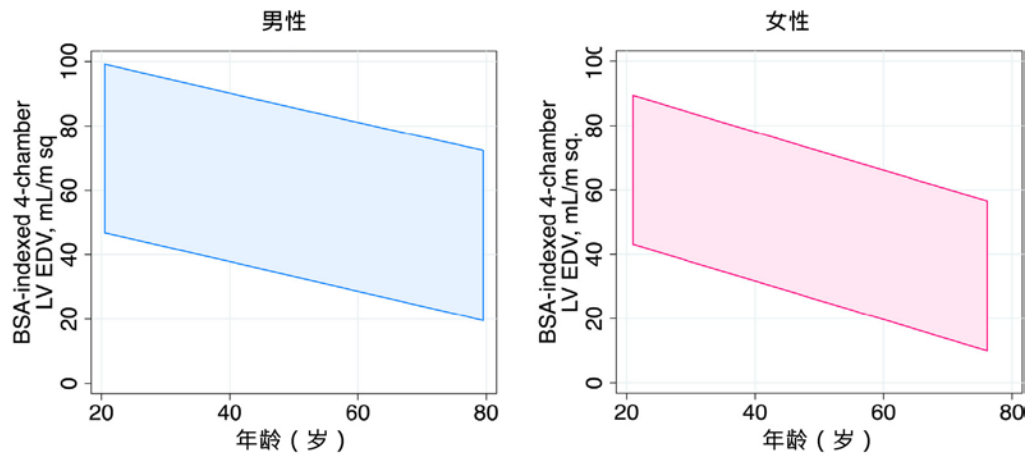
现有的数据多为壁间 GLS。虽然壁间 GLS 在常规临床超声心动图的应用中远不如 EF,但在几项研究中已表明 GLS 测值稳定,且重复性好²⁷,对估价行超声心动图检查的病人心脏静息功能^{28,29},预测瓣膜病人的术后 LV 功能有附加的预测价值^{30,31}。

2.4.正常参考值。在前面 1.3 节介绍的人群研究中,已经更新了 2DE 计算的 EF 正常参考值,详见表 2,表 4,以及增补表 2-5 (参见附件)。EF 与年龄、性别、体表面积无明显关联。用双平面的圆盘叠加法测

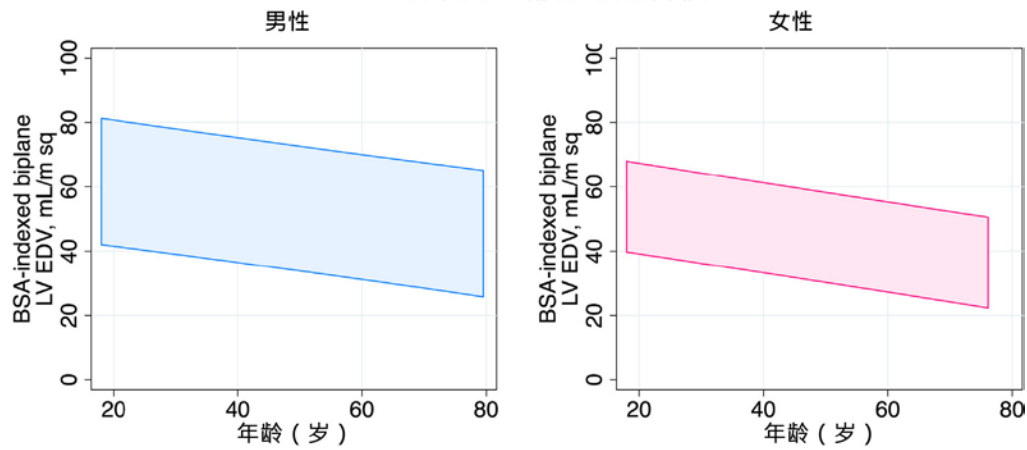
胸骨旁LV舒张末期内径



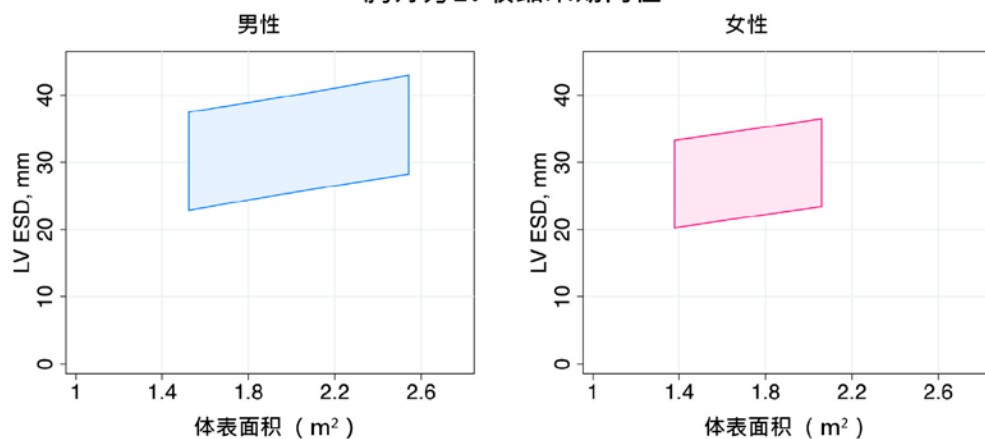
心尖四腔LV舒张末期容积



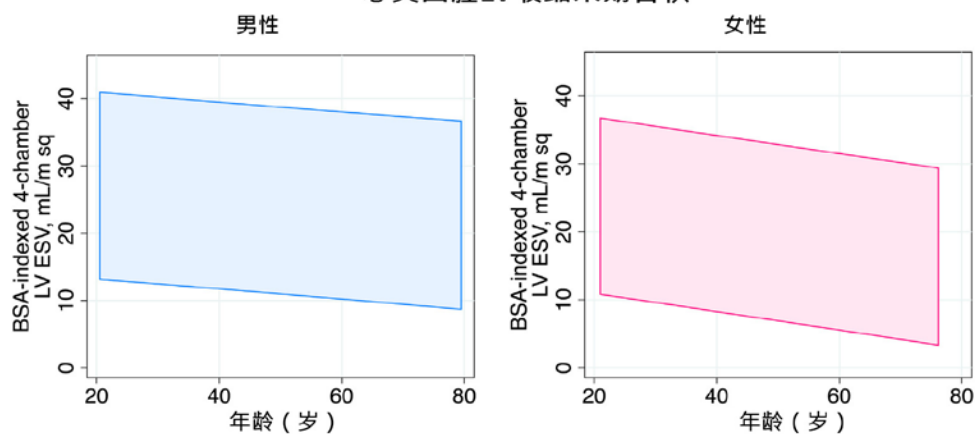
双平面LV舒张末期容积



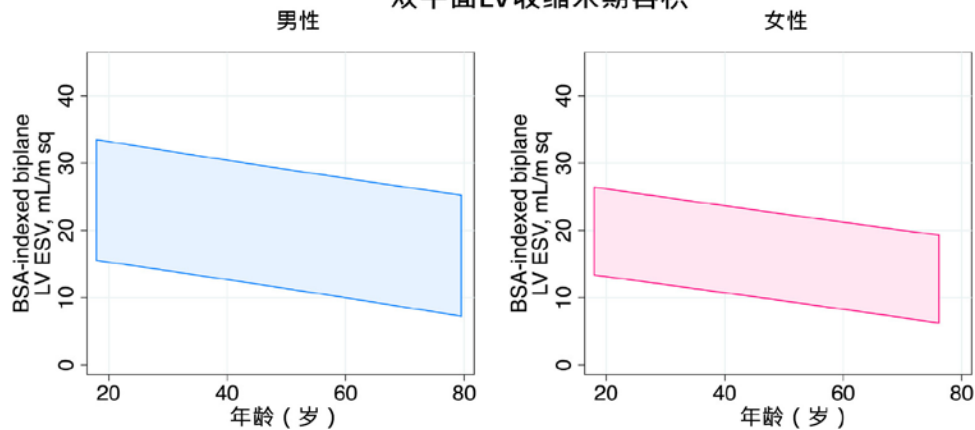
胸骨旁LV收缩末期内径



心尖四腔LV收缩末期容积



双平面LV收缩末期容积



得的 EF 正常值为 $63 \pm 5\%$ 。因此，年龄在 20 岁以上的个体，EF 在 53–73% 应归类为正常。最近文献报道了不同种族三维超声心动图的正常值 (表 3)。

GLS 的正常值取决于心肌的测量部位、使用的仪器、分析软件等因素，故在发表的文献中差异很大^{27, 32, 33}。目前写作组的共识是，由于各超声和软件厂家的产品

表 3 LV 参数 3DE 正常值				
	Aune et al. (2010)	Fukuda et al. (2012)	Chahal et al. (2012)	Muraru et al. (2013)
人数	166	410	978	226
种族	斯堪的纳维亚人	日本人	51% 欧洲白人 49% 印度人	欧洲白人
EDVi (mL/m ²)				
男性, 均值 (下限, 上限)	66 (46, 86)	50 (26, 74)	白人: 49 (31, 67) 印度人: 41 (23, 59)	63 (41, 85)
女性, 均值 (下限, 上限)	58 (42, 74)	46 (28, 64)	白人: 42 (26, 58) 印度人: 39 (23, 55)	56 (40, 78)
ESVi (mL/m ²)				
男性, 均值 (下限, 上限)	29 (17, 41)	19 (9, 29)	白人: 19 (9, 29) 印度人: 16 (6, 26)	24 (14, 34)
女性, 均值 (下限, 上限)	23 (13, 33)	17 (9, 25)	白人: 16 (8, 24) 印度人: 15 (7, 23)	20 (12, 28)
EF (%)				
男性, 均值 (下限, 上限)	57 (49, 65)	61 (53, 69)	白人: 61 (49, 73) 印度人: 62 (52, 72)	62 (54, 70)
女性, 均值 (下限, 上限)	61 (49, 73)	63 (55, 71)	白人: 62 (52, 72) 印度人: 62 (52, 72)	65 (57, 73)

EDVi, LV EDV 指数; ESVi, LV ESV 指数;

Modified with permission from Bhawe et al.¹³ 下限和上限的定义为均值±2SD.

表 4 2DE 测得 LVEF 和 LA 容积的正常范围及严重度的界限值

	男性				女性			
	正常 范围	轻度 异常	中度 异常	重度 异常	正常 范围	轻度 异常	中度 异常	重度 异常
LV EF (%)	52-72	41-51	30-40	<30	54-74	41-53	30-40	<30
LA 最大容积/BSA (mL/m ²)	16-34	35-41	42-48	>48	16-34	35-41	42-48	>48

差异太大, 尚无法推荐 GLS 的正常值和正常低限。为提供某种程度的指南, 如 GLS 在 -20%, 应视为正常。附件选用了最近发表的数据, 其中包括正常值的低限 (增补表 6)。有证据表明, 女性的 GLS 绝对值略高于男性, 其应变值也随年龄而降低。如果使用同一设备、同一软件、同一勾画方法^{32,34}, GLS 是很有价值且很敏感的随访检查方法。

推荐. 2DE 或 3ED 计算的 EF 应列为常规 LV 功能的测量指标。男性<52%, 女性<54%提示 LV 收缩功能异常。二维 STE 获得的 GLS 似乎重复性很好, 在临床上也是可行的, 在多种心脏疾病时可提供较 EF 更多的预后价值, 但易受仪器和软件差别的影响。为提供某种程度的指南, 如 GLS 在 -20%范围内, 应视为正常, 应变的绝对值越低, 越可能是异常。

3. LV 局部功能.

3.1. 左心室节段的划分. 为估价 LV 的局部功能, 心室被分成若干节段。节段的划分应能反映冠脉血流供应

的区域, 不同节段的心肌质量应相似, 易于在超声心动图领域内以及与其他影像技术进行标准化的交流 (图 3)。为此, 人们常采用 17 节段模式。从室间隔与右心室游离壁的前结合部开始, 连续逆钟向划分, 其心底部和心室中部的节段应分别称为前间隔、下间隔、下壁、侧下壁、侧壁、前侧壁、前壁。在 17 节段模式, 心尖部分为 5 个节段, 包括间隔、下壁、侧壁、前壁以及心尖帽。心尖帽定义为超出心腔末端的心肌部分 (图 3 和 4)³⁵。17 节段模式可用于心肌血流灌注的估价, 或用于比较不同影像技术, 特别是单光子发射断层显像、正电子发射断层显像, 以及 CMR。图 5 显示三条主要冠状动脉灌注区域的示意图。如使用 17 节段模式估价室壁运动或局部应变, 不应包括第 17 节段 (心尖帽)。

其他模式划分心尖节段的方法有所不同: 16 节段模式³⁶将心尖分为 4 个同等的节段 (间隔、下壁、侧壁和前壁; 图 3, 左图)。也有人将心尖部分为 6 个节段, 与心底部和心室中部水平的节段划分类似, 这样就产

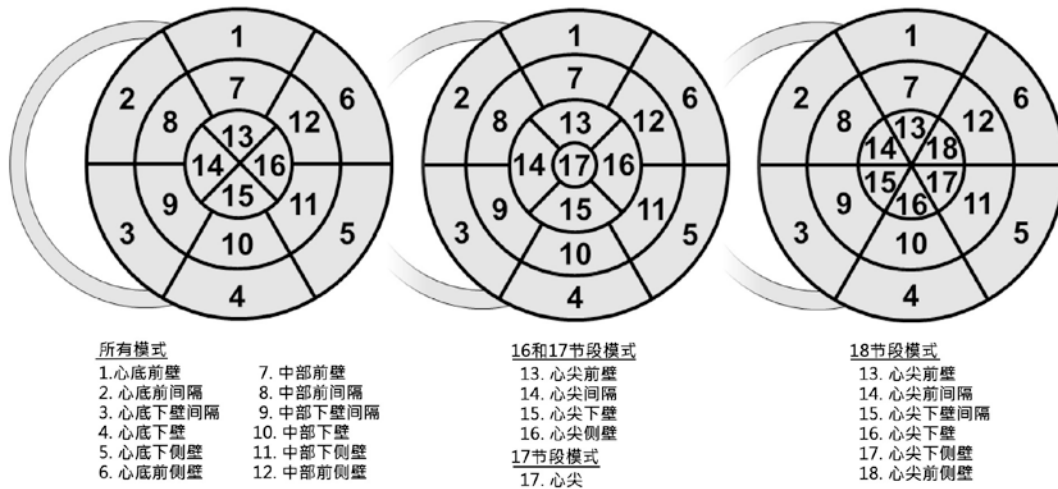


图 3. 不同 LV 节段模式示意图：16 节段模式（左图），17 节段模式（中图），18 节段模式（右图）。在这些所有示意图中，外环代表心底节段，中环代表中乳头肌水平，内环代表远端（心尖）水平。右心室室壁与左心室前连接处，为前间隔和前壁直接的边界。从此点开始，心肌被分成 6 个各成 60 度的相等节段。16 或 17 节段模式的心尖心肌为 4 个各为 90 度的相等节段。在 17 节段模式，在牛眼的中心加入另一节段（心尖帽）。（根据 Voigt 等人原图修改）。

生了 18 个节段（图 3，右图）。这种划分虽然简单，但当进行记分时，远端的心肌占有的成分偏大。

所有节段均可在 2DE 上显示。一般而言，心尖二腔心切面和长轴切面与心尖四腔心切面相交的角度大致分别为 53° 和 129° ³⁷。因此，无论使用哪一节段划分模式，均可通过心尖声窗评估所有节段的中心区域。虽然冠状动脉对于心肌节段的血流供应存在某些变异，但各节段可分别划归于三条主要的冠状动脉。

3.2. 视觉观察. 在超声心动图领域，局部心肌功能是通过观察室壁增厚，以及心肌节段的内膜运动来估价。由于心肌运动可由邻近节段的牵拉，或 LV 整体移位产生，故局部心肌变形（增厚、缩短等）应为检查的重点。不过也必须承认，形变也可以是被动性的，并非总能反映心肌的收缩状况。

我们建议在多个切面上对每一节段一一进行分析。对每一节段的室壁运动进行半定量的记分，平均所有节段的记分后，计算出 LV 室壁运动记分指数。我们建议采用下列记分方法：(1) 正常或运动增强；(2) 运动减弱（室壁增厚减少）；(3) 运动消失（室壁增厚消失或可忽略的室壁增厚，如疤痕）；(4) 反向运动（收缩期心肌变薄或伸长，如室壁瘤）。

室壁瘤是一个形态学实体，表现为心肌局部的扩张或变薄（重构），伴有收缩期的运动消失或反向运动³⁸。与以前的指南不同^{1, 2}，本写作组未将室壁瘤单独记分。

3.3. 心肌梗死和缺血时的局部室壁运动. 根据局部冠脉血流储备的不同，负荷超声心动图通过诱发室壁运动异常来发现冠状动脉的明显狭窄。心肌疤痕也可导致不同程度的局部功能障碍。取决于邻近区域的功能、局部负荷状态以及是否存在心肌顿抑，超声心动图可高估或低估缺血或梗死心肌范围³⁹。在行负荷超声心动图检查时，利用数字技术进行基础和负荷图像的同步并排比较，可以帮助识别局部功能障碍⁴⁰。

3.4. 无冠状动脉疾病的局部室壁运动异常 局部室壁运动异常也可以发生在冠状动脉疾病的各种情况下，例如心肌炎、结节病、应激诱导心肌病（Takotsubo）等。室间隔运动异常还可出现在术后、左束支传导阻滞、RV 心外膜起搏、RV 压力负荷或容量负荷过重的情况下。而且，即使无原发性心肌功能不全，某些传导延迟也可引起局部室壁运动障碍。这种局部功能异常是由于心肌激动顺序的异常，从而导致不均匀的负荷状态和心肌重构⁴¹。理想情况下，心肌激动和运动时间顺序应被描述。如存在导致激动顺序异常的特征性运动方式，超声报告应当予以描述，例如室间隔反弹（“鸟嘴”、“闪动”）或收缩期心尖向外摆动（“心尖摇摆”）⁴²⁻⁴⁵。

3.5. 多普勒和 STE 对局部室壁运动对定量测定. 超声心动图对局部心肌功能的定量测定目前依赖于 DTI 或斑点追踪技术⁴⁶⁻⁴⁸。这两种技术都可以提供类似

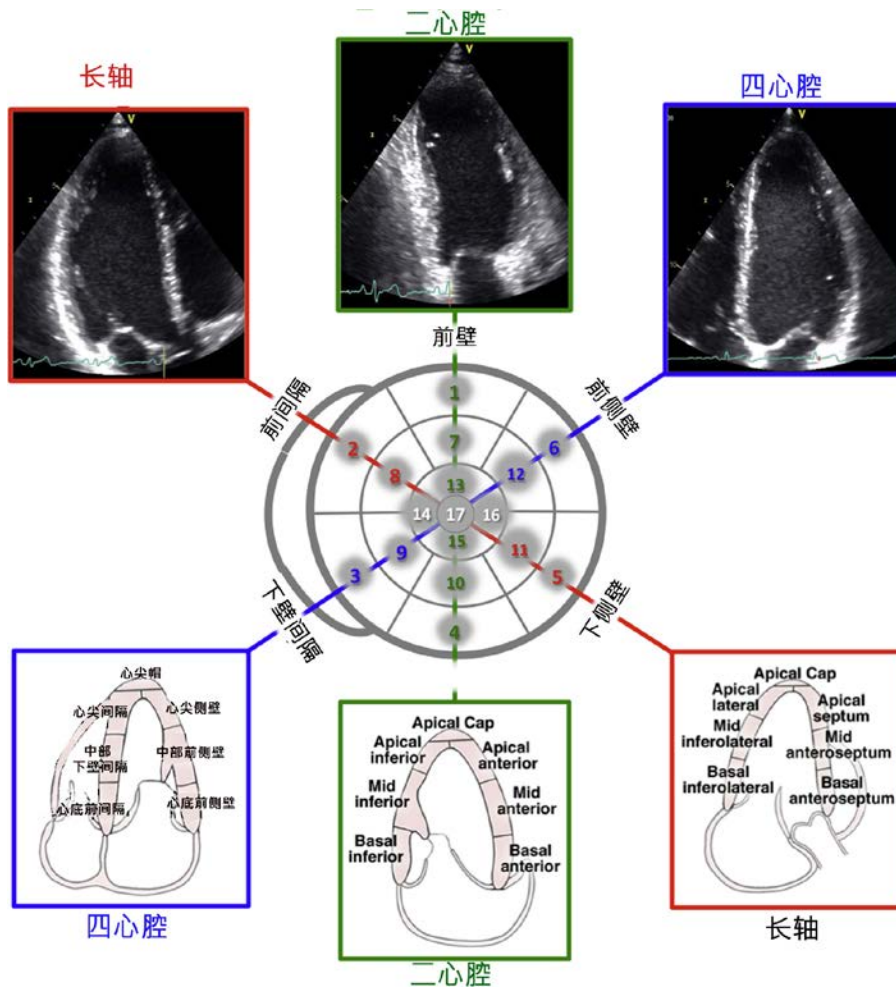


图4. 心尖四腔图（A4C）、心尖两腔图（A2C）、心尖长轴切面相对于LV节段牛眼（中心）的方位。顶图为实际图像，底图为各切面LV节段示意图。

的数据质量，但DTI因依赖角度，如未能与声束平行，往往低估运动。常用的参数包括：速度、运动、形变、形变率等。由于速度和运动的测量是相当于探头的，故测值会受到牵拉或整体心脏运动的影响。因此，最好使用形变参数，如应变和应变率。最常使用的形变参数是LV收缩期的长轴应变。就目前技术而言，局部形变测值的变化幅度很大，这与整体应变类似，主要取决于所检查的局部心肌、测量的方法、仪器厂家、取样容积的定义等。具体数值还要等即将发表的ASE、EACVI和超声影像产业的定量功能显像标准化联合特别工作小组的共识文件^{23, 25}。

心肌形变在时间上的特征性改变也可进行估价，它不依赖于应变大小的变化。主动脉瓣关闭后的心肌轴向缩短或径向增厚（后收缩期缩短或增厚，有时称迟缓运动[tarokinesis]），如心动周期的总形变>20%，

则表明局部心肌功能不均匀（如缺血、疤痕）⁴⁴。负荷试验时如出现后收缩期短缩，系局部心肌缺血的指征⁴⁹。由二维斑点追踪技术或三维数据获得的局部形变参数有关数据，以及应变时间的类型还在研究中，目前尚无定论^{50, 51}。

推荐：临床实践中可使用不同的LV节段划分模式。建议超声心动图和其它影像技术在估价血流灌注时，使用17节段模式。常规估价室壁运动建议使用16节段模式，因为心尖部的顶端无法分辨内膜振幅和心肌增厚。关于室壁运动，应该在多个切面评估每一心肌节段，并使用4级记分法：（1）正常或运动增强；（2）运动减弱（室壁增厚减少）；（3）运动消失（室壁增厚消失）；（4）反向运动（收缩期心肌变薄，或伸长）。尽管局部LV形变是很有希望的定量方法，但由于没有

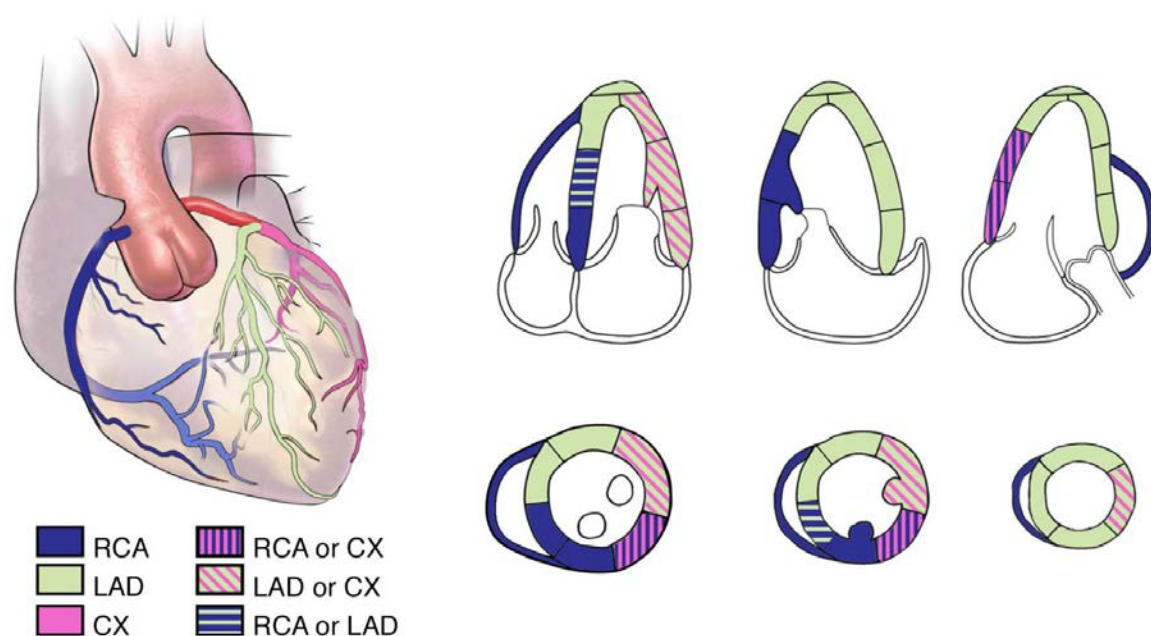


图 5. 右冠状动脉（RVA）、左前降支（LAD）、左旋支（CX）的典型分布。动脉的分布因病人而异。某些节段有各种各样的冠脉灌注。

参考值、重复性欠佳、且各厂家仪器测量的变异较大，故目前尚无法给出建议。

4. LV 质量

LV 质量是心血管疾病的危险因素，也是心血管事件的强烈预期指标⁵²⁻⁵⁵。M-型、2DE、和 3DE 均有计算 LV 质量的有效方法。所有测量均应在舒张末期进行（二尖瓣关闭之前的那一帧图，或心动周期中心室内径或容量最大的一帧）。无论用 M 型（盲查或 2D 引导）还是用 2D 测得的 LV 舒张期内径和室壁厚度，都是依靠几何学公式计算 LV 容积，而 3DE 可直接测得 LV 容积。所有方法都是用心肌容积乘以心肌密度，将容积转换成质量（约 1.05 g/mL）。

如整个心室用 2DE 测量，可采用面积-长度法，或截断椭圆法¹。每一测量 LV 质量的方法都有其优缺点，以及在特定情形的价值（表 5）。

为了在一段时间内测量某一病人的 LV 质量，特别是那些心脏病人，2ED 与线性维度技术相比，有其优越性¹。不过，与线性维度技术相比，2DE 对于 LV 质量的预后价值的研究还很少。与线性维度法，或 M-型方法不同，2DE 可以顾及心室形态的变化，适合评估沿心腔长轴出现的 LV 大小的变化。这是一个重要的考虑因素，因为 LV 几何学的变化在各类心脏病很常见。

不过，如在人数众多的人群中筛选或研究，M-型优点尽显，因为此法简单快捷，测量变异性小。目前有大量证据支持这种方法的准确性。大多数有关 LV 质量对预后价值对研究是采用这种方法⁵⁶。不过，有几点需要提及。首先，测量室壁厚度和 LV 径线时，与 LV

长轴真正垂直非常重要。因此，2D 引导 M-型或从 2DE 直接测量比 M-型盲测为优。第二，M-型计算公式中包括了 20%高估第校正，高估现象是在原始验证的研究中发现的。2D 直接测量室壁的数值一般小于 M-型的测值，故用此法计算的 LV 质量不可以直接互换（表 5）。如果这种方法是用于识别预后的界限值，则前述问题不太重要。另一重要提示是，此公式将导致径线测值的三次幂，故即使微小径线的误差也可对 LV 质量的计算有明显的影

响。在 2D 引导 M-型与 2D 面积-长度法或截断椭圆法比较测定形态正常心室的 LV 质量的研究中，多数研究仅显示有微细的差别，没有证据表明一种方法优于另一种方法⁵⁷。不过，晚近无人进行此类比较研究，而近年 2DE 的图像质量有了长足的发展。事实上，利用谐波显像证实或重建 LV 质量正常值的大系列人群的研究，相当有限^{58, 59}。

因 3D 是唯一直接测量心肌容积的超声方法，故被认为是合适的途径，也进行了不少印证研究⁶⁰。不过迄今为止，评估其实用性、易行性、变异性，或预后价值的大规模临床研究还很少⁶¹。因此，本写作组目前的共识是，正常人 3DE 的 LV 质量可用资料尚不完整，不能给出正常参考值的建议。同时还必须意识到，3D 显像技术在空间和时间分辨率方面的不断改善，必将对正常值及其测量变异性产生影响。

线性维度方法一般测量基部室间隔，因此在室间隔基部肥厚的病人，此法会导致心室质量高估，因为在

表 5 超声心动图评估 LV 质量的建议

参数和方法

线性方法

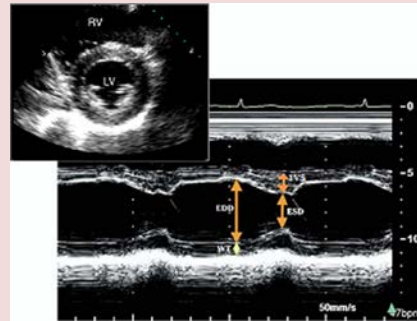
立方法

$$\text{LV 质量} = 0.8 \times 1.04 \times [(\text{IVS} + \text{LVID} + \text{PWT})^3 - \text{LVID}^3] + 0.6\text{g}$$

此处 IVS 为室间隔；LVID 为 LV 内径，PWT 为下侧壁的室壁厚度。

LV 的经线测量应该在胸骨旁进行，尽可能与 LV 长轴垂直，并在二尖瓣瓣尖水平测量。M-型应在 SAX 或胸骨旁 LAX 切面测量。所以测量均应在舒张末期进行。

超声心动图显像



优点

- 快捷、应用广泛
- 大量文献资料
- 已证明有预后价值
- 如心室形态正常（系统性高血压、主动脉狭窄），精确性尚可
- 大组人群筛查简单易行

局限性

- 基于下列假设：LV 为一扁椭圆形，长短的比例为 2:1，心室肥厚为对称性
- 声束方位常偏离轴线
- 由于线性测值被立方，即使径线或厚度测值很小的误差，也会对准确性有明显的影响
- 高估 LV 质量
- 在非对称性肥厚、心室扩大以及其它区域性室壁差异的情况下，测量不准确



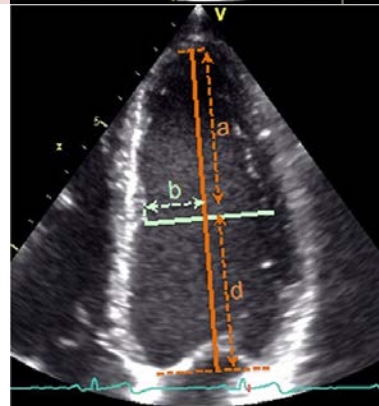
- 有助于垂直于 LV 长轴的定位

- 与 M-型的几何学假设相同
- 在 LV 几何学异常的病人，与 M-型的局限性相同
- 谐波显像对质量计算的影响，及其正常值有待确定
- 正常值不象 M-型那样被广泛接受

2D 公式

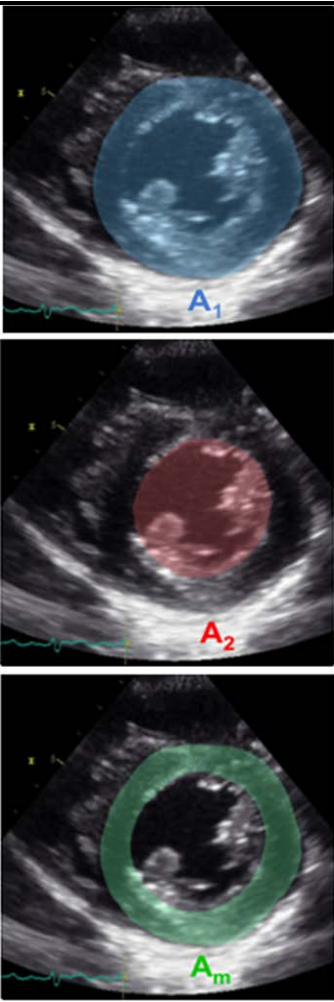
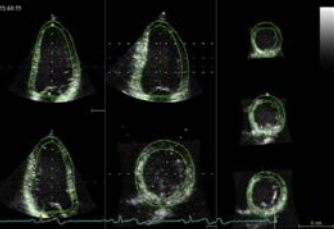
截断椭圆形

$$\text{LV 质量} = 1.05\pi \left\{ (b+t)^2 \left[\frac{2}{3}(a+t) + d - \frac{d^3}{3(a+t)^2} \right] - b^2 \left[\frac{2}{3}a + d - \frac{d^3}{3a^2} \right] \right\}$$



- 部分校正形态扭曲
- 比线性测量较少依赖几何学假设

- 需要高质量图像及适当的胸骨旁短轴切面（不可斜切）
- 需要很好的心外膜轮廓
- 方法学繁琐
- 测量变异性大
- 正常值少有报道
- 预后资料有限

参数和方法	超声心动图显像	优点	局限性
面积-长度 LV 质量 = 1.05 $\left\{ \left[\frac{5}{6} A_1 (a + d + t) \right] - \left[\frac{5}{6} A_2 (a + d) \right] \right\}$ 在乳头肌短轴水平，根据心外膜(A1)和心内膜(A2)的截面积计算室壁平均厚度（绿线部分），乳头肌考虑为LV腔。短轴半径的计算： $b \sqrt{\frac{A_2}{\pi}}$ 那么，平均室壁和厚度 t 按下式计算： $t = \left(\sqrt{\frac{A_1}{\pi}} \right) - b$ 短轴心肌的横截面积为： $A_m = A_1 - A_2$ 这些测值再加上从心底(d)至心尖(a)短轴平面测得的LV长度，计算出LV质量。 注：a=短轴至LV心尖内膜的距离；b=LV短轴半径；d=短轴至二尖瓣水平的距离；t=平均室壁厚度。 LV 质量=(LV 心外膜容积-LV 心内膜容积)。1.05=LV 心肌容积。1.05			
3D 公式		直接测量，无需几何学假设 比线性或 2D 测量更为精确 测量重复性好 在同一病人更容易发现微小变化	正常值尚未确立 依赖于图像质量 需要病人合作

测量时整合了室间隔最厚的部分。相反，面积-长度法是测量心室中部，故造成 LV 质量低估，因为室间隔较厚的部分没有包括在内。在室间隔基部非对称性肥厚的病人进行系列观察时，在同一心室水平，使用同一方法测量室壁厚度至关重要。3D 方法可以包容室壁各部分的差异，因此能更准确地测量 LV 质量。

LV 质量的数值因性别、年龄、体表面积、有否肥胖、世界不同地域而异，因此统一的参考值难以确定。男性的 LV 质量较高，且与身体大小无关。自从 2005 年指南发表以来，有几项研究报道了正常人群中的 LV 质量正常值，这些研究大多采用线性测量方法。比较的研究所报告的数值接近于以前指南推荐的数值^{62, 65, 66}。因此，我们仍然推荐使用以前指南所报道的参考值和异常界限值（表 6）。不过，当决定正常值时，应当考虑所研究人群当特征，以及不同种族的差别^{10, 16, 67-69}。

LV 质量指数可以用来比较不同身体大小的人群。不过，是否使用身高、体重、或体表面积作为指数，仍有争论。有的研究表明，异速生长的身高指数，例如 1.7、2.13、2.7 等，要优于 BSA 指数，特别时有意预测肥胖病人的事件时^{65, 70}。不过，大多数大系列 LV 质量的研究均包括 BSA 指数。

最后，通过下列公式（ $2x$ 后壁厚度）/（LV 舒张末期内径）计算室壁相对厚度（RWT）可将 LV 质量增加区分为向心性肥厚（ $RWT > 0.42$ ）或离心性肥厚

（ $RWT \leq 0.42$ ），并可以识别向心性重构（LV 质量正常，RWT 增加）。

推荐：左心室形态正常时，M-型和 2DE 计算 LV 质量的公式都可以使用。正常值与上次指南相同，没有变化。报告中应包括 BSA 指数。线性测量 LV 质量的正常上限女性为 95 g/m^2 ，男性为 115 g/m^2 。2D 测量的正常上限参考值，女性为 88 g/m^2 ，男性为 102 g/m^2 。3D 是唯一无需 LV 形态和室壁增厚分布几何学假设的直接测量心肌容积的超声方法，是一种非常有希望的技术，可用于心室形态异常的病人，也可用于非对称或局部心室肥厚的病人。目前文献中关于 3DE 测量 LV 质量的正常上限的数据还非常有限，尚不足以对参考值给出实质性建议。

II. 右心室

右心室具有独特的新月形结构，从而增加了对右心室大小和功能定量的复杂性。对于那些有心肺疾病症状和体征的患者，这个心腔的大小和功能在患者的患病率和死亡率上扮演了重要角色。由于在这方面缺乏对各种技术的了解，超声心动图右心成像的关注程度远不如左心定量，存在不平衡。美国

超声心动图学会（ASE）晚近颁布了一份指南，得到 EACVI 和加拿大超声心动图协会认同，对超声心动图评价成人右心大小和功能的方法进行规范。⁷¹与那个文件比较，本文件对右室内径，收缩和舒张功能的正常值作了进一步更新，可以作为前指南的替代。

5. 右心室定量的主要推荐

在所有的临床研究中，右心室正确的全面检查应考虑到患者的检查指征及临床信息。检查者需要用不同的透声窗对右心室进行检查，报告应根据定性及定量结果一一作出评价。这些指标包括右心室及右心房大小和右心室收缩功能的测定。右室收缩功能测定至少应包括下列方法的一项或多项：面积变化分数（FAC），组织多普勒（DTI）测定侧壁三尖瓣环收缩速率（ S' ），三尖瓣环收缩位移（TAPSE）以及右室心肌功能指数（RV index of myocardial performance, RIMP）。如果多普勒可以测得完整的三尖瓣反流速度，报告中还应包括根据三尖瓣反流及右房压（根据下腔静脉内径及塌陷率估测得到）计算的右室收缩压。⁷¹如果可行，还可以在上述二维超声检查的基础上，加用三维超声显像测定右室容积和射血分数。表 7 和 9 列举了每一种指标的优缺点和局限性，表 8 和 10 则列举了新的正常值。这些已发表的正常值，来自在无任何心脏或肺部疾病史的正常成人所测定的平均值和标准差（补充表 7）。本指南采用前指南类似的方法，对每一个指标均采用 meta 分析验证。

并非所有正常值都与已经出版的前指南相同。⁷¹根据近期发表的数据，我们对右室内径， S' ，TAPSE 和 RIMP 的正常值作了细微的调整。有关三维超声显像测定右心室射血分数和容积的正常值，前指南已经作了改动，新发表的指南也作了改动（表 8 和 10）。虽然有数据表明，经性别、体表面积（BSA）或身高矫正后的指标更为可靠，但是我们要提请读者注意，这里的多数正常值并未对此进行矫正。⁷²⁻⁷⁵因此，对于身高或体表面积比较极端的患者，他们的数值可能会超出正常值范围。建议医生在书写报告时应考虑这些因素。同样，对于某些群体也有类似的问题，如先天性心脏病和从事耐力运动的运动员，目前还没有建立这些人群的正常值。⁷⁶

6. 主要的透声窗和切面

心尖四腔心,以右室为主的心尖四腔心和改良的心尖四腔心切面 (图 7A), 胸骨左缘长轴和短

表 6 LV 质量正常范围

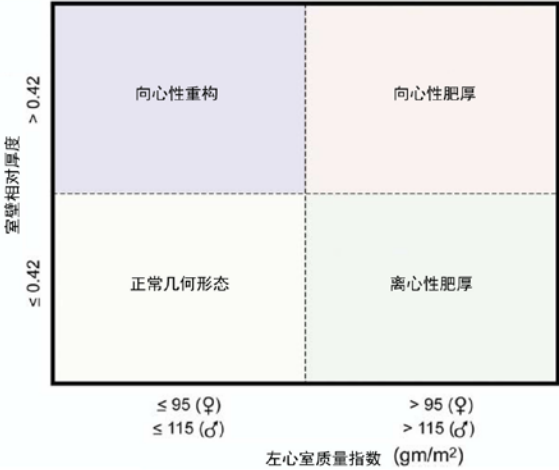
	女性	男性
线性方法		
LV 质量, g	67-162	88-224
LV 质量/BSA, g/m²	43-95	49-115
相对室壁厚度, cm	0.22-0.42	0.24-0.42
室隔厚度, cm	0.6-0.9	0.6-1.0
后壁厚度, cm	0.6-0.9	0.6-1.0
二维方法		
LV 质量, g	66-150	96-200
LV 质量/BSA, g/m²	44-88	50-102

粗斜体数值：此为建议并已经过充分验证

轴切面, 胸骨左缘右室流入道切面, 以及剑突下切面可用于全面评价右室大小、收缩和舒张功能及右室收缩压。⁷¹在多数情况下, 以右室为主的心尖四腔心切面较左心室为主的标准四腔切面更能显示右室的整个游离壁。因此我们推荐, 右室为主的切面可以作为评价右心室的专用切面。图 7 及表 7 示各种不同的右室切面及推荐的测量方法。

7. 右心室的测量

7.1. 径线测量。右心室内径的测量非常重要, 与目测法比较, 减少了读者间的测量差异。二维超声对右心室的测量充满挑战, 因为右心室的几何形态复杂, 且缺少特异性解剖标志可以应用作为参照。传统的心尖四腔切面, 如 : 以显示左心室为主的四腔心切面上, 右心室切面的变异相当大, 导致在同一个病人, 探头位置的细微转动, 就可引起右室内径和面积的巨大变化 (图 7B)。右室内径最好在以右室为主的四腔心切面测量, 探头方位转向侧面抑或内侧 (图 7A, 表 7)。注意将左室心尖部置于扇形图像的中央, 显示右室基底部的最大内径, 避免切面选择不当引起的缩短。需要注意的是, 如果右室游离壁不能很好显示, 抑或右室位于胸骨后, 会影响右心室的精确测量。近期文献提示, 右室大小经体表面积矫正在某些情况下也许是恰当的, 但这些研究运用的指标是在右心室为主的切面上, 未设立参照点得到的, 而且往往仅测量右心室面积, 而非径线。^{73, 74}表 8 示右室内径的正常值。通常在右室为主的切面下, 若基底段内径>41mm, 中间段内径>35mm, 提示右室增大。



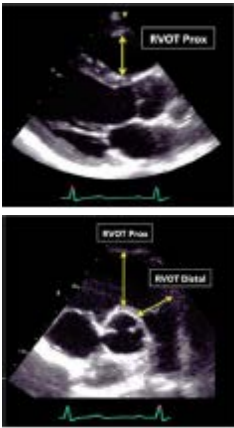
质量正常的患者可能有向心性重构 (LV 心肌质量正常, RWT≥ 0.42)或具有正常几何形状(RWT ≤ 0.42) 和正常 LV 心肌质量。具有 LV 心肌质量增高的患者可能有向心性肥厚 (RWT≥0.42) 或离心性肥厚 (RWT ≤ 0.42) 。 上述 LV 心肌质量测值由径线性测量获得。

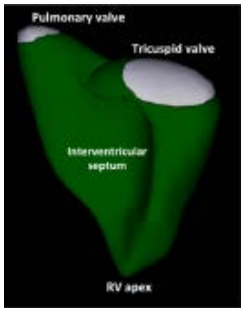
7.2 容量测定。三维超声显像 (3DE) 能克服二维超声显像观察右室在方位和参照点上的限制测定右心室容积。尤其是对图像质量差或右室明显扩大的患者, 尽管在技术上面临挑战, 三维超声显像仍可合理、准确地测定右室 EDV 和 ESV, 并计算右室 EF。

欧洲和美国超声心动图学会晚近发表了有关右室三维成像和图像分析的实用建议。⁶¹在测定右室容积期间, 根据右室的最大和最小容积, 分别手动确定舒张末及收缩末期非常重要, 而非根据左室的容积变化 (表 7)。肌小梁和调节束需要包括在右室腔内, 并要在动态图像上确保勾画的右室在整个心动周期中贴近心内膜和三尖瓣瓣环的轨迹。

与心脏磁共振 (CMR) 相比, ⁷⁸ 尽管三维超声显像倾向于低估右室容积, 但在确定右室容积与年龄和性别的关系上, 与 CMR 所阐述的结果非常类似。⁷² 总体而言, 尽管经 BSA 矫正, 女性的右室容积仍然偏小, 而 EFs 较高。⁷⁵ 另外, 年龄越大, 右室容积越小 (EDV 预期减小量为 5ml/10 年, ESV 减小量为 3ml/10 年), EF 越大 (EF 预期增加量为 1%/10 年)。⁷⁵ 表 8 和表 10 示从多个研究的 meta 分析得到的右室容积 (经 BSA 矫正) 和 EF 三维超声显像正常值。年龄, 性别和 BSA 对上述研究的影响在补充表 8 中有详细描写。⁷⁵ 虽然 CMR 发现右室

表 7 超声心动图测定右室大小的建议

超声成像	推荐方法	优点	局限性
右室内径（流入道） 	- 右室基底段内径（RVD1）= 在右室为主的切面，测量舒张期末右室流入道近基底段1/3处最大横径。 - 右室中部内径（RVD2）= 右室流入道中部舒张末期横径。相当于基底段最大处与心尖的一半处，接近乳头肌水平。	- 容易获得 - 简单 - 迅速 - 已有充分的数 据发表	- 由于右室短轴呈半月形，其大小可能被低估。 - 右室内径受探头旋转角度和不同右室切面的影响。为了研究之间的比较，超声报告必须注明在什么透声窗测量。
右室内径（流出道） 	- 右室流出道近端内径（RVOT prox）=右室前壁至室间隔-主动脉连接（胸骨旁长轴切面）舒张期末内径，或右室前壁至主动脉瓣（胸骨旁短轴切面）的舒张期末内径。 - 右室流出道远端内径（RVOT distal）= 舒张期末期近肺动脉瓣水平横径。	- 容易获得 - 简单 - 迅速	- RVOT prox 测量有赖于成像平面的位置，重复性不如RVOT distal。 - 如果切面相对于右室流出道倾斜，数据有高估或低估危险。 - 在胸廓或脊柱畸形的患者，右室流出道内径测量准确性不高。 - 右室前壁的心内膜常难以确定。 - 正常值数据有限。 - 局部测量不能反映右室整体大小（高估或低估）
右室面积（流入道） 	- 在收缩末期和舒张末期，手动勾画右室心内膜缘。从侧壁三尖瓣环沿游离壁至心尖部，再顺着室间隔返回到间隔侧三尖瓣环。 - 肌小梁，乳头肌和调节束包含在右心室内。	测量相对简单	- 如果右室游离壁图像不佳，测量难度增加。 - 存在肌小梁时，测量难度增加。 - 如果右室腔被缩短，右室大小会被低估 - 由于左心室的扭转运动以及右室半月形状，右室在舒张末和收缩末期的可能不在同一平面。 - 可能无法准确反映右室整体大小（高估或低估）

右室 3DE 容积 	• 三维图像是由多个心动周期的图像整合而成,在包含整个右室腔的前提下,选择最小的深度和扇角 (时间分辨率> 20- 25volumes/s) 。 • 必须对仪器自动认定的舒张末和收缩末期时间进行人工调整。 • 肌小梁和调节束需包含在右室腔内。	• 可以评价 RV 的整体大小,包括流入道,流出道及心尖部。 • 不需要进行几何假设。 • 结果经磁共振验证。	• 依赖于图像质量,规则的心率和患者的配合。 • 需要专门的三维超声显像设备和培训。 • 只有少数文献发表了正常值。
右室壁厚度 	• 右室游离壁厚度 (M- 型或二维超声显像) 是在舒张末期,三尖瓣环以下,靠近三尖瓣前叶瓣尖水平,三尖瓣完全打开,同时平行于右室游离壁时测量。 • 肌小梁,乳头肌和心包脂肪应被除外。 • 对右室游离壁中部局部放大。呼吸动作有助于改善心内膜缘的确定。	操作简便	• 只是单个部位的测量。 • 谐波成像或 M 型超声取样线倾斜时可能会高估右室壁厚度。 • 脏层心包增厚可能使测量难度增加。 • 目前尚无右室壁异常变薄的判断标准。

容量显著受种族影响,但三维超声显像无相关数据。**推荐。**应常规用二维超声显像从多切面测定右室大小,报告中应包括定性和定量参数。在临床对右室容积的测定有需求的患者,推荐在有 3DE 经验的超声实验室,用 3DE 测定右室容积。虽然右室三维超声容积的正常值需要大样本的研究才能建立,目前已出版的数据提示,右室舒张末期容积 (EDV) 的上限,男性为 87ml/m²,女性为 74 ml/m²,右室收缩末期容积 (ESV) 的上限,男性为 44ml/m²,女性为 36 ml/m²。

8. 右室收缩功能

有多项指标可供评价右室收缩功能,包括 RIMP, TAPSE, 二维面积变化分数 (2D FAC), 三维射血分数 (3DE EF), S', 和组织多普勒 (DTI) 或二维斑点追踪超声显像 (2D STE) 测定的纵向应变及应变率 (表 9)。²⁵ 已有多项研究证实 RIMP, TAPSE, 2D FAC, 三尖瓣环 S' 以及斑点追踪超声显像纵向应变的临床应用价值。如果使用得当, 3DE 测定的右室 EF 重复性好, 结果可靠, 目前已有越来越多的数据足以提供其正常值 (表 10, 补充表 8)。

8.1 RIMP。RIMP 是一项反映右心室整体功能的指标。这个指标是用脉冲多普勒或组织多普勒频谱,

测定同一心动周期右室侧壁三尖瓣环的等容收缩时间、等容舒张时间和射血时间 (表 9)。在用脉冲多普勒计算 RIMP 时, 需要确保 RR 间期在不连续的心动周期中相似。而用 DTI 计算 RIMP 不受此限制。当右房压力升高时, IVRT 会缩短, 造成 RIMP 假性缩小。RIMP > 0.43 (脉冲多普勒) 或 >0.54 (DTI) 提示右室功能不全。

8.2 TAPSE。TAPSE 测量简单, 代表了右室长轴方向的功能。它是在心尖四腔心切面, M 型超声的游标平行于右室侧壁三尖瓣环最佳运动方向时测量 (表 9)。虽然这项指标主要反映右室长轴功能, 但与其它反映右室整体功能的指标有很好的相关性, 如核素测定的 RV EF, 二维超声显像测定的 RV FAC 和 RV EF。作为与探头位置有关的一维测定, TAPSE 会高估或低估右室功能, 因为心脏的平移。⁷⁹ 尽管年龄和 BSA 也许对 TAPSE 有细微影响, TAPSE < 17 mm 高度提示右心室收缩功能不全。

8.3 右室的二维面积变化分数 (2D FAC)。FAC 提供了一项反映右室整体收缩功能的指标。确保整个右心室, 无论在收缩期和舒张期, 都

包含在扇形的图像中是非常重要的, 包括心尖部和游离壁。在勾画右室面积时, 要小心翼翼地将肌小梁包含在右室腔内(表 9)。RV FAC <35% 提示右室收缩功能不全。

表 8 右室大小的正常值

参数	平均值±标准差	正常范围
RV 基底段内径 (mm)	33±4	25-41
RV 中间段内径 (mm)	27±4	19-35
RV 长轴内径 (mm)	71±6	59-83
胸骨旁长轴切面 RVOT 近端内径 (mm)	25±2.5	20-30
RVOT 近端内径 (mm)	28±3.5	21-35
RVOT 远端内径 (mm)	22±2.5	17-27
右室壁厚度 (mm)	3±1	1-5
RVOT 舒张末期面积(cm ²)		
男性	17±3.5	10-24
女性	14±3	8-20
BSA 矫正的 RV 舒张末期面积 (cm ² /m ²)		
男性	8.8±1.9	5-12.6
女性	8.0±1.75	4.5-11.5
RV 收缩末期面积(cm ²)		
男性	9±3	3-15
女性	7±2	3-11
BSA 矫正的 RV 收缩末期面积 (cm ² /m ²)		
男性	4.7±1.35	2.0-7.4
女性	4.0±1.2	1.6-6.4
BSA 矫正的 RV 舒张末期容积 (ml/m ²)		
男性	61±13	35-87
女性	53±10.5	32-74
BSA 矫正的 RV 收缩末期容积 (ml/m ²)		
男性	27±8.5	10-44
女性	22±7	8-36

8.4 组织多普勒 (DTI) 测定侧壁三尖瓣瓣环收缩速率。DTI 测定 S' 波速率的方法简单, 结果可靠, 可重复性好, 与其它方法测定的右室整体收缩功能相关良好。大样本健康人群与具体年龄相关的正常值已有报道。⁸⁰ 保持多普勒游标与右室基底段和三尖瓣环连成一线非常重要, 以免 S' 值的低估(表 9)。与 TAPSE 测量相同, S' 值是测量与探头的相对位置, 因此可能受到整个心脏运动的影响。右室游离壁 S' <9.5cm/sec 提示右室收缩功能不全。

8.5 右室的应变和应变率。应变及应变率是评价右室整体和局部收缩功能有用的指标。纵向应变是计算右室游离壁从基底至心尖收缩期缩短的百分比, 纵向应变率是指缩短的速率。右室纵向应变受心脏整体运动的影响较小,^{79,81} 但会受到右室的负荷状态, 右室大小及形态影响。右室纵向应变应在右室表 9 超声心动图评价右室功能的建议

为主的心尖四腔心切面测量。与斑点追踪比较, 组织多普勒测定应变存在角度依赖, 这是组织多普勒测量应变的一个缺陷。右室斑点追踪超声显像测量应变会受到图像质量, 声波混响或其它假象和衰减的影响。如果感兴趣区在基底段的位置过低(在三尖瓣环的心房侧)可能人为地造成应变值降低。感兴趣区的宽度应该局限在心肌内, 而不能包括心包, 但由于右室游离壁较薄, 做到这点比较困难(表 9)。

对于右心室而言, 整体纵向应变 (GLS) 这一指标是从左心室的测量借鉴而来。目前多数测量右室 GLS 的软件一开始都是为测量左室设计的, 其后才用于右室的测量。RV GLS 这个名词可以指右室游离壁和室间隔纵向应变的平均值, 也可仅指右室游离壁纵向应变的平均值(图 9)。目前有报道认为右室整体纵向应变峰值(不包括室间隔)对多种疾病具有预后意义, 包括心力衰竭、^{82,83} 急性心肌梗死、⁸⁴ 肺动脉高压^{85,86} 及淀粉样变性,⁸⁷ 和预测左室辅助装置植入术后右室心力衰竭的发生。⁸⁸

以上大量的证据主要来自于单中心的研究, 采用了目前应用最多的两家公司的成像设备和软件, 这些数据库的样本量都不大。表 10 示目前可供参考的右室游离壁斑点追踪整体应变的正常值。汇总的数据(单一家公司设备和软件的比重较大)显示, 右室游离壁整体纵向应变 > -20% (即绝对值<20%) 多半功能异常。

推荐。二维斑点追踪超声显像测量的应变, 尤其是右室游离壁, 可重复性高, 可用于临床。由于还需要从多家不同公司的设备作大规模的研究, 采纳更多的正常数据, 无论右室整体或节段应变还是应变率, 目前还没有确定的正常值可供推荐。

8.6 三维超声显像评价右室 EF。三维超声显像评价右室 EF 是一项反映右室整体收缩功能的指标。本质上, RV EF 并不能直接反映右室的收缩功能, 而只是提供右室收缩力和负荷相互作用的综合评价。RV EF 对于心脏手术后缺乏显著室间隔位移的患者, 传统的反映右室长轴功能的指标(如 TAPSE, S' 波)减小或不能如实反映右室的整体功能的情况下, 具有特殊的临床价值。^{81,89,90} 三维超声显像已经被 CMR 广泛验证,^{78,91} 容积半自动边缘检测是评价 RV EF 值得推荐的方法。

三维超声心动图测定 RV EF 的局限性包括: 负荷依赖性, 室间隔运动变化的影响, 透声条件不佳和不规则心律的影响。在 RV 容积测定一节中提到, 因为女性的右室容积较小, 女性 RV EF 略高于男性, 因此推荐根据性别确定正常值(补充表 8)。

表 9 超声心动图测量右心室功能的建议

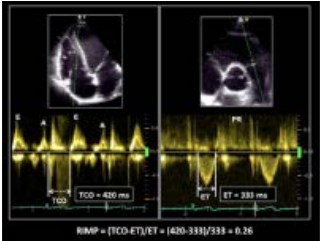
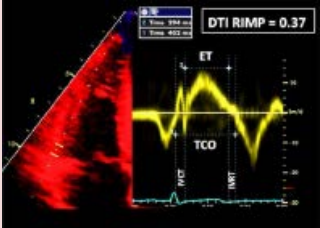
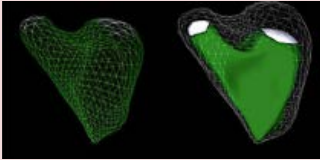
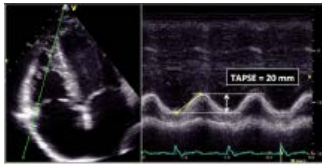
超声图像	推荐方法	优点	局限性
右室整体功能			
脉冲多普勒测定 RIMP 	脉冲多普勒测定 RIMP (Tei 指数) : $RIMP = (TCO-ET)/ET$	- 具有预后意义。 - 受心率影响小。	- 在不同心动周期下测定, 需要对 RR 间期进行匹配。 - RA 压力升高时, 结果不可靠。
组织多普勒测定 RIMP 	组织多普勒测定 RIMP: $RIMP = (IVRT+IVCT)/ET = (TCO-ET)/ET$	- 受心率影响小 - 采用单心动周期测定, 无需对 RR 间期进行匹配。	RA 压力升高时, 结果不可靠。
右室整体收缩功能			
FAC 	以右室为主的心尖四腔心切面 测定 RV FAC : $RV\ FAC(\%) = 100 * (EDA-ESA)/EDA$	- 具有预后意义。 - 可反映右室轴向及径向的收缩力。 - 与 CMR 测定的 RV EF 相关。	- 忽略了右室流出道对右室整体收缩功能的影响。 - 观察者间重复性平平。
EF 	经胸超声 3D 显像测定右室容积变化率 : $RV\ EF(\%) = 100 * (EDV-ESV) / EDV$	- 包含了右室流出道对右室整体功能的影响。 - 与 CMR 测定的 RV EF 相关。	- 依赖于图像质量。 - 受负荷状态的影响。 - 需要脱机分析的经验。 - 预后价值尚未建立。

表 9 续

右室长轴收缩功能

TAPSE



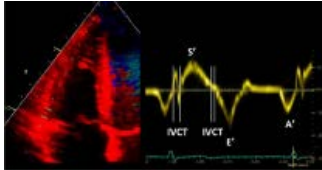
采用 M 型超声，测定舒张及收缩末期三尖瓣环纵向峰值位移 (mm)。

调整 M 型超声的游标，使之通过心尖与右室纵向运动方向一致。

- 具有预后意义。
- 经核素显像测定的 EF 验证。

- 角度依赖。
- 只能部分代表右室整体功能。

脉冲组织多普勒测定 S'波

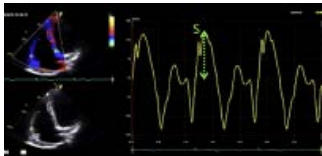


用脉冲组织多普勒，游标经心尖测定三尖瓣环收缩峰值速率 (cm/s)。多普勒声束需要与右室游离壁长轴运动方向平行。

- 操作容易。
- 重复性好。
- 经核素显像测定的 EF 验证。
- 具有预后意义。

- 角度依赖。
- 无法完全代表右室整体功能，尤其在开胸手术，肺动脉除栓术或心脏移植术后。

彩色组织多普勒 S'波

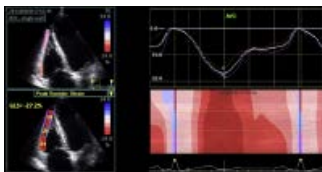


用彩色组织多普勒测定三尖瓣环收缩期峰值速率 (cm/s)。

- 可以在图像采集完成后取样测定。
- 允许在同一个心动周期多点取样分析。

- 角度依赖性。
- 无法完全代表右室整体功能，尤其在开胸手术，肺动脉除栓术或心脏移植术后。
- 绝对值和正常值范围较脉冲组织多普勒 S'波小。
- 需要脱机分析。

GLS



利用二维斑点追踪超声显像，在右室为主的心尖四腔心切面上，测定右室游离壁三个节段的纵向应变峰值，取其平均值 (%)。

- 无角度依赖。
- 具有预后意义。

- 依赖于不同公司的产品。

EDA:舒张末面积；ESA:收缩末面积；ET：射血时间；GLS：整体纵向应变；IVCT：等容收缩时间；TCO：三尖瓣关闭-开放时间。

表 10 右室功能指标的正常值

指标	平均值±标准差	异常阈值
TAPSE (mm)	24±3.5	<17
脉冲多普勒 S' 波 (cm/s)	14.1±2.3	<9.5
彩色多普勒 S' 波 (cm/s)	9.7±1.85	<6.0
RV 面积变化率(%)	49±7	<35
RV 游离壁二维应变(%)*	-29±4.5	> - 20 (负值幅度<20)
RV 3D EF(%)	58±6.5	<45
脉冲多普勒 MPI	0.26±0.085	>0.43
组织多普勒 MPI	0.38±0.08	>0.54
E 波 减速时间 (msec)	180±31	<119 或>242
E/A	1.4±0.3	<0.8 或>2.0
e' /a'	1.18±0.33	<0.52
e'	14.0±3.1	<7.8
E/e'	4.0±1.0	>6.0

MPI：心肌功能指数。

*：数据较少；正常值根据生产厂商和软件版本不同而异。

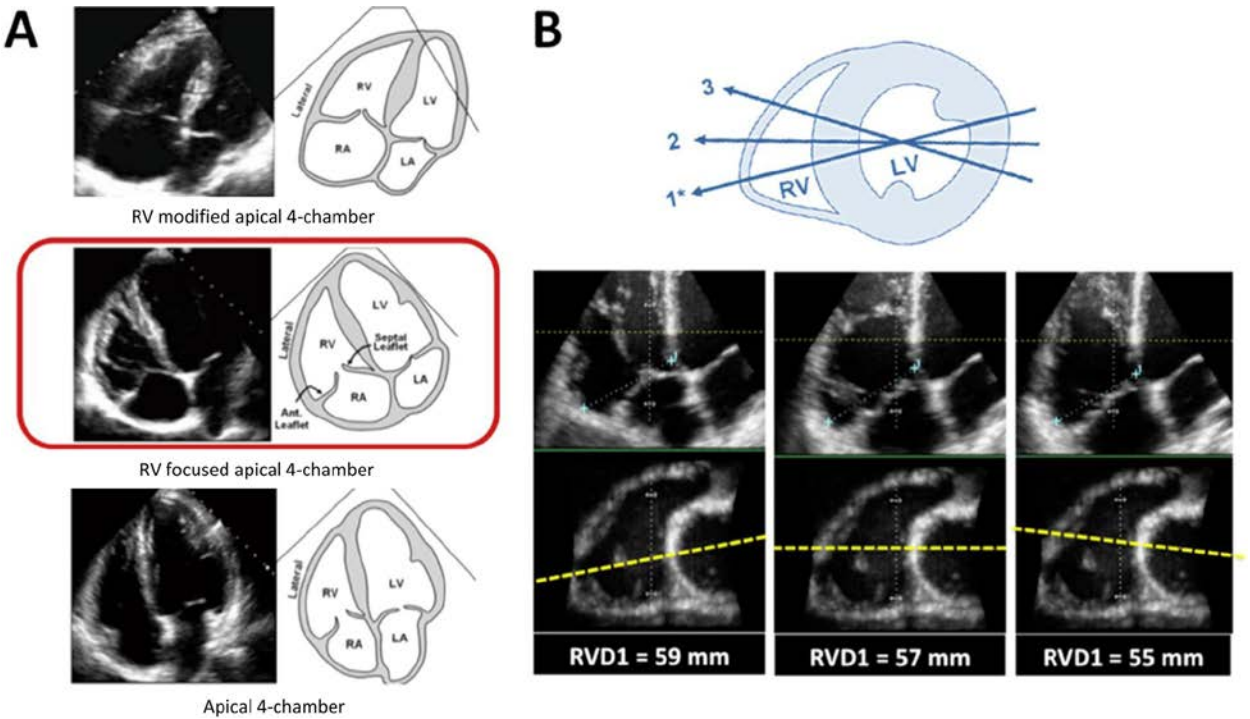


图 7，(A) 三个心尖切面展示不同的右室观。中图为右室 (RV) 为主的切面。(B) 示在右室为主的切面，得到右室基底段最大径的理论基础。在卡通示意图下方的图像中，操纵游离线在同一个三维数据库中的位置。显然，与右心室半月形短轴切面相对的四腔心切面上，虚线位置的微小变化，就可导致右心室径线大小的变化。

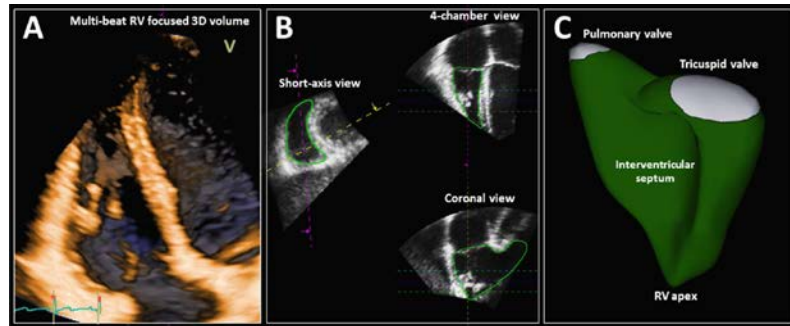


图 8，右心室的三维分析。（A）示三维超声数据是在右室为主的心尖四腔心切面，连续采集几个心动周期（四至六个）子容积（subvolume）拼接而成。（B）右心室心内膜表面是在手动勾画右室短轴、四腔及冠状切面收缩末和舒张末期边界后半自动确定的。（C）示最后生成的右室表面积模型。以此可定量右室收缩末期容积（ESV），舒张末期容积（EDV），每搏量和射血分数（EF）。

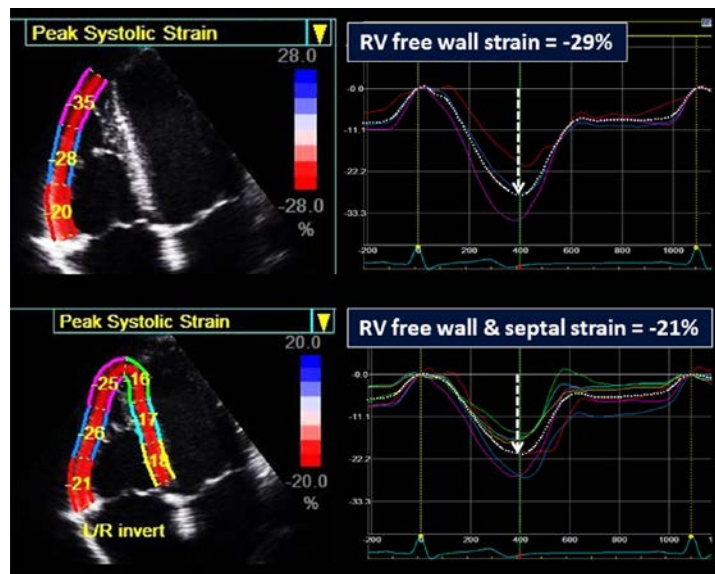


图 9，二维斑点追踪超声显像（2D STE）测量右室收缩应变。上图示对右室游离壁三个节段应变值进行平均，计算右室游离壁“整体”应变。下图示在心尖四腔心切面，对右室游离壁三个节段和室间隔三个节段共六个节段的纵向应变值平均，计算右室“整体”纵向应变。注意，右室（游离壁，译者添加）纵向应变的绝对值较室间隔和游离壁平均值显著增高。除非能建立统一的标准，右室纵向应变需要考虑到方法学，生产厂商和具体方法的正常值不同而产生的差异。

推荐。 对具有三维超声设备和成熟经验的实验室，可考虑用 RV EF 作为评价右室收缩功能的方法，不足之处如上所述。虽然有些实验室根据年龄和性别，选择不同的正常值，一般而言，RV EF < 45% 常表示右室收缩功能异常。

III. 左心房（LA）和右心房（RA）

LA 对 LV 的充盈和功能有三个主要的生理作用。（1）作为收缩泵，LA 可提供 15 %至 30% LV 舒张期充盈

的容量，(2)作为储存所，LA在LV收缩期汇集肺静脉回流来的血液，(3)作为通道，LA存储的血液在LV舒张早期流向LV^{92,93}。已有文献证明，LA扩张，与心血管不良事件的发生率有直接关系⁹⁴⁻⁹⁹。在没有二尖瓣病变的人群中，LA扩张的最常见原因，是LA内压力和LA壁张力的增加¹⁰⁰⁻¹⁰³，以及LA的心肌病变导致LA功能的减退^{104,105}。LA的扩张关系到房颤和中风的发病率^{92,106-115}，心肌梗死后的总死亡率^{104,105,116,117}，扩张型心肌病的死亡风险和住院率¹¹⁸⁻¹²²，以及二型糖尿病病人主要心血管事件或死亡率¹²³。LA扩张的程度，既反映了LV舒张功能不全的程度和病程，也反映了LA压力升高的幅度^{98,100-103}。

9. LA的测量

9.1. 注意事项：推荐使用TTE来评估LA的大小。表11总结了指南对LA定量的建议。由于LA往往不能完整地在TEE的扇形切面中显示，TEE不应用来定量LA的大小。LA容积的测量应取LV收缩末期的数值，因为LA的容积在此时最大。在测量LA的大小和容积时，须注意避免显示LA的切面被短缩而导致的低估。LV和LA的纵轴经常位于不同的平面，因此，在心尖位探测LA时，应致力于取得能最佳显示LA的切面。在测量LA的切面上，LA的基底应得以最大的显示，这样可确保切面贯穿了LA的最大短轴。LA的长径，须与真正的LA长轴平行而得以最大的显示。在用双平面碟型叠加法计算LA容积时，LA的长径在心尖四腔和二腔切面上的测值应相近似。当标测LA的边界时，须把肺静脉汇合处和左心耳排除在外。LA和LV的交界应以二尖瓣环平面为准，而不是由二尖瓣尖为准。

9.2. LA径值和面积的测量。最广泛使用的LA径值，是在胸骨旁长轴切面上的LA前后(AP)径，在M型超声心动图，或更好地，在2DE上测量^{92,107,109,110,114,118,120,121,124,125}。虽然LA的AP径已广泛应用于临床实践和研究，但业已证明，它常不能准确反映LA的大小^{126,127}。LA的AP径历年来的广泛使用，是由于其可重复性强。但是，只用LA的AP径来定量

LA大小是基于这样一个假设，即当LA扩张时，其各径值的变化相同。但是，这个假设在很多临床情况下并不成立¹²⁸⁻¹³⁰。因此，LA的AP径不应作为LA大小的唯一测值。LA面积可在心尖四腔和二腔切面上测量，文献已报道了这些测值的正常范围¹²。在采图时，应选用高质量的图像，避免切面被短缩，并确保心尖四腔和二腔图彼此垂直。但是，由于LA容积测量方法简单，加之大量有关其正常值和预后价值的文献，使LA面积的测量已不再必要。

9.3. LA容积的测量。在评估LA的大小和重塑程度时，推荐用LA容积的测值，因为LA容积顾及了LA各个维度的大小变化。业已证明，LA容积对多种心脏疾病具有重要的预后价值^{99,106,112,113,115-117,122,131-136}。与LA的AP径相比，LA容积在心血管病人的不良事件的预测方面更有效^{113,137}。LA容积在2DE上的测值，通常较CT或CMR的测值小¹³⁸⁻¹⁴²。测量LA容积很重要，因它反映了LV舒张期灌注压升高的程度和持续的时间，可预测临床预后。

测量LA容积有不同的方法。用椭球模型从LA的长宽高三个径值可计算出LA容体^{131,137,143}，但这种线性测量的误差较大，应用有限。LA容积的测量，应该像测量LV容积那样，采用碟盘叠加模型的方法(表11)^{144,145}。

标测LA内膜边界，应采用双平面法，即在心尖四腔和心尖二腔两个切面上进行标测。虽然单平面法也可应采，但此法是基于LA的短轴切面呈正圆形的假设，而这种假设并非总是准确的¹⁴⁶。因此，单平面法不推荐为临床常规使用，而仅用于双平面法难以实现的情况下。用单平面心尖四腔切面测得的LA容积指数，通常比双平面的测值略低1~2毫升/平方米^{12,146}。

在双平面上测量LA容积，也可用面积-长度模型法，可从心尖四腔和二腔切面上所测得的LA面积和长轴长度计算而得(表11)。虽然这个面积-长度模型是基于LA呈椭圆形的假设，但它把LA的线性测量削减到两个LA长度的测量(取其较短的长径)^{98,147}，这是它的一个的优点。

Table 11 超声心动图估价LA大小的建议

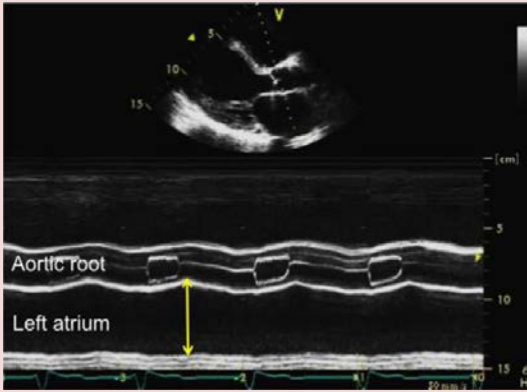
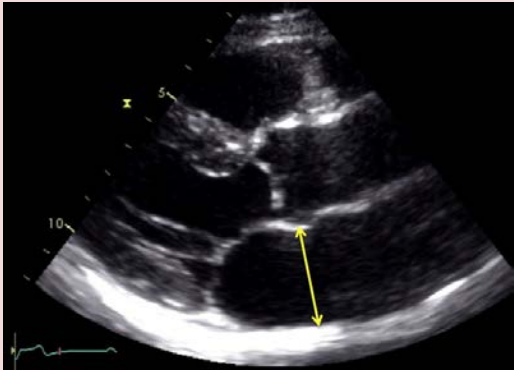
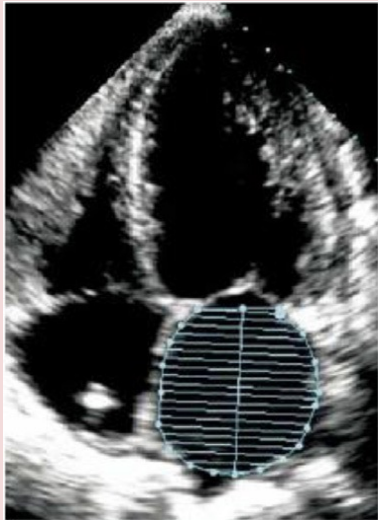
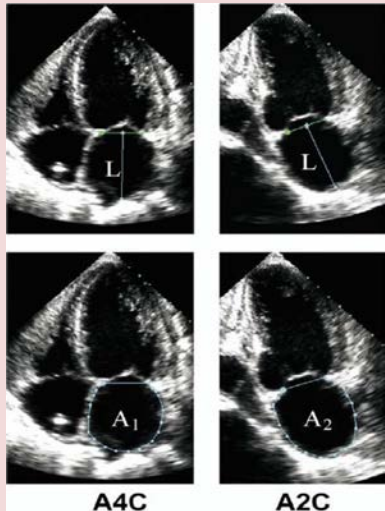
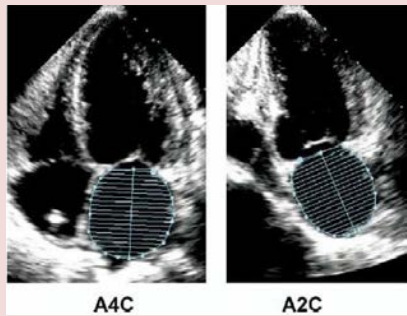
参数和方法	超声心动图显像	优点	限制
内径测量：	M-型测量	• 重复性好 • 时间分辨率高 • 大量已发表数据	单一径线测量，不能代表LA实际大小（特别当LA扩大时）
LA的前后径可以在与主动脉长轴垂直的胸骨旁长轴切面测量，也可在主动脉窦水平测量前缘与前缘之间的距离。			
	2D-引导内径测量	• 帮助确定与LA后壁垂直的方位	• 帧频低于M-型 • 单一径线
			
面积：	2D 显像	• 比只测量前后径更能代表LA实际大小	• 需要特别仔细选择切面，避免LA短缩 • 假设心房形状对称
取心尖四心腔切面，在收缩末期，即二尖瓣关闭前的那帧图勾画LA内缘，测量时应排除二尖瓣环和肺静脉入口部分			

Table 11 (续)

参数和方法	超声心动图显像	优点	限制
容量： 2D测量容量是在心尖四心腔或两腔切面勾画血液与组织的界面。在二尖瓣水平，将两个瓣环相对部分划一直线将轮廓封闭。心内的勾画应摒除心耳和肺静脉。LA长轴的定义是，心尖二腔和四腔切面中最短者（如测量准确，两者的长度差别不应大于5mm）。容量计算可采用面积-长度的近似值： $\frac{8}{3\pi} \left[\frac{(A_1 \cdot A_2)}{L} \right]$ 此处A1和A2是各自的LA面积。 LA容量的另一种选用的方便是使用圆盘叠加法：假设左房为椭圆形，计算互交短轴和长轴(D1和D2)的截面积，然后加入一串高度h 的容量： $\pi/4(h)\Sigma(D1)(D2)$ 3D 数据是通过心尖途径采用多个心动周期全容量获取。	2DE 长度-面积法  A4C A2C 圆盘双平面法  A4C A2C 3D 数据 	- 可精确测量左房非对称性重构 - 在心血管事件预测方面比径线或面积测量更强	- 需LA 形状的几何学假设 - 积累的资料较少 - 单平面计算不准确。因为这是基于A1=A2的假设

9.4. LA 测量的正常值。自 2005 年版指南发表之后，又有两篇文献报道了 LA 的 AP 径的正常值范围^{12,143}。这两篇文献的结果与 2005 指南中的正常值范围相符。因此，新版指南对 LA 的 AP 径正常值未作修正（补充表 9）。

虽然有文献报道¹² 从心尖四腔和二腔切面上测量 LA 径值、面积和容积的正常值，但指南不推荐临床常规使用。

LA 的大小虽然与性别有关，但是 LA 大小的性别差异主要源于性别间的体格差异¹²。文献中，有用不同的方法来校正体格差异对 LA 大小测量的影响^{137, 148}。指南写作组根据现有的大量资料，仅推荐使用 LA 的 BSA 指数，其已涵盖了性别的差异因素^{93,137,149, 150}。

在 2005 年版的指南中，LA 容积 BSA 指数的正常值是基于两个较小的临床研究^{98,144}。在 2005 年之后，又有 8 篇（共 1234 例）报道了 LA 容积 BSA 指数的正常值区间，这些文献采用了磁盘叠加模型法或长度-面积模型法测量 LA 的容积^{11,12,145,147,151-155}。因此，新版指南对 LA 容积 BSA 指数的正常值区间做了修正，将其正常值区间上限增至 34 毫升/平方米（前版为 28 毫升/平方米）。这一正常值区间上限的调整，更符合文献有关 LA 扩大预测心血管不良事件^{106,123,134,136}，及美国和欧洲超声心动图协会有关心脏舒张功能不全的指南¹⁵⁶。新版指南还根据前述的五个数据库 1331 例的研究，添加了 LA 容积 BSA 指数的平均值（25 毫升/平方米）。表 4 详细列出了在 2DE 上，用双平面测量的 LA 容积 BSA 指数的正常值区间，及轻度、中度和高度扩大的区间值。值得注意的是，LA 容积在精锐的运动员可以增大，在对于这类特殊人群作诊断时，需加注意以免误导¹⁴⁶。

3DE LA 容积的测量是很有希望的，它与 CT 和 CMR 的测值相关性很高¹⁵⁷⁻¹⁶⁰。与 CMR 相比较，3DE 的 LA 容积测量较 2DE 更为准确。在预测心血管不良事件发生率时，3DE 也具有更高的价值^{161,162}。据大多数文献报导，3DE 所测得的 LA 容积比 2DE 的测值大。但是由于 3DE 的方法未规范化，其正常值范围的数据有

限¹⁶⁴，本指南在目前尚不能推荐临床使用 3DE 测量 LA 容积的正常值。

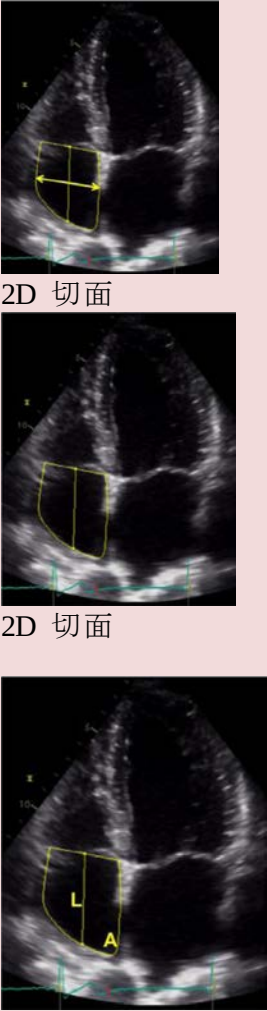
建议小结：由于磁盘叠加模型法在理论上采用较少的几何假设，比长度-面积模型法更为准确，本指南推荐在临床实践中测量 LA 容积时，采用磁盘叠加模型法。2DE 测量 LA 容积 BSA 指数的正常值上限为 34 毫升/平方米（男女均适用）。

10. RA 的测量

有关 RA 的量化及其临床意义的研究较少。RA 大小的测量，虽然可用多种不同的方法，但在临床上最常用的方法是在心尖四腔切面上测量（表 12）。在测量 RA 的短轴时，须在与 RA 长轴垂直的平面上，自 RA 的游离壁量到房间隔。与 LA 的情况不同，RA 容积的性别差别较大，但由于文献数据有限，2005 版指南无法提供 RA 性别索引的正常值区间^{1,71}。在最新的三个系列的文献中（> 2400 例），已有性别索引的 RA 正常值区间的报导^{12,73,165}。与 LA 相同，在评估 RA 的大小时，RA 容积比 RA 的任何一条内径都更为准确，同样由于文献数据有限，2005 版指南无法提供 RA 容积的正常值区间，在本版指南中，推荐使用单平面磁盘叠加模型法来测量 RA 容积，这是由于目前 2DE 的心尖切面中，尚无两个标准的 RA 正交切面以供双平面计算容积^{150,153,165-167}。值得注意的是，正常男性的 RA 容积比女性稍大，即使用其 BSA 指数，这个区别仍然存在，其中的机理目前尚不明确^{150, 165}。表 13 中 RA 容积正常值区间，是基于两个新的最大数据库的数据^{12, 165}。和 3DE 相比，2DE 测得的 RA 容积值偏小^{164,165,168}。在成年人中，2DE 测得的 RA 容积比 LA 容积小^{12,150,153,165}，这可能是由于 RA 容积是用单平面法测量所得，而 LA 的容积是用双平面法测量所得。

建议小结 指南推荐使用 RA 容积来评估 RA 的大小，测量计算时用单平面磁盘叠加模型法或长度-面积模型法均可。2DE 测量 RA 容积 BSA 指数的正常值范围：

Table 12 超声心动图测量RA大小的建议

参数和方法	超声心动图显像	优点	限制
径线测量	2D引导径线测量	易于获得公认的正常值	- 仅为一维径线 - 假设RA对称增大 - 依赖于切面
面积.	2D 切面	- 比径线测量更能代表RA实际大小 - 已有公认的正常值	- 需特定切面避免RA短缩 - 假设心腔形状对称 - 依赖于切面
容量	2D 切面	比径线测量更能代表RA实际大小	- 假设心腔对称 - 单平面容量计算可能不准, 因为它假设RA是对称扩大。 - 正常值尚未确立。
2D测量容量一般是在心尖四心腔切面勾画血液与组织的界面。在三尖瓣水平, 将两个瓣环相对部分划一直线将轮廓封闭。容量可以单平面法计算: $\frac{8}{3\pi} \left[\frac{(A)^2}{L} \right]$ 也可以用圆盘叠加法计算。 3D 数据是通过心尖途径采用多个心动周期全容量获取。		- 不需几何假设 - 有公认正常值	- 取决图像质量 - 时间分辨率低 - 需病人合作

男性为 25 ± 7 毫升/平方米, 女性为 21 ± 6 毫升/平方米。

IV. 主动脉瓣环和主动脉根部

在经皮主动脉瓣植入术 / 置换术 (TAVI/TAVR) 新技术日新月异的年代, 全面了解及精确测量主动脉根部和主动脉瓣膜结构, 对术前准备, 术中影像引导和术后评估至关重要。

主动脉根部是指左室流出道主动脉瓣膜基底附着点延伸到远端的窦管交界处。它具有复杂的几何形状, 包括 (1) 主动脉瓣环 (2) 瓣叶间三角区 (3) 半月形主动脉瓣叶及其附着点 (4) 乏氏窦 (5) 窦管交界处。主动脉的测量应包括以下诸部位 (1) 主动脉瓣环 (2) 乏氏窦最大直径 (3) 窦管交界处 (乏氏窦与升主动脉管体的交界处) (4) 升主动脉近段最大直径, 要标明此测量处与窦管交界处的距离 (图 10A)。

11. 主动脉瓣环

主动脉瓣环不是一个实际的解剖结构, 而是一个虚拟的环, 由三个瓣叶的基底附着最低点划环线拟成。瓣叶远端 (最高处) 附着点连线, 形如皇冠状, 构成了一个实际的解剖环^{169,173} (图 10B)。主动脉根部的 2 / 3 周边与室间隔肌接壤, 另 1 / 3 周边与二尖瓣前叶以纤维连接。TAVI 或 TAVR 术前对主动脉瓣环的测量是一个挑战, 最理想的测量技术尚有待于探讨。在 TAVI/TAVR 开始起步时, 常规应用 2DE 测量单一的径线, 这个方法的局限性是显而易见的。目前在 TAVI/TAVR 前, 测量主动脉瓣环最常用的影像技术是超声心动图和 MDCT。

超声心动图测量主动脉瓣环时, 需应用放大模式, 在收缩中期当瓣环较大较圆时测量, 取其内缘至内缘的距离。电子卡尺应取自右冠瓣叶附着点到左冠瓣叶与无冠瓣叶交界处的连线。主动脉的其它所有内径的测量, 都应在舒张末期, 并使用垂直于血管

长轴的切面。钙化的瓣环所产生的散焦作用会导致测量困难。主动脉管壁钙化的凸起, 一般认为应属于管腔内的一部分, 因此测量内径时需钙化点的外侧定点划线。

在 2DE 的胸骨旁长轴切面, 及 TEE 的主动脉根部长轴切面 (大约 110 - 130 度) 上, 可获得瓣环的前后径距离, 此测量值与 MDCT 获取的瓣环短轴径相符。由于瓣环本身常呈椭圆形, 具有不同的径值, 因此最好是运用 3D 影像技术获取瓣环的横切面测量。3D 影像已得到了多家协会出版的指南的推荐 (欧洲及美国超声心动图协会指南, 美国心脏协会 / 美国胸外科协会 / 心脏造影与介入协会 / 胸外科医师协会 TAVR 共识, 心血管 CT 协会 MDCT 专家共识, 及其它指南)。运用 3D TEE 瓣环横切面的测量应在收缩中期进行, 测量值包括: 短轴直径 (前后径或矢径), 长轴直径 (内外径或冠径), 瓣环周长和瓣环面积 (图 11)。值得一提的是, 瓣环的长轴与短轴径的差值可达 6 mm^{173,188-193}。上述测量的详细步骤在最近 4 篇文献已有阐述¹⁸⁴⁻¹⁸⁷, 在此不再详解。如运用文献所述的方法, 3D TEE 所得的测值可与 MDCT 的测值十分近似^{184,185}。

3D-TEE 和 MDCT 在测量方法上各有千秋。MDCT 的劣势包括: 造影剂的运用, 辐射, 不能在术中实时测量, 以及需要控制心率以达适宜的门控显像。3D-TEE 也有其局限性: 首先, Kasel 及 Pershad 等所用的测量软件并非目前所有的超声心动仪都具备; 第二, 瓣环前部的显像会由于钙化所致的回声缺失而模糊不清, 而且瓣环水平的钙化可使其边界难以确定, 瓣环边界可呈不规则形; 第三, 三个瓣叶最低点连成的平面常不与左室流出道或主动脉根部相垂直, 右冠瓣叶的附着点常低于其它两个瓣叶¹⁸³; 第四, 3DE 的空间和时间分辨率在目前尚有局限性; 最后, 3D - TEE 取决于操作者的技术水平。对有些困难的病例, 即使有经验的操作者也会感到为难^{173,174}。因此对于主动脉瓣环的测量, 最好运用多种显像技术综合考虑。

12. 主动脉根

主动脉根部的直径（即乏氏窦的最大直径）应在 2D-TTE 胸骨旁长轴切面上测量。这个切面需清楚地显示主动脉根部及升主动脉近段，其与左室长轴切面略有不同（图 10A），可从不同的肋间和不同的胸骨间距试探。运用矩阵型探头，可同时获取两个相互垂直的切面而有助于测量。从标准的胸骨旁透声窗，常不足以显示管状的升主动脉。如将探头向胸骨移近，则常可显示较长的升主动脉段。此外，有时从右侧胸骨旁第二或第三肋间隙，可更好地显示升主动脉，特别是在主动脉扩张的情况下。

主动脉的测量应在与其长轴相垂直并能显示其最大径的切面上进行。若主动脉瓣是三叶瓣，瓣叶（通常为右冠瓣叶和无冠瓣叶）的关闭线应该在主动脉根腔的中央，关闭的两个瓣叶应显示在其基底部附着点连线的主动脉侧。如果关闭线呈非对称性，也就是说关闭的瓣叶尖与两个基底附着点的距离不等，这就表明此切面没切到主动脉根部的最大径（图 12）。

对于主动脉根及主动脉的测量各学科没有统一的方法。超声心动以往运用前缘到前缘的距离（L-L），而 MDCT 和 CMR 使用内缘到内缘（I-I）或外缘到外缘的距离。ASE 和 EACVI 的一个共识¹⁹⁴曾把超声心动的主动脉测量改为 I-I，以期与其它学科取得一致。但是我们最终还是放弃了这一目标，其原因如下：第一，我们长期使用的超声测量主动脉正常值是运用 L-L 方法。第二，L-L 测量值要比 I-I 测量值大 2 - 4 mm，如改用 I-I 测量法，有可能使某些原本属于指南介入干预域值的病人，因测值变小而得不到治疗，导致威胁生命的主动脉夹层分离或破裂的并发症。因此我们推荐主动脉瓣环测量采

表 13

	女性	男性
RA 短轴径线	1.9 ±0.3	
RA 长轴径线	2.5 ±0.3	
2D 超声心动图 RA 容量	21 ± 6	

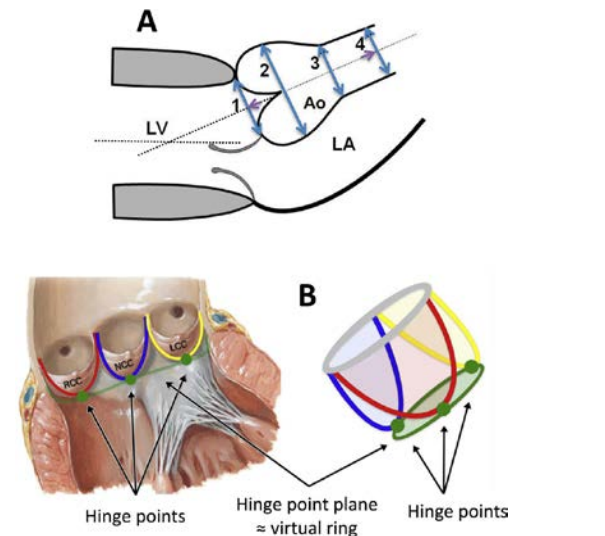


图 10 (A)主动脉根部和升主动脉测量位置。此图显示四个不同的测量位置（浅兰色箭头）（1）主动脉瓣环（主动脉瓣膜和主动脉的连接点）（2）乏氏窦（最大直径，通常在中部）（3）窦管交界处（4）升主动脉近端（要标明此测量处与瓣环切面的距离，紫色箭头）。主动脉瓣环应在收缩最高峰期测量，而其它测量应在舒张末期。两条虚线显示左室长轴与主动脉根部和升主动脉的长轴的不同，值得一提的是，这两个长轴之间的角度关系因人而异，与年龄和疾病情况有关。（B）主动脉瓣环正常解剖结构。主动脉瓣环是主动脉根最窄的部位，被定义为虚拟环（阴影），由三个瓣膜基底附着最低点划环线拟成。Kasel et al 同意复制。Ao: 主动脉；LA，左房。

用 I-I 的方法，而主动脉根部和主动脉的测量还是沿用 L-L 的方法。

在主动脉径值的测量中，2DE 优于 M 型测量法。这是因为心脏在胸腔内的相对位置在收缩与舒张

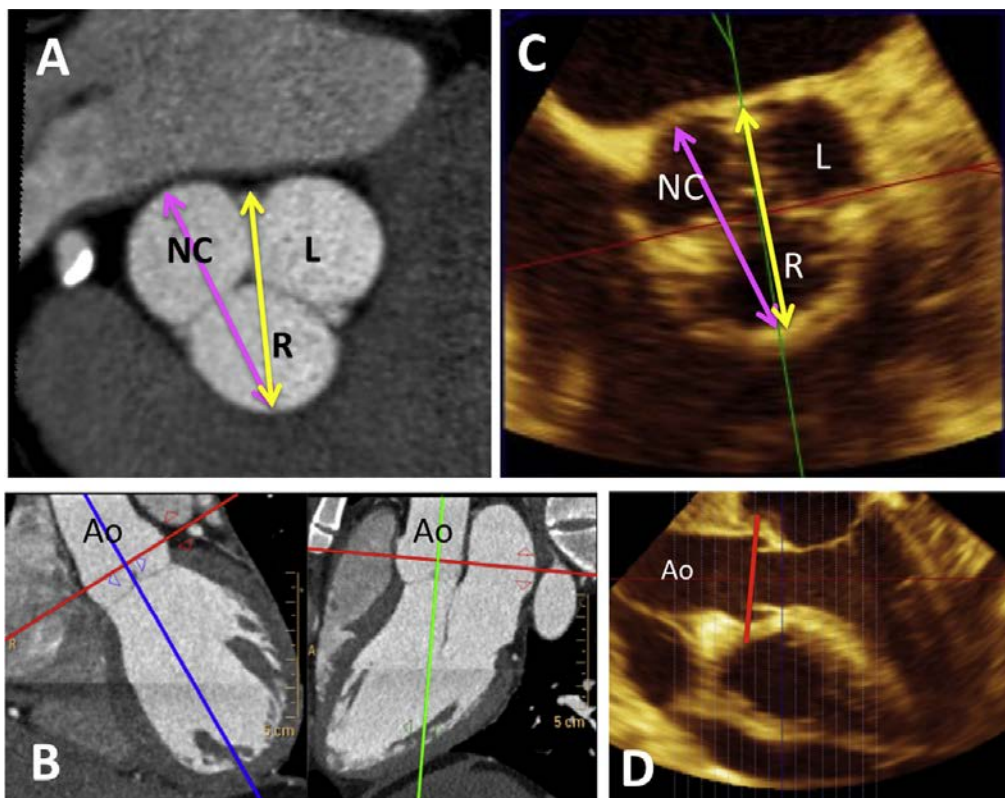


图 11 主动脉根部短轴直径（前后径或矢径）的测量，CT(A)或 3D TEE(C, 横切面放大图):左 (L)右 (R)瓣叶交界处内缘到非冠瓣 (NC)窦区中部内缘 (A 和 C, 黄色双箭头)。主动脉根部长轴直径 (内外径或冠径) 的测量：右冠窦中部到非冠窦最远端 (A 和 C, 紫色双箭头)。(B) 用于定位，CT 影像乏氏窦区主动脉根部双切面放大图 (D) 多切面重组主动脉长轴。(B)和 (D)中红线代表测量乏氏窦直径的切面。

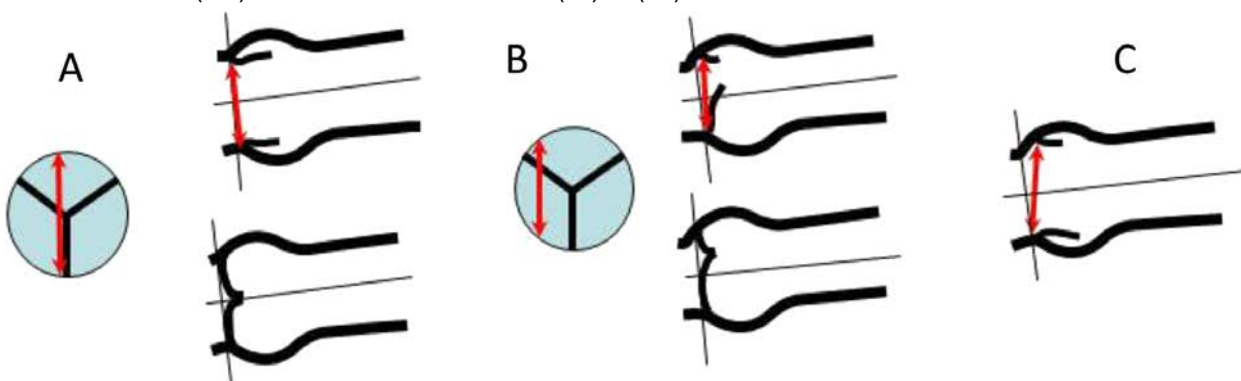


图 12 正确 (A)和不正确(B, C)的主动脉瓣环测量 (双箭头)。(A)测量直径和瓣膜关闭点都在瓣环中央。细线代表升主动脉长轴，瓣环直径的测量线应与此线垂直。(B)不正确，偏中心的瓣环测量。影像中瓣膜附着点上移，与真实附着点不符 (C)不正确，斜切瓣环测量。细节请看正文。

的过程中有所变化，固定的 M 型取样线可能无法取得乏氏窦的最大直径，而可致使测值系统性地低于 2DE 的测值 (约 2mm) ¹⁹⁵。TEE 对胸主动脉的显像优于 TTE，这是因为主动脉段能在 TEE 探头的近场显示。主动脉根及升主动脉的最佳显像是在食道中段主动脉瓣长轴切面 (即三腔切面，约 120

- 140 度)³。升主动脉的短轴切面，则在食道中段 45 度。降主动脉的成像与测量，需从膈肌水平至主动脉弓处，运用短轴切面 (0 度) 和长轴切面 (90 度)。3DE 可采用双平面显像同时显示短轴和长轴切面。

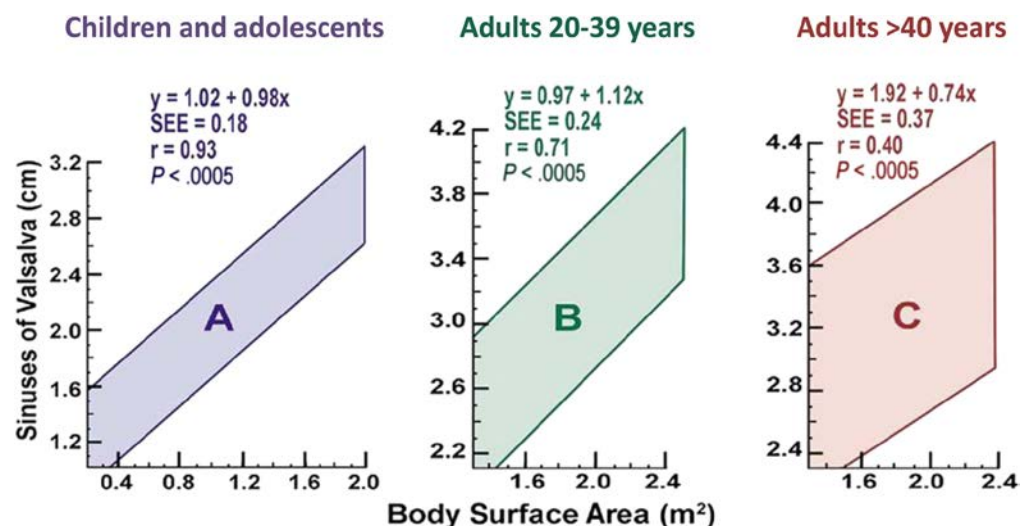


图 13 乏氏窦主动脉根部直径与体表面积的关系 (95% 可信度)。儿童和青少年 (A),20-39 岁成人 (B), 和 40 岁以上成人 (C).Roman et al.同意复制。

表 14 正常成人主动脉根部测量值

主动脉根部	绝对值(cm)		指数值 (cm/m ²)	
	男性	女性	男性	女性
环部	2.6 ± 0.3	2.3 ± 0.2	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1
主动脉窦部	3.4 ± 0.3	3.0 ± 0.3	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.2
窦管交界部	2.9 ± 0.3	2.6 ± 0.3	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2
升主动脉近端	3.0 ± 0.4	2.7 ± 0.4	1.5 ± 0.2	1.6 ± 0.3

13. 主动脉根部扩张的识别

主动脉根部的扩张,与主动脉瓣反流的发生与发展¹⁹⁷,和主动脉夹层分离有关。高血压对乏氏窦本身内径的影响不大¹⁹⁷,但与主动脉远端的扩张有关联。主动脉根部在乏氏窦区的内径与BSA与年龄相关显著。因此,可根据三个年龄段

(<20,20-40,>40 岁),利用BSA和已发表的公式来计算主动脉根部直径的正常值¹⁹⁵。乏氏窦水平主动脉根部的扩张,是指其直径超出大组参考人群分布的95%可信度的上限。主动脉是否扩张可根据年龄和BSA,通过图13来判断¹⁹⁵。主动脉根部各个截面的正常值范围,按BSA和性别诸列如表14。将主动脉根的测量值除以正常估算值,可得主动脉根指数或主动脉根比率。

建议小结:主动脉瓣环应在收缩中期采用I-I的方法进行测量。主动脉所有其它各段的测量(包括乏氏窦最大径,窦管交界处,和升主动脉近端)都应在舒张末期进行,须特别注意测量切面要与主动脉

长轴垂直,并采用L-L的方法。乏氏窦水平主动脉根部最大直径的测量值,应参照年龄和BSA有关的正常值分布图来判断扩大与否,或运用非线性的测算公式来计算比较。在TAVI或TAVR前准确测量主动脉瓣环大小至关重要,至今测量瓣环的金标准技术方法尚无定论。3D-TEE和MDCT正在成为瓣环测量的准确和优选的方法。

V. 下腔静脉

下腔静脉(IVC)应列为TTE常规检查的一部分。检查时,患者应取仰卧位,探测剑突下IVC长轴切面。IVC直径的测量,应取其距IVC与RA交界处的1.0~2.0厘米处的径值。为测量正确,测量线应垂直于IVC的长轴。在正常生理情况下,吸气时,由于胸腔内负压的增高,体静脉向RV的回流增多,IVC的直径会相应减小。IVC的直径及其在吸气时减小的百分比(塌陷度),与RA的压力相关。在测量IVC塌陷度时,往往需要病人做一个短暂的吸气,因为塌陷度在平静呼吸时不够敏感。

为了使超声心动报告肺动脉收缩压更加统一和简单化,指南建议使用 RA 的具体压力测值(如 3 毫米汞柱),而不推荐用 RA 的压力数值区间(如 0-5 毫米汞柱)。如 IVC 的直径 < 2.1 厘米,塌陷度 > 50 %, RA 的压力范围为 0-5 毫米汞柱,在报告时可用 3 毫米汞柱来计算肺动脉收缩压。如 IVC 的直径 > 2.1 厘米,塌陷度 < 50 %,则 RA 的压力增高(10-20 毫米汞柱)¹⁹⁹,在报告时可用 15 毫米汞柱来计算肺动脉收缩压。若 IVC 的直径和塌陷度不属上述的范式,则 RA 的压力介于二者之间(5-10 毫米汞柱),在报告时可用 8 毫米汞柱来计算肺动脉收缩压,或者结合 RA 压力的其他参数予以上下调整,可更好地估测 RA 的压力。必须注意,在健康的青年运动员中,在 RA 压力正常的情况下,IVC 的直径可以高于正常范围^{200,201}。此外,使用呼吸机的患者,IVC 通常会扩大且无呼吸期塌陷,因此在这种情况下,不主张常规使用 IVC 的直径和塌陷度来估测 RA 的压力²⁰²。但是,也有报道在手术中使用呼吸机的麻醉病人中应用 TEE,在 IVC 与 RA 交界处测量的 IVC 直径,可成功地估测中心静脉压²⁰³。总之,指南鼓励应用 IVC 直径和塌陷度的动态变化估测 RA 压力。肺动脉的收缩压应以此所得的 RA 压力接合三尖瓣返流速度计算而得,而不应使用所有病人 RA 压力均一固定的假设。

致谢:仁济医院的康瑜博士和南方医科大学的吴爵非博士对本文对翻译和排版提供了帮助,特此致谢!

免责声明

This report is made available by the ASE and EACVI as a courtesy reference source for members. This report contains recommendations only and should not be used as the sole basis to make medical practice decisions or for disciplinary action against any employee. The statements and recommendations contained in this report are based primarily on the opinions of experts, rather than on scientifically verified data. The ASE and EACVI make no express or implied warranties regarding the completeness or accuracy of the information in this report, including the warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. In no event shall the ASE and EACVI be

liable to you, your patients, or any other third parties for any decision made or action taken by you or such other parties in reliance on this information. Nor does your use of this information constitute the offering of medical advice by the ASE and EACVI or create any physician-patient relationship between the ASE and EACVI and your patients or anyone else.

REFERENCES

1. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1440-63.
2. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:79-108.
3. Hahn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM, et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:921-64.
4. Mulvagh SL, Rakowski H, Vannan MA, Abdelmoneim SS, Becher H, Bierig SM, et al. American Society of Echocardiography Consensus Statement on the Clinical Applications of Ultrasonic Contrast Agents in Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:1179-201. quiz 281.
5. Hoffmann R, von Bardeleben S, Kasprzak JD, Borges AC, ten Cate F, Firschke C, et al. Analysis of regional left ventricular function by cineventriculography, cardiac magnetic resonance imaging, and unenhanced and contrast-enhanced echocardiography: a multicenter comparison of methods. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:121-8.
6. Dorosz JL, Lezotte DC, Weitzkamp DA, Allen LA, Salcedo EE. Performance of 3-dimensional echocardiography in measuring left ventricular volumes and ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1799-808.
7. Rietzschel ER, De Buyzere ML, Bekaert S, Segers P, De Bacquer D, Cooman L, et al. Rationale, design, methods and baseline characteristics of the Asklepios Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14:179-91.
8. Kuznetsova T, Herbots L, Lopez B, Jin Y, Richart T, Thijs L, et al. Prevalence of left ventricular diastolic dysfunction in a general population. *Circ Heart Fail* 2009;2:105-12.
9. Friedman GD, Cutter GR, Donahue RP, Hughes GH, Hulley SB, Jacobs DR Jr, et al. CARDIA: study design, recruitment, and some characteristics of the examined subjects. *J Clin Epidemiol* 1988;41:1105-16.
10. Muraru D, Badano LP, Peluso D, Dal Bianco L, Casablanca S, Kocabay G, et al. Comprehensive analysis of left ventricular geometry and function by three-dimensional echocardiography in healthy adults. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:618-28.
11. Lancellotti P, Badano LP, Lang RM, Akhaladze N, Athanassopoulos GD, Barone D, et al. Normal Reference Ranges for Echocardiography: rationale, study design, and methodology (NORRE Study). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:303-8.
12. Kou S, Caballero L, Dulgheru R, Voilliot D, De Sousa C, Kacharava G, et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac chamber size: results from the NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15:680-90.

13. Bhawe NM, Lang RM. Evaluation of left ventricular structure and function by three-dimensional echocardiography. *Curr Opin Crit Care* 2013;19:387-96.
14. Chahal NS, Lim TK, Jain P, Chambers JC, Kooner JS, Senior R. Population-based reference values for 3D echocardiographic LV volumes and ejection fraction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:1191-7.
15. Kaku K, Takeuchi M, Otani K, Sugeng L, Nakai H, Haruki N, et al. Age- and gender-dependency of left ventricular geometry assessed with real-time three-dimensional transthoracic echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:541-7.
16. Fukuda S, Watanabe H, Daimon M, Abe Y, Hirashiki A, Hirata K, et al. Normal values of real-time 3-dimensional echocardiographic parameters in a healthy Japanese population: the JAMP-3D Study. *Circ J* 2012;76:1177-81.
17. Gemans T, Gotte MJ, Nijveldt R, Spreuwenberg MD, Beek AM, Bronzwaer JG, et al. Effects of aging on left atrioventricular coupling and left ventricular filling assessed using cardiac magnetic resonance imaging in healthy subjects. *Am J Cardiol* 2007;100:122-7.
18. Sandstede J, Lipke C, Beer M, Hofmann S, Pabst T, Kenn W, et al. Age- and gender-specific differences in left and right ventricular cardiac function and mass determined by cine magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2000;10:438-42.
19. Muraru D, Badano LP, Piccoli G, Gianfagna P, Del Mestri L, Emmacora D, et al. Validation of a novel automated border-detection algorithm for rapid and accurate quantitation of left ventricular volumes based on three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:359-68.
20. Aune E, Baekkevar M, Rodevand O, Otterstad JE. Reference values for left ventricular volumes with real-time 3-dimensional echocardiography. *Scand Cardiovasc J* 2010;44:24-30.
21. Lang RM, Borow KM, Neumann A, Janzen D. Systemic vascular resistance: an unreliable index of left ventricular afterload. *Circulation* 1986;74:1114-23.
22. Reiser SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z. Global longitudinal strain: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:630-3.
23. Dalen H, Thorstensen A, Aase SA, Ingul CB, Torp H, Vatten LJ, et al. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: the HUNT study in Norway. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:176-83.
24. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle HC, Baumann R, et al. Definitions for a Common Standard for 2D Speckle Tracking Echocardiography. Consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to Standardize Deformation Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014 (in press).
25. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:277-313.
26. Thomas JD, Badano LP. EACVI-ASE-industry initiative to standardize deformation imaging: a brief update from the co-chairs. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:1039-40.
27. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popovic ZB, Marwick TH. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:185-91.
28. Mignot A, Donal E, Zaroui A, Reant P, Salem A, Hamon C, et al. Global longitudinal strain as a major predictor of cardiac events in patients with depressed left ventricular function: a multicenter study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1019-24.
29. Stanton T, Leano R, Marwick TH. Prediction of all-cause mortality from global longitudinal speckle strain: comparison with ejection fraction and wall motion scoring. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:356-64.
30. Di Salvo G, Rea A, Mormile A, Limongelli G, D'Andrea A, Pergola V, et al. Usefulness of bidimensional strain imaging for predicting outcome in asymptomatic patients aged ≤ 16 years with isolated moderate to severe aortic regurgitation. *Am J Cardiol* 2012;110:1051-5.
31. Witkowski TG, Thomas JD, Debonnaire PJ, Delgado V, Hoke U, Ewe SH, et al. Global longitudinal strain predicts left ventricular dysfunction after mitral valve repair. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:69-76.
32. Kocabay G, Muraru D, Peluso D, Cucchini U, Mihaila S, Padayattil-Jose S, et al. Normal left ventricular mechanics by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Rev Esp Cardiol* 2014;67:651-8.
33. Takigiku K, Takeuchi M, Izumi C, Yuda S, Sakata K, Ohte N, et al. Normal range of left ventricular 2-dimensional strain: Japanese Ultrasound Speckle Tracking of the Left Ventricle (JUSTICE) study. *Circ J* 2012;76:2623-32.
34. Kuznetsova T, Herbots L, Richart T, D'Hooge J, Thijs L, Fagard RH, et al. Left ventricular strain and strain rate in a general population. *Eur Heart J* 2008;29:2014-23.
35. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002;105:539-42.
36. Schiller NB, Shah PM, Crawford M, DeMaria A, Devereux R, Feigenbaum H, et al. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. American Society of Echocardiography Committee on Standards, Subcommittee on Quantitation of Two-Dimensional Echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1989;2:358-67.
37. Amzulescu MS, Slavich M, Florian A, Goetschalckx K, Voigt JU. Does two-dimensional image reconstruction from three-dimensional full volume echocardiography improve the assessment of left ventricular morphology and function? *Echocardiography* 2013;30:55-63.
38. Voigt JU, Lindenmeier G, Exner B, Regenfus M, Wemer D, Reulbach U, et al. Incidence and characteristics of segmental postsystolic longitudinal shortening in normal, acutely ischemic, and scarred myocardium. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:415-23.
39. Lieberman AN, Weiss JL, Jugdutt BI, Becker LC, Bulkley BH, Garrison JG, et al. Two-dimensional echocardiography and infarct size: relationship of regional wall motion and thickening to the extent of myocardial infarction in the dog. *Circulation* 1981;63:739-46.
40. Takeuchi M, Sonoda S, Miura Y, Kuroiwa A. Reproducibility of dobutamine digital stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997;10:344-51.
41. Lumens J, Leenders GE, Cramer MJ, De Boeck BW, Doevendans PA, Prinzen FW, et al. Mechanistic evaluation of echocardiographic dyssynchrony indices: patient data combined with multiscale computer simulations. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:491-9.
42. Little WC, Reeves RC, Arciniegas J, Katholi RE, Rogers EW. Mechanism of abnormal interventricular septal motion during delayed left ventricular activation. *Circulation* 1982;65:1486-91.
43. Parsai C, Bijnens B, Sutherland GR, Baltabaeva A, Claus P, Marciniak M, et al. Toward understanding response to cardiac resynchronization therapy: left ventricular dyssynchrony is only one of multiple mechanisms. *Eur Heart J* 2009;30:940-9.
44. Voigt JU, Schneider TM, Korder S, Szulik M, Gurel E, Daniel WG, et al.

- Apical transverse motion as surrogate parameter to determine regional left ventricular function inhomogeneities: a new, integrative approach to left ventricular asynchrony assessment. *Eur Heart J* 2009;30:959-68.
45. Stankovic I, Aaronson M, Smith HJ, Voros G, Kongsgaard E, Neskovic AN, et al. Dynamic relationship of left-ventricular dyssynchrony and contractile reserve in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2014;35:48-55.
 46. Heimdal A, Stoylen A, Torp H, Skjaerpe T. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr* 1998;11:1013-9.
 47. Leitman M, Lysyansky P, Sidenko S, Shir V, Peleg E, Binenbaum M, et al. Two-dimensional strain-a novel software for real-time quantitative echocardiographic assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:1021-9.
 48. Stefani L, Toncelli L, Gianassi M, Manetti P, Di Tante V, Vono MR, et al. Two-dimensional tracking and TDI are consistent methods for evaluating myocardial longitudinal peak strain in left and right ventricle basal segments in athletes. *Cardiovasc Ultrasound* 2007;5:7.
 49. Voigt JU, Exner B, Schmiedehausen K, Huchzermeyer C, Reulbach U, Nixdorff U, et al. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 2003;107:2120-6.
 50. Maffessanti F, Nesser HJ, Weinert L, Steringer-Mascherbauer R, Niel J, Gorissen W, et al. Quantitative evaluation of regional left ventricular function using three-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without heart disease. *Am J Cardiol* 2009;104:1755-62.
 51. Badano LP, Cucchini U, Muraru D, Al Nono O, Sarais C, Illiceto S. Use of three-dimensional speckle tracking to assess left ventricular myocardial mechanics: inter-vendor consistency and reproducibility of strain measurements. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:285-93.
 52. Verdecchia P, Carini G, Circo A, Dovellini E, Giovannini E, Lombardo M, et al. Left ventricular mass and cardiovascular morbidity in essential hypertension: the MAVI study. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:1829-35.
 53. Schillaci G, Verdecchia P, Porcellati C, Cuccurullo O, Cosco C, Perticone F. Continuous relation between left ventricular mass and cardiovascular risk in essential hypertension. *Hypertension* 2000;35:580-6.
 54. Ghali JK, Liao Y, Simmons B, Castaner A, Cao G, Cooper RS. The prognostic role of left ventricular hypertrophy in patients with or without coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1992;117:831-6.
 55. Verma A, Meris A, Skali H, Ghali JK, Arnold JM, Bourgoun M, et al. Prognostic implications of left ventricular mass and geometry following myocardial infarction: the VALIANT (Valsartan In Acute myocardial infarction) Echocardiographic Study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1:582-91.
 56. Armstrong AC, Gidding S, Gjesdal O, Wu C, Bluemke DA, Lima JA. LV mass assessed by echocardiography and CMR, cardiovascular outcomes, and medical practice. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:837-48.
 57. Park SH, Shub C, Nobrega TP, Bailey KR, Seward JB. Two-dimensional echocardiographic calculation of left ventricular mass as recommended by the American Society of Echocardiography: correlation with autopsy and M-mode echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1996;9:119-28.
 58. McGavigan AD, Dunn FG, Goodfield NE. Secondary harmonic imaging overestimates left ventricular mass compared to fundamental echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2003;4:178-81.
 59. de Las Fuentes L, Spence KE, Davila-Roman VG, Waggoner AD. Are normative values for LV geometry and mass based on fundamental imaging valid with use of harmonic imaging? *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1317-22.
 60. Mor-Avi V, Sugeng L, Weinert L, MacEneaney P, Caiani EG, Koch R, et al. Fast measurement of left ventricular mass with real-time three-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2004;110:1814-8.
 61. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:3-46.
 62. Lam CS, Roger VL, Rodeheffer RJ, Bursi F, Borlaug BA, Ommen SR, et al. Cardiac structure and ventricular-vascular function in persons with heart failure and preserved ejection fraction from Olmsted County, Minnesota. *Circulation* 2007;115:1982-90.
 63. Ng AC, Tran da T, Newman M, Allman C, Vidaic J, Lo ST, et al. Left ventricular longitudinal and radial synchrony and their determinants in healthy subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:1042-8.
 64. Chahal NS, Lim TK, Jain P, Chambers JC, Kooner JS, Senior R. Ethnicity-related differences in left ventricular function, structure and geometry: a population study of UK Indian Asian and European white subjects. *Heart* 2010;96:466-71.
 65. Chirinos JA, Segers P, De Buyzere ML, Kronmal RA, Raja MW, De Bacquer D, et al. Left ventricular mass: allometric scaling, normative values, effect of obesity, and prognostic performance. *Hypertension* 2010;56:91-8.
 66. Cuspidi C, Facchetti R, Sala C, Bombelli M, Negri F, Carugo S, et al. Normal values of left-ventricular mass: echocardiographic findings from the PAMELA study. *J Hypertens* 2012;30:997-1003.
 67. Kizer JR, Amett DK, Bella JN, Parancas M, Rao DC, Province MA, et al. Differences in left ventricular structure between black and white hypertensive adults: the Hypertension Genetic Epidemiology Network study. *Hypertension* 2004;43:1182-8.
 68. Rodriguez CJ, Diez-Roux AV, Moran A, Jin Z, Kronmal RA, Lima J, et al. Left ventricular mass and ventricular remodeling among Hispanic subgroups compared with non-Hispanic blacks and whites: MESA (Multi-ethnic Study of Atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol* 2010;55:234-42.
 69. Park CM, March K, Ghosh AK, Jones S, Coady E, Tuson C, et al. Left ventricular structure in the Southall and Brent Revisited (SABRE) study: explaining ethnic differences. *Hypertension* 2013;61:1014-20.
 70. de Simone G, Kizer JR, Chinali M, Roman MJ, Bella JN, Best LG, et al. Normalization for body size and population-attributable risk of left ventricular hypertrophy: the Strong Heart Study. *Am J Hypertens* 2005;18:191-6.
 71. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:685-713. quiz 86-8.
 72. Kawut SM, Lima JA, Barr RG, Chahal H, Jain A, Tandri H, et al. Sex and race differences in right ventricular structure and function: the multi-ethnic study of atherosclerosis-right ventricle study. *Circulation* 2011;123:2542-51.
 73. D'Oronzio U, Senn O, Biaggi P, Gruner C, Jenni R, Tanner FC, et al. Right heart assessment by echocardiography: gender and body size matters. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1251-8.
 74. Willis J, Augustine D, Shah R, Stevens C, Easaw J. Right ventricular

- normal measurements: time to index? *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1259-67.
75. Maffessanti F, Muraru D, Esposito R, Gripari P, Emacora D, Santoro C, et al. Age-, body size-, and sex-specific reference values for right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography: a multicenter echocardiographic study in 507 healthy volunteers. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:700-10.
 76. D'Andrea A, Cocchia R, Caso P, Riegler L, Scarafile R, Salerno G, et al. Global longitudinal speckle-tracking strain is predictive of left ventricular remodeling after coronary angioplasty in patients with recent non-ST elevation myocardial infarction. *Int J Cardiol* 2011;153:185-91.
 77. Ling LF, Obuchowski NA, Rodriguez L, Popovic Z, Kwon D, Marwick TH. Accuracy and interobserver concordance of echocardiographic assessment of right ventricular size and systolic function: a quality control exercise. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:709-13.
 78. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, Shiota T. Accuracy of right ventricular volumes and function determined by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging: a meta-analysis study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:943-53.
 79. Giusca S, Dambrauskaitė V, Scheurwegs C, D'Hooge J, Claus P, Herbots L, et al. Deformation imaging describes right ventricular function better than longitudinal displacement of the tricuspid ring. *Heart* 2010;96:281-8.
 80. Innelli P, Esposito R, Olibet M, Nistri S, Galderisi M. The impact of ageing on right ventricular longitudinal function in healthy subjects: a pulsed tissue Doppler study. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:491-8.
 81. Maffessanti F, Gripari P, Tamborini G, Muratori M, Fusini L, Alamanni F, et al. Evaluation of right ventricular systolic function after mitral valve repair: a two-dimensional Doppler, speckle-tracking, and three-dimensional echocardiographic study. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:701-8.
 82. Verhaert D, Mullens W, Borowski A, Popovic ZB, Curtin RJ, Thomas JD, et al. Right ventricular response to intensive medical therapy in advanced decompensated heart failure. *Circ Heart Fail* 2010;3:340-6.
 83. Guendouz S, Rappeneau S, Nahum J, Dubois-Randé JL, Gueret P, Monin JL, et al. Prognostic significance and normal values of 2D strain to assess right ventricular systolic function in chronic heart failure. *Circ J* 2012;76:127-36.
 84. Antoni ML, Scherptong RW, Atary JZ, Boersma E, Holman ER, van der Wall EE, et al. Prognostic value of right ventricular function in patients after acute myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention. *Circ Cardiovasc Imaging* 2010;3:264-71.
 85. Hardegger EL, Sachdev A, Villarraga HR, Frantz RP, McGoon MD, Kushwaha SS, et al. Role of serial quantitative assessment of right ventricular function by strain in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2013;111:143-8.
 86. Haack ML, Scherptong RW, Marsan NA, Holman ER, Schalij MJ, Bax JJ, et al. Prognostic value of right ventricular longitudinal peak systolic strain in patients with pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:628-36.
 87. Cappelli F, Porciani MC, Bergesio F, Perlini S, Attana P, Moggi Pignone A, et al. Right ventricular function in AL amyloidosis: characteristics and prognostic implication. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2012;13:416-22.
 88. Grant AD, Smedira NG, Starling RC, Marwick TH. Independent and incremental role of quantitative right ventricular evaluation for the prediction of right ventricular failure after left ventricular assist device implantation. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:521-8.
 89. Unsworth B, Casula RP, Kyriacou AA, Yadav H, Chukwuemeka A, Cherian A, et al. The right ventricular annular velocity reduction caused by coronary artery bypass graft surgery occurs at the moment of pericardial incision. *Am Heart J* 2010;159:314-22.
 90. Lindqvist P, Holmgren A, Zhao Y, Henein MY. Effect of pericardial repair after aortic valve replacement on septal and right ventricular function. *Int J Cardiol* 2012;155:388-93.
 91. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Stenger-Mascherbauer R, et al. Multimodality comparison of quantitative volumetric analysis of the right ventricle. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:10-8.
 92. Rosca M, Lancellotti P, Popescu BA, Pierard LA. Left atrial function: pathophysiology, echocardiographic assessment, and clinical applications. *Heart* 2011;97:1982-9.
 93. Spencer KT, Mor-Avi V, Gorcsan J, DeMaria AN, Kimball TR, Monaghan MJ, et al. Effects of aging on left atrial reservoir, conduit, and booster pump function: a multi-institution acoustic quantification study. *Heart* 2001;85:272-7.
 94. Bouzas-Mosquera A, Brouillon FJ, Alvarez-Garcia N, Mendez E, Peteiro J, Gandara-Sambade T, et al. Left atrial size and risk for all-cause mortality and ischemic stroke. *Clin Med Assoc J* 2011;183:E657-64.
 95. Kizer JR, Bella JN, Palmieri V, Liu JE, Best LG, Lee ET, et al. Left atrial diameter as an independent predictor of first clinical cardiovascular events in middle-aged and elderly adults: The Strong Heart Study (SHS). *Am Heart J* 2006;151:412-8.
 96. Lancellotti P, Donal E, Magne J, Moonen M, O'Connor K, Daubert JC, et al. Risk stratification in asymptomatic moderate to severe aortic stenosis: the importance of the valvular, arterial and ventricular interplay. *Heart* 2010;96:1364-71.
 97. Le Toumeau T, Messika-Zetoun D, Russo A, Detaint D, Topilsky Y, Mahoney DW, et al. Impact of Left Atrial Volume on Clinical Outcome in Organic Mitral Regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 2010;56:570-8.
 98. Tsang TSM, Bames ME, Gersh BJ, Bailey KR, Seward JB. Left atrial volume as a morphophysiological expression of left ventricular diastolic dysfunction and relation to cardiovascular risk burden. *Am J Cardiol* 2002;90:1284-9.
 99. Tsang TSM, Bames ME, Gersh BJ, Takemoto Y, Rosales AG, Bailey KR, et al. Prediction of risk for first age-related cardiovascular events in an elderly population: The incremental value of echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1199-205.
 100. Appleton CP, Galloway JM, Gonzalez MS, Gaballa M, Basnight MA. Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease. Additional value of analyzing left atrial size, left atrial ejection fraction and the difference in duration of pulmonary venous and mitral flow velocity at atrial contraction. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1972-82.
 101. Geske JB, Sorajja P, Nishimura RA, Ommen SR. The Relationship of Left Atrial Volume and Left Atrial Pressure in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy: An Echocardiographic and Cardiac Catheterization Study. *J Am Soc Echocardiogr* 2009;22:961-6.
 102. Guron CW, Hartford M, Rosengren A, Thelle D, Wallentin L, Caidahl K. Usefulness of atrial size inequality as an indicator of abnormal left ventricular filling. *Am J Cardiol* 2005;95:1448-52.
 103. Simek CL, Feldman MD, Haber HL, Wu CC, Jayaweera AR, Kaul S. Relationship between left ventricular wall thickness and left atrial size: comparison with other measures of diastolic function. *J Am Soc Echocardiogr* 1995;8:37-47.
 104. Ersboll M, Anderson MJ, Valeur N, Mogensen UM, Waziri H, Moller JE, et al. The prognostic value of left atrial peak reservoir strain in acute myocardial infarction is dependent on left ventricular longitudinal function and left atrial size. *Circ Cardiovasc Imaging* 2013;6:26-33.
 105. Lonborg JT, Engstrom T, Moller JE, Ahtarovski KA, Kelbaek H, Holmvang L, et al. Left atrial volume and function in patients following ST elevation myocardial infarction and

- the association with clinical outcome: a cardiovascular magnetic resonance study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:118-26.
106. Barnes ME, Miyasaka Y, Seward JB, Gersh BJ, Rosales AG, Bailey KR, et al. Left atrial volume in the prediction of first ischemic stroke in an elderly cohort without atrial fibrillation. *Mayo Clin Proc* 2004;79:1008-14.
 107. Benjamin EJ, D'Agostino RB, Belanger AJ, Wolf PA, Levy D. Left Atrial Size and the Risk of Stroke and Death - the Framingham Heart Study. *Circulation* 1995;92:835-41.
 108. Bolca O, Akdemir O, Eren M, Dagdeviren B, Yildirim A, Tezel T. Left atrial maximum volume is a recurrence predictor in lone-atrial fibrillation - An acoustic quantification study. *Jpn Heart J* 2002;43:241-8.
 109. Di Tullio MR, Sacco RL, Sciacca RR, Homma S. Left atrial size and the risk of ischemic stroke in an ethnically mixed population. *Stroke* 1999;30:2019-24.
 110. Flaker GC, Fletcher KA, Rothbart RM, Halperin JL, Hart RG. Clinical and Echocardiographic Features of Intermittent Atrial-Fibrillation That Predict Recurrent Atrial-Fibrillation. *Am J Cardiol* 1995;76:355-8.
 111. Kottkamp H. Fibrotic Atrial Cardiomyopathy: A Specific Disease/Syndrome Supplying Substrates for Atrial Fibrillation, Atrial Tachycardia, Sinus Node Disease, AV Node Disease, and Thromboembolic Complications. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2012;23:797-9.
 112. Tsang TS, Gersh BJ, Appleton CP, Tajik AJ, Barnes ME, Bailey KR, et al. Left ventricular diastolic dysfunction as a predictor of the first diagnosed nonvalvular atrial fibrillation in 840 elderly men and women. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1636-44.
 113. Tsang TS, Barnes ME, Bailey KR, Leibson CL, Montgomery SC, Takemoto Y, et al. Left atrial volume: Important risk marker of incident atrial fibrillation in 1655 older men and women. *Mayo Clin Proc* 2001;76:467-75.
 114. Vaziri SM, Larson MG, Benjamin EJ, Levy D. Echocardiographic predictors of nonrheumatic atrial fibrillation. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1994;89:724-30.
 115. Tsang TS, Barnes ME, Gersh BJ, Bailey KR, Seward JB. Risks for atrial fibrillation and congestive heart failure in patients ≥ 65 years of age with abnormal left ventricular diastolic relaxation. *Am J Cardiol* 2004;93:54-8.
 116. Beinart R, Boyko V, Schwammenthal E, Kuperstein R, Sagie A, Hod H, et al. Long-term prognostic significance of left atrial volume in acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:327-34.
 117. Moller JE, Hillis GS, Oh JK, Seward JB, Reeder GS, Wright RS, et al. Left atrial volume - A powerful predictor of survival after acute myocardial infarction. *Circulation* 2003;107:2207-12.
 118. Dini FL, Cortigiani L, Baldini U, Boni A, Nuti R, Barsotti L, et al. Prognostic value of left atrial enlargement in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy and ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2002;89:518-23.
 119. Kim H, Cho YK, Jun DH, Nam CW, Han SW, Hur SH, et al. Prognostic implications of the NT-ProBNP level and left atrial size in non-ischemic dilated cardiomyopathy. *Circ J* 2008;72:1658-65.
 120. Modena MG, Muia N, Sgura FA, Molinari R, Castelli A, Rossi R. Left atrial size is the major predictor of cardiac death and overall clinical outcome in patients with dilated cardiomyopathy: A long-term follow-up study. *Clin Cardiol* 1997;20:553-60.
 121. Quinones MA, Greenberg BH, Kopelen HA, Koipillai C, Limacher MC, Shindler DM, et al. Echocardiographic predictors of clinical outcome in patients with Left Ventricular Dysfunction enrolled in the SOLVD Registry and Trials: Significance of left ventricular hypertrophy. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1237-44.
 122. Sabharwal N, Cemin R, Rajan K, Hickman M, Lahiri A, Senior R. Usefulness of left atrial volume as a predictor of mortality in patients with ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2004;94:760-3.
 123. Poulsen MK, Dahl JS, Henriksen JE, Hey TM, Hoiland-Carlsen PF, Beck-Nielsen H, et al. Left atrial volume index: relation to long-term clinical outcome in type 2 diabetes. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:2416-21.
 124. Olshansky B, Heller EN, Mitchell LB, Chandler M, Slater W, Green M, et al. Are transthoracic echocardiographic parameters associated with atrial fibrillation recurrence or stroke? - Results from the atrial fibrillation follow-up investigation of rhythm management (AFFIRM) study. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2026-33.
 125. Rusinaru D, Tribouilloy C, Grigioni F, Avierinos JF, Suri RM, Barbieri A, et al. Left Atrial Size Is a Potent Predictor of Mortality in Mitral Regurgitation Due to Flail Leaflets Results From a Large International Multi-center Study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:473-81.
 126. Schabelman S, Schiller NB, Silverman NH, Ports TA. Left Atrial Volume Estimation by Two-Dimensional Echocardiography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1981;7:165-78.
 127. Wade MR, Chandraratna PAN, Reid CL, Lin SL, Rahimtoola SH. Accuracy of Nondirected and Directed M-Mode Echocardiography as an Estimate of Left Atrial Size. *Am J Cardiol* 1987;60:1208-11.
 128. Lester SJ, Ryan EW, Schiller NB, Foster E. Best method in clinical practice and in research studies to determine left atrial size. *Am J Cardiol* 1999;84:829-32.
 129. Loperfido F, Pennestri F, Digaetano A, Scabbia E, Santarelli P, Mongiardo R, et al. Assessment of left atrial dimensions by cross sectional echocardiography in patients with mitral valve disease. *Br Heart J* 1983;50:570-8.
 130. Vyas H, Jackson K, Chenzbraun A. Switching to volumetric left atrial measurements: impact on routine echocardiographic practice. *Eur J Echocardiogr* 2011;12.
 131. Gottdiener JS, Kitzman DW, Aurigemma GP, Arnold AM, Manolio TA. Left atrial volume, geometry, and function in systolic and diastolic heart failure of persons ≥ 65 years of age (The Cardiovascular Health Study). *Am J Cardiol* 2006;97:83-9.
 132. Losi MA, Betocchi S, Aversa M, Lombardi R, Miranda M, Ciampi Q, et al. Determinants of the development of atrial fibrillation in hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2002;106:710.
 133. Rossi A, Ciccoira M, Zanolli L, Sandrini R, Golia G, Zardini P, et al. Determinants and prognostic value of left atrial volume in patients with dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1425-30.
 134. Takemoto Y, Barnes ME, Seward JB, Lester SJ, Appleton CA, Gersh BJ, et al. Usefulness of left atrial volume in predicting first congestive heart failure in patients ≥ 65 years of age with well-preserved left ventricular systolic function. *Am J Cardiol* 2005;96:832-6.
 135. Tani T, Tanabe K, Ono M, Yamaguchi K, Okada M, Sumida T, et al. Left atrial volume and the risk of paroxysmal atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:644-8.
 136. Tsang TS, Abhayaratna WP, Barnes ME, Miyasaka Y, Gersh BJ, Bailey KR, et al. Prediction of cardiovascular outcomes with left atrial size - Is volume superior to area or diameter? *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1018-23.
 137. Pritchett AM, Jacobsen SJ, Mahoney DW, Rodeheffer RJ, Bailey KR, Redfield MM. Left atrial volume as an index of left atrial size: a population-based study. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1036-43.
 138. Jenkins C, Bricknell K, Marwick TH. Use of real-time three-dimensional echocardiography to measure left atrial volume: Comparison with other echocardiographic techniques. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:991-7.
 139. Maceira AM, Cosin-Sales J, Roughton M, Prasad SK, Pennell DJ. Reference left atrial dimensions and volumes by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010;12:65.

140. Rodevand O, Bjornerheim R, Ljosland M, Maehle J, Smith HJ, Ihlen H.
Left atrial volumes assessed by three- and two-dimensional echocardiography compared to MRI estimates. *Int J Cardiovasc Imaging* 1999;15:397-410.
141. Stojanovska J, Cronin P, Patel S, Gross BH, Oral H, Chughtai K, et al.
Reference Normal Absolute and Indexed Values From ECG-Gated MDCT: Left Atrial Volume, Function, and Diameter. *Am J Roentgenol* 2011;197:631-7.
142. Ujino K, Barnes ME, Cha SS, Langins AP, Bailey KR, Seward JB, et al. Two-dimensional echocardiographic methods for assessment of left atrial volume. *Am J Cardiol* 2006;98:1185-8.
143. Aurigemma GP, Gottdiener JS, Arnold AM, Chinali M, Hill JC, Kitzman D. Left Atrial Volume and Geometry in Healthy Aging The Car-diovascular Health Study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:282-9.
144. Thomas L, Levett K, Boyd A, Leung DYC, Schiller NB, Ross DL. Compensatory changes in atrial volumes with normal aging: Is atrial enlargement inevitable? *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1630-5.
145. Yamaguchi K, Tanabe K, Tani T, Yagi T, Fujii Y, Konda T, et al. Left atrial volume in normal Japanese adults. *Circ J* 2006;70:285-8.
146. Russo C, Hahn RT, Jin ZZ, Homma S, Sacco RL, Di Tullio MR. Comparison of Echocardiographic Single-Plane versus Biplane Method in the Assessment of Left Atrial Volume and Validation by Real Time Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:954-60.
147. Nistri S, Galderisi M, Ballo P, Olivetto I, D'Andrea A, Pagliani L, et al. Determinants of echocardiographic left atrial volume: implications for normalcy. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:826-33.
148. Vasan RS, Levy D, Larson MG, Benjamin EJ. Interpretation of echocardiographic measurements: a call for standardization. *Am Heart J* 2000;139:412-22.
149. Knutsen KM, Stugaard M, Michelsen S, Otterstad JE. M-mode echocardiographic findings in apparently healthy, non-athletic Norwegians aged 20-70 years. Influence of age, sex and body surface area. *J Intern Med* 1989;225:111-5.
150. Wang Y, Gutman JM, Heilbron D, Wahr D, Schiller NB. Atrial volume in a normal adult population by two-dimensional echocardiography. *Chest* 1984;86:595-601.
151. Cacciapuoti F, Scognamiglio A, Paoli VD, Romano C, Cacciaputo F. Left Atrial Volume Index as Indicator of Left Ventricular Diastolic Dysfunction. *J Cardiovasc Ultrasound* 2012;20:25-9.
152. Orban M, Bruce CJ, Pressman GS, Leinveber P, Romero-Corral A, Korinek J, et al. Dynamic Changes of Left Ventricular Performance and Left Atrial Volume Induced by the Mueller Maneuver in Healthy Young Adults and Implications for Obstructive Sleep Apnea, Atrial Fibrillation, and Heart Failure. *Am J Cardiol* 2008;102:1557-61.
153. Whitlock M, Garg A, Gelow J, Jacobson T, Broberg C. Comparison of Left and Right Atrial Volume by Echocardiography Versus Cardiac Magnetic Resonance Imaging Using the Area-Length Method. *Am J Cardiol* 2010;106:1345-50.
154. Yoshida C, Nakao S, Goda A, Naito Y, Matsumoto M, Otsuka M, et al. Value of assessment of left atrial volume and diameter in patients with heart failure but with normal left ventricular ejection fraction and mitral flow velocity pattern. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:278-81.
155. Iwataki M, Takeuchi M, Otani K, Kuwaki H, Haruki N, Yoshitani H, et al. Measurement of left atrial volume from transthoracic three-dimensional echocardiographic datasets using the biplane Simpson's technique. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:1319-26.
156. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2009;22:107-33.
157. Miyasaka Y, Tsujimoto S, Maeba H, Yuasa F, Takehana K, Dote K, et al.
Left atrial volume by real-time three-dimensional echocardiography: validation by 64-slice multidetector computed tomography. *J Am Soc Echo-cardiogr* 2011;24:680-6.
158. Rohner A, Brinkert M, Kawel N, Buechel RR, Leibundgut G, Grize L, et al. Functional assessment of the left atrium by real-time three-dimensional echocardiography using a novel dedicated analysis tool: initial validation studies in comparison with computed tomography. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:497-505.
159. Artang R, Migrino RQ, Harmann L, Bowers M, Woods TD. Left atrial volume measurement with automated border detection by 3-dimensional echocardiography: comparison with Magnetic Resonance Imaging. *Car-diovasc Ultrasound* 2009;7:16.
160. Mor-Avi V, Yodanis C, Jenkins C, Kuhl H, Nesser HJ, Marwick TH, et al.
Real-time 3D echocardiographic quantification of left atrial volume: multicenter study for validation with CMR. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012;5:769-77.
161. Caselli S, Canali E, Foschi ML, Santini D, Di Angelantonio E, Pandian NG, et al. Long-term prognostic significance of three-dimensional echocardiographic parameters of the left ventricle and left atrium. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:250-6.
162. Suh IW, Song JM, Lee EY, Kang SH, Kim MJ, Kim JJ, et al. Left atrial volume measured by real-time 3-dimensional echocardiography predicts clinical outcomes in patients with severe left ventricular dysfunction and in sinus rhythm. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:439-45.
163. Maddukuri PV, Vieira ML, DeCastro S, Maron MS, Kuvlin JT, Patel AR, et al. What is the best approach for the assessment of left atrial size? Comparison of various unidimensional and two-dimensional parameters with three-dimensional echocardiographically determined left atrial volume. *J Am Soc Echocardiogr* 2006;19:1026-32.
164. Aune E, Baekkevar M, Roislien J, Rodevand O, Otterstad JE. Normal reference ranges for left and right atrial volume indexes and ejection fractions obtained with real-time three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:738-44.
165. Peluso D, Badano LP, Muraru D, Dianco LD, Cucchini U, Kocabay G, et al. Right Atrial Size and Function assessed with three-dimensional and speckle-tracking echocardiography in 200 healthy volunteers. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:1106-14.
166. DePace NL, Ren JF, Kotler MN, Mintz GS, Kimbiris D, Kalman P. Two-dimensional echocardiographic determination of right atrial emptying volume: a noninvasive index in quantifying the degree of tricuspid regurgitation. *Am J Cardiol* 1983;52:525-9.
167. Kaplan JD, Evans GT, Foster E, Lim D, Schiller NB. Evaluation of Electrocardiographic Criteria for Right Atrial Enlargement by Quantitative 2-Dimensional Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:747-52.
168. Quraini D, Pandian NG, Patel AR. Three-Dimensional Echocardiographic Analysis of Right Atrial Volume in Normal and Abnormal Hearts: Comparison of Biplane and Multiplane Methods. *Echocardiogr J Cardiovasc Ultrasound Allied Tech* 2012;29:608-13.
169. Anderson RH. Clinical anatomy of the aortic root. *Heart* 2000;84:670-3.
170. Anderson RH. Further anatomical insights regarding the Ross procedure. *Ann Thorac Surg* 2006;81:411-2.

171. Piazza N, de Jaegere P, Schultz C, Becker AE, Serruys PW, Anderson RH. Anatomy of the aortic valvar complex and its implications for transcatheter implantation of the aortic valve. *Circ Cardiovasc Interv* 2008;1:74-81.
172. Ho SY. Structure and anatomy of the aortic root. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:i3-10.
173. Messika-Zeitoun D, Serfaty JM, Brochet E, Ducrocq G, Lepage L, Detaint D, et al. Multimodal assessment of the aortic annulus diameter: implications for transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:186-94.
174. Moss RR, Ivens E, Pasupati S, Humphries K, Thompson CR, Munt B, et al. Role of echocardiography in percutaneous aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1:15-24.
175. Walther T, Dewey T, Borger MA, Kempfert J, Linke A, Becht R, et al. Transapical aortic valve implantation: step by step. *Ann Thorac Surg* 2009;87:276-83.
176. Tops LF, Wood DA, Delgado V, Schuijf JD, Mayo JR, Pasupati S, et al. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography: implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging* 2008;1:321-30.
177. Kazui T, Izumoto H, Yoshioka K, Kawazoe K. Dynamic morphologic changes in the normal aortic annulus during systole and diastole. *J Heart Valve Dis* 2006;15:617-21.
178. Shiran A, Adawi S, Ganaeem M, Asmer E. Accuracy and reproducibility of left ventricular outflow tract diameter measurement using transthoracic when compared with transesophageal echocardiography in systole and diastole. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:319-24.
179. Hamdan A, Guetta V, Konen E, Goitein O, Segev A, Raanani E, et al. Deformation dynamics and mechanical properties of the aortic annulus by 4-dimensional computed tomography: insights into the functional anatomy of the aortic valve complex and implications for transcatheter aortic valve therapy. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:119-27.
180. Chin D. Echocardiography for transcatheter aortic valve implantation. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:i21-9.
181. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, Chan KL, Goncalves A, Hahn RT, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:937-65.
182. Holmes DR Jr., Mack MJ, Kaul S, Agnihotri A, Alexander KP, Bailey SR, et al. 2012 ACCF/AAT/SCAI/ST Sexpert consensus document on transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1200-54.
183. Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Schoenhagen P, Min JK, Leipsic JA. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:366-80.
184. Kasel AM, Cassese S, Bleiziffer S, Amaki M, Hahn RT, Kastrati A, et al. Standardized imaging for aortic annular sizing: implications for transcatheter valve selection. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013;6:249-62.
185. Pershad A, Stone D, Morris MF, Fang K, Gellert G. Aortic annulus measurement and relevance to successful transcatheter aortic valve replacement: a new technique using 3D TEE. *J Interv Cardiol* 2013;26:302-9.
186. Hahn RT, Khalique O, Williams MR, Koss E, Paradis JM, Daneault B, et al. Predicting paravalvular regurgitation following transcatheter valve replacement: utility of a novel method for three-dimensional echocardiographic measurements of the aortic annulus. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:1043-52.
187. Flachskampf FA, Wouters PF, Edvardsen T, Evangelista A, Habib G, Hoffman P, et al. Recommendations for transoesophageal echocardiography: EACVI update 2014. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15:353-65.
188. Hutter A, Opitz A, Bleiziffer S, Ruge H, Hettich I, Mazzitelli D, et al. Aortic annulus evaluation in transcatheter aortic valve implantation. *Catheter Cardiovasc Interv* 2010;76:1009-19.
189. Leipsic J, Gurvitch R, Labounty TM, Min JK, Wood D, Johnson M, et al. Multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:416-29.
190. Delgado V, Ng AC, van de Veire NR, van der Kley F, Schuijf JD, Tops LF, et al. Transcatheter aortic valve implantation: role of multi-detector row computed tomography to evaluate prosthesis positioning and deployment in relation to valve function. *Eur Heart J* 2010;31:1114-23.
191. Willson AB, Webb JG, Freeman M, Wood DA, Gurvitch R, Thompson CR, et al. Computed tomography-based sizing recommendations for transcatheter aortic valve replacement with balloon-expandable valves: Comparison with transesophageal echocardiography and rationale for implementation in a prospective trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012;6:406-14.
192. Utsunomiya H, Yamamoto H, Horiguchi J, Kunita E, Okada T, Yamazato R, et al. Underestimation of aortic valve area in calcified aortic valve disease: effects of left ventricular outflow tract ellipticity. *Int J Cardiol* 2012;157:347-53.
193. Gurvitch R, Webb JG, Yuan R, Johnson M, Hague C, Willson AB, et al. Aortic annulus diameter determination by multidetector computed tomography: reproducibility, applicability, and implications for transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:1235-45.
194. Goldstein SA, Evangelista A, Abbata S, Arai A, Acsh F, Badano LP, et al. ASE/EAE recommendations for multimodality imaging techniques for diseases of the aorta: Expert consensus statement. *J Am Soc Echocardiogr* 2014 (in press).
195. Roman MJ, Devereux RB, Kramer-Fox R, O'Loughlin J. Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults. *Am J Cardiol* 1989;64:507-12.
196. Vasan RS, Larson MG, Benjamin EJ, Levy D. Echocardiographic reference values for aortic root size: the Framingham Heart Study. *J Am Soc Echocardiogr* 1995;8:793-800.
197. Roman MJ, Devereux RB, Niles NW, Hochreiter C, Kligfield P, Sato N, et al. Aortic root dilatation as a cause of isolated, severe aortic regurgitation. Prevalence, clinical and echocardiographic patterns, and relation to left ventricular hypertrophy and function. *Ann Intern Med* 1987;106:800-7.
198. Moreno FL, Hagan AD, Holmen JR, Pryor TA, Strickland RD, Castle CH. Evaluation of size and dynamics of the inferior vena cava as an index of right-sided cardiac function. *Am J Cardiol* 1984;53:579-85.
199. Brennan JM, Blair JE, Goonewardena S, Ronan A, Shah D, Vasaiwala S, et al. Reappraisal of the use of inferior vena cava for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:857-61.
200. Kircher BJ, Himelman RB, Schiller NB. Noninvasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava. *Am J Cardiol* 1990;66:493-6.
201. Goldhammer E, Mesnick N, Abinader EG, Sagiv M. Dilated inferior vena cava: a common echocardiographic finding in highly trained elite athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:988-93.
202. Jue J, Chung W, Schiller NB. Does inferior vena cava size predict right atrial pressures in patients receiving mechanical ventilation? *J Am Soc Echocardiogr* 1992;5:613-9.
203. Arthur ME, Landolfo C, Wade M, Castresana MR. Inferior vena cava diameter (IVCD) measured with transesophageal echocardiography (TEE) can be used to derive the central venous

pressure (CVP) in anesthetized mechanically ventilated patients. *Echocardiography* 2009;26:140-9.

204. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE Jr, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/ST S/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with Thoracic Aortic Disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthetists, Society

for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation* 2010;121:e266-369.

205. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med* 1987;317:1098.

附录

方法

如有可能，收集下列资料：收缩压、舒张压、高血压的诊断与治疗、糖尿病的诊断、空腹血糖、肌酐水平、总胆固醇、低密度脂蛋白、三油酐脂。BSA 由 Mosteller 公式计算²⁰⁵。

身体质量指数的计算：公斤体重除以身高的平方。

超声心动图测量

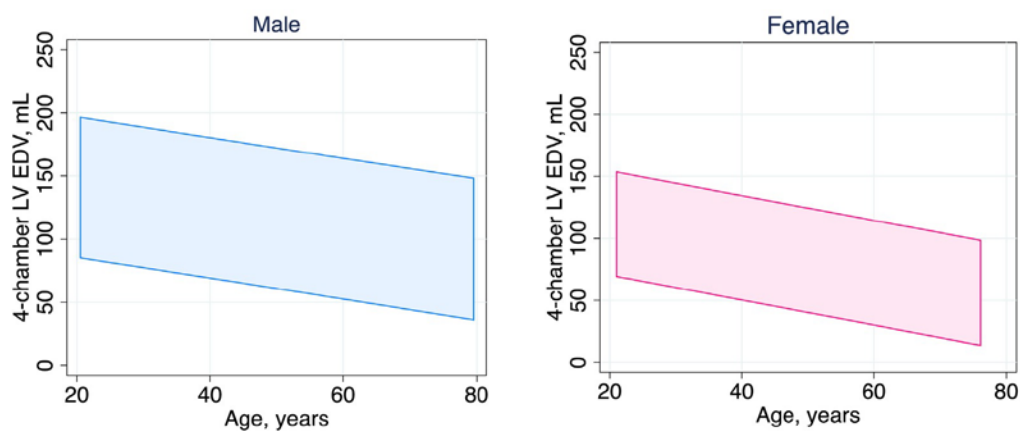
经胸超声心动图的测量是根据已发表的指南进行。¹ 下列数值采用经胸 2D 超声心动图切面获得：LV 舒张末期内径、LV 收缩末期内径取自胸骨旁长轴切面；

LV EDV、LV ESV 和 LV EF 取自心尖四腔和二腔切面；LV EDV、LV ESV、LV 每搏输出量和 LVEF 取自双平面切面。

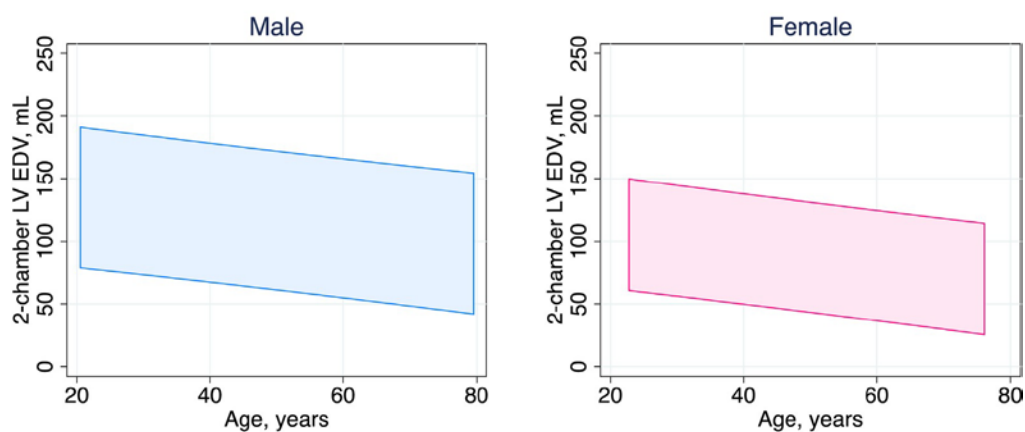
统计学分析

所有研究参数均符合使用 Kolmogorov-Smirnov 法的正态分布，这些变量的总结资料用均值±标准差表达。多变量分析被用于决定测量参数对于年龄、性别和 BSA 的依赖性。单变量的年龄线性回归用于构建经 BSA 矫正的图表，然后按性别划分，列出均值和 95% 可信区间。P 值<0.05 考虑有意义。

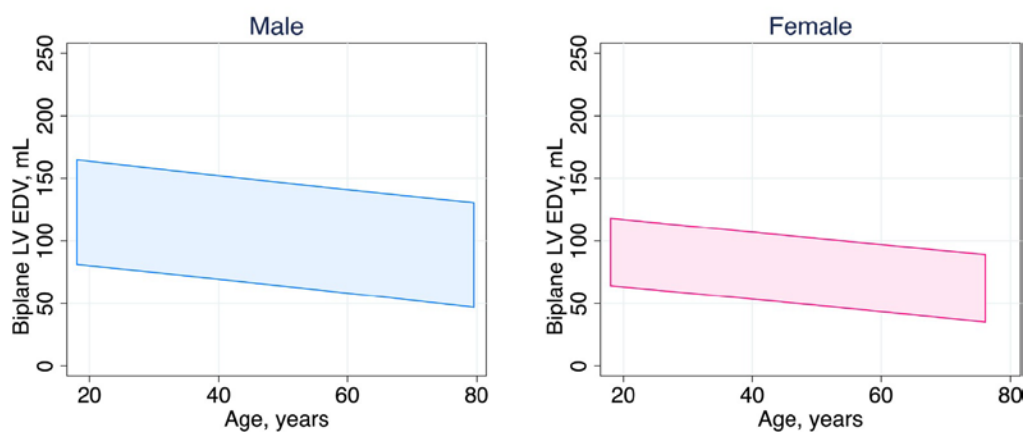
Apical 4-chamber LV End-Diastolic Volume



Apical 2-chamber LV End-Diastolic Volume

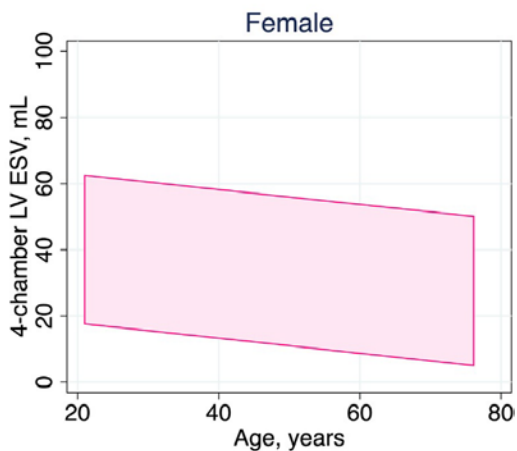
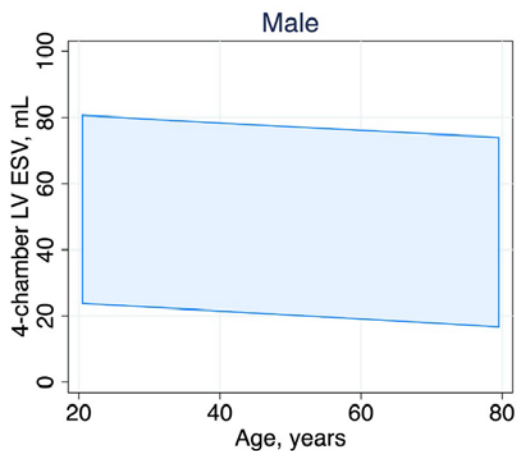


Biplane LV End-Diastolic Volume

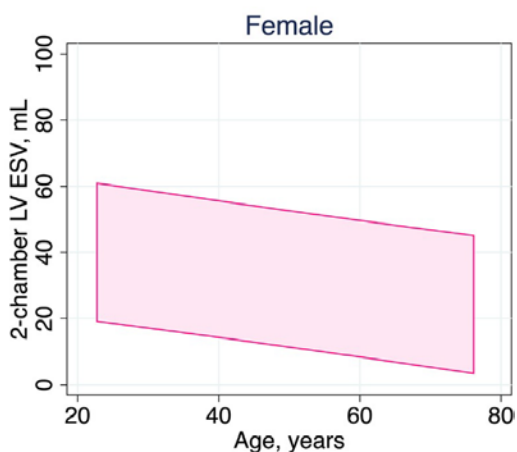
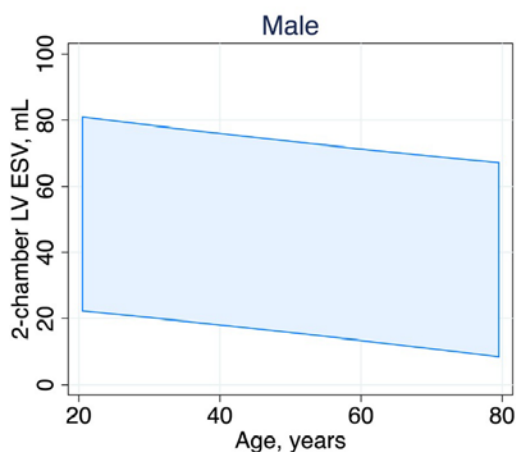


增补图1 男性（左侧）和女性（右侧）根据年龄在下列切面的LV EDV95%可信区间：心尖四腔切面（上排）、心尖二腔切面（中排）和双平面（下排）。

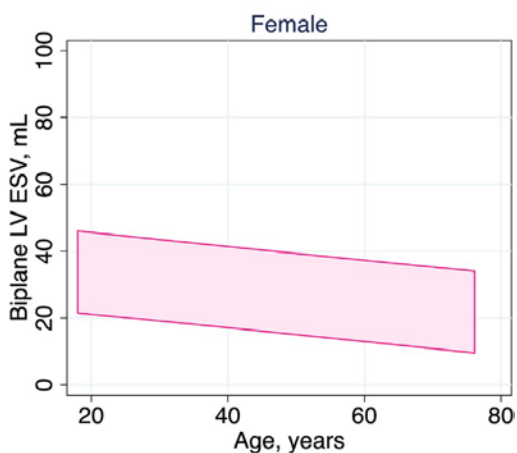
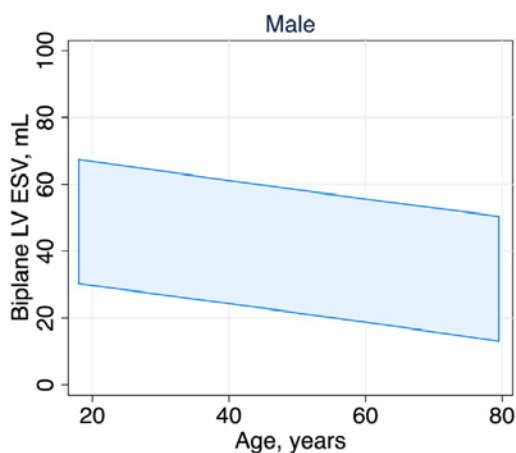
Apical 4-chamber LV End-Systolic Volume



Apical 2-chamber LV End-Systolic Volume

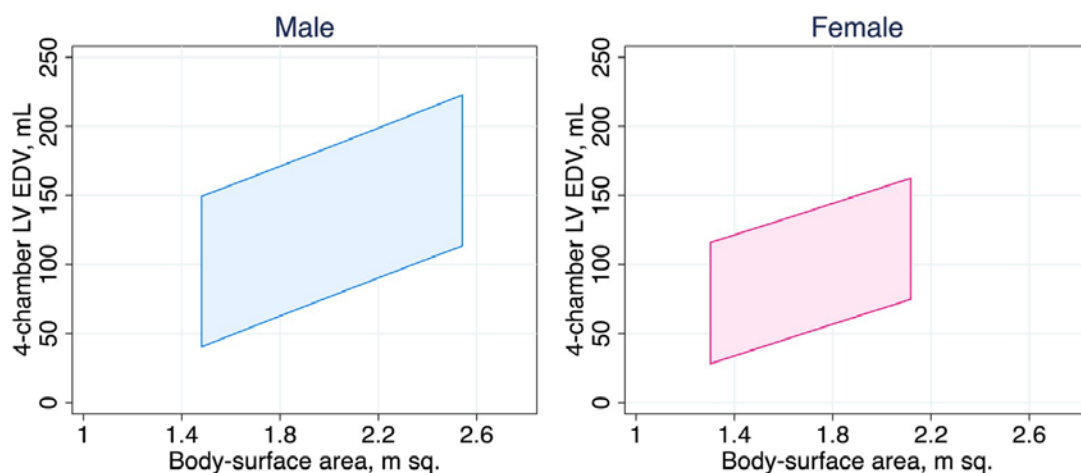


Biplane LV End-Systolic Volume

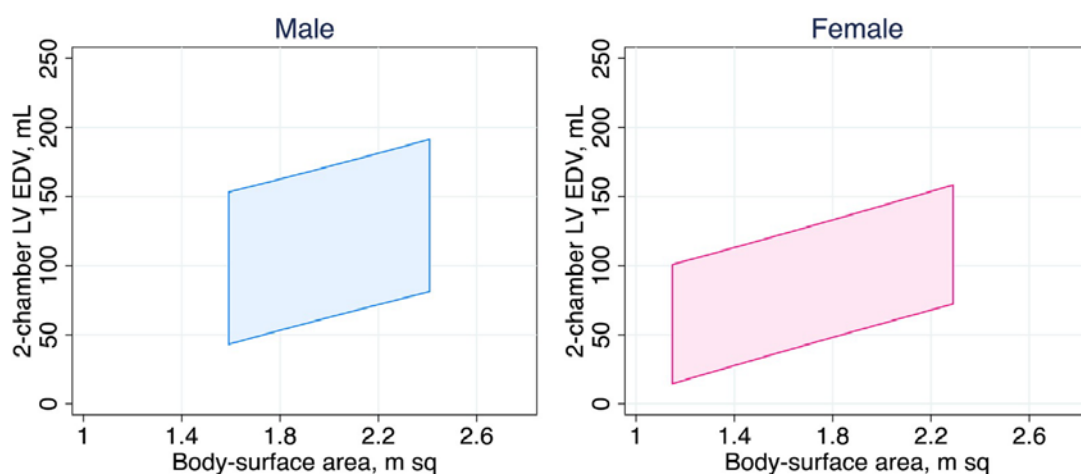


增补图2 男性（左侧）和女性（右侧）根据年龄在下列切面的LV ESV95%可信区间：心尖四腔切面（上排）、心尖二腔切面（中排）和双平面（下排）。

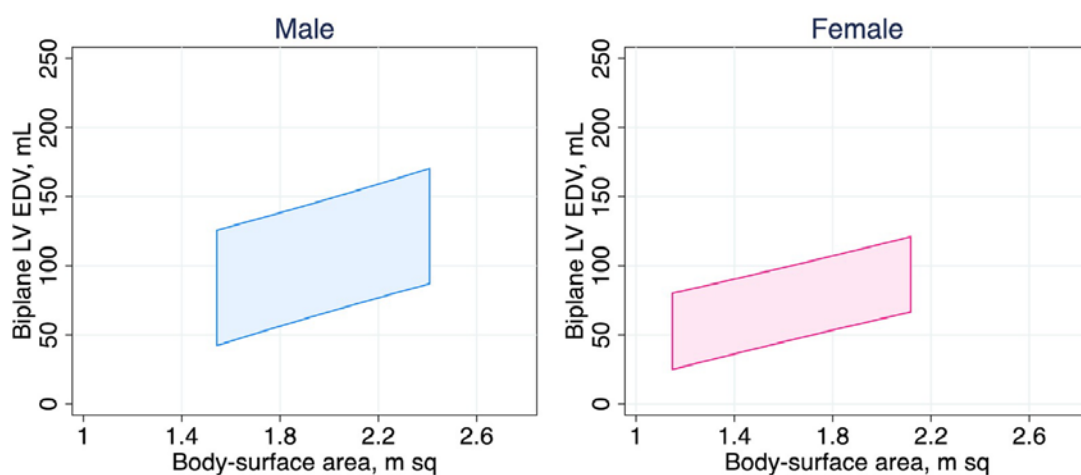
Apical 4-chamber LV End-Diastolic Volume



Apical 2-chamber LV End-Diastolic Volume

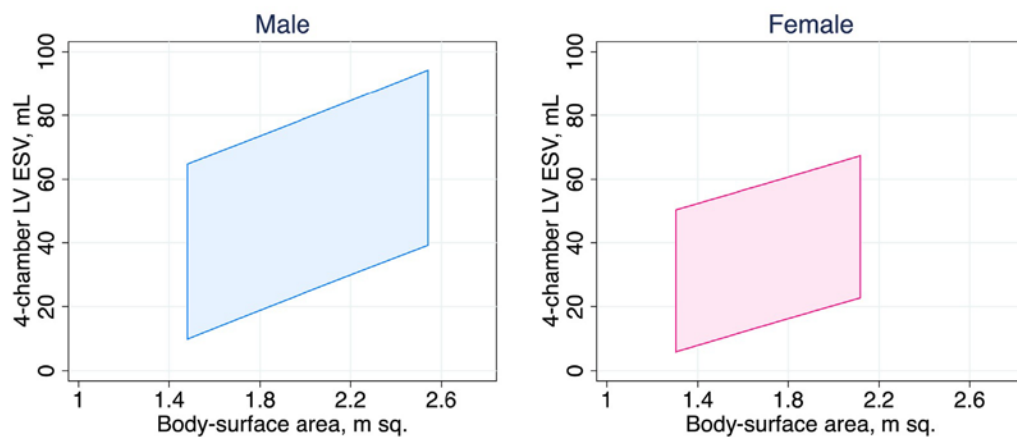


Biplane LV End-Diastolic Volume

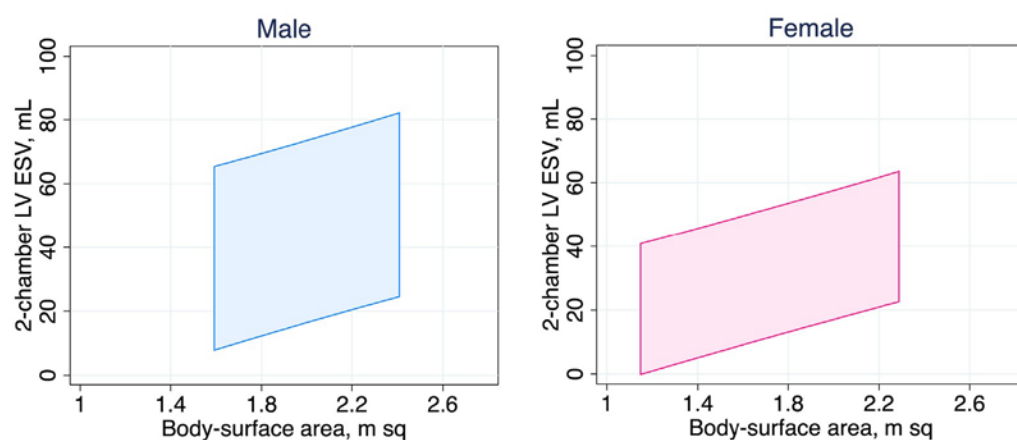


增补图3 男性（左侧）和女性（右侧）根据体表面积在下列切面的LV EDV95%可信区间：心尖四腔切面（上排）、心尖二腔切面（中排）和双平面（下排）。

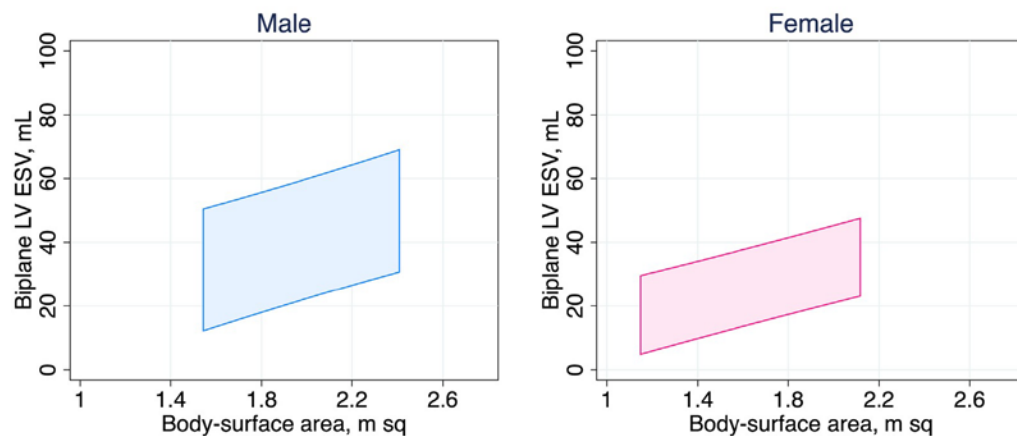
Apical 4-chamber LV End-Systolic Volume



Apical 2-chamber LV End-Systolic Volume



Biplane LV End-Systolic Volume



增补图4 男性（左侧）和女性（右侧）根据体表面积在下列切面的LV ESV95%可信区间：心尖四腔切面（上排）、心尖二腔切面（中排）和双平面（下排）。

增补表1 左心室测值来源，根据超声心动图切面、性别和基础特征分组

	胸骨旁长轴切面	心尖四腔切面	心尖二腔切面	双平面
数据来源 (n)	Asklepios (1,019) Flemengho (252)	CARDIA5 (1,027) Asklepios (1,006) Flemengho (245)	CARDIA25 (588) Asklepios10 (161) Flemengho (244)	Padua (111) Asklepios10 (161) Flemengho (248)
男性				
n	502	962	410	201
Race white (n)	502	770	345	201
Race black (n)	0	192	65	0
Age (y)	45 ± 8	37±10	50 ± 8	47 ± 14
Height (cm)	177 ± 7	178 ± 7	178 ± 7	177 ± 8
Weight (kg)	78±10	77 ± 10	80 ± 10	79 ± 11
BSA (m²)	1.96 ± 0.14	1.94 ± 0.15	1.99 ± 0.15	1.97 ± 0.17
BMI (kg/m²)	25 ± 3	24 ± 3	25 ± 3	25 ± 3
女性				
n	769	1,316	583	319
Race white (n)	769	244	509	319
Race black (n)	0	1,072	74	0
Age (y)	45 ± 7	37 ± 10	50 ± 7	48 ± 12
Height (cm)	164 ± 6	164 ± 6	165 ± 6	164 ± 7
Weight (kg)	63 ± 8	62 ± 9	66 ± 9	63 ± 9
BSA (m²)	1.69 ± 0.13	1.68 ± 0.13	1.73 ± 0.15	1.70 ± 0.14
BMI (kg/m²)	23 ± 3	23 ± 3	24 ± 3	24 ± 3

增补表 2 从不同超声心动图切面获得的男性和女性 LV 大小和功能的正常值

参数	n	男性		2-SD range	n	女性		2-SD range
		Mean	± SD			Mean	± SD	
胸骨旁长轴切面*								
Diastolic LV internal dimension (mm)	502	50.2 ± 4.1		42.0–58.4	769	45.0 ±3.6		37.8–52.2
Systolic LV internal dimension (mm)	389	32.4 ± 3.7		25.0–39.8	630	28.2 ± 3.3		21.6–34.8
Apical two-chamber view†								
LV EF (%)	410	62 ± 7		48–76	583	64 ± 6		52–76
LV EDV (mL)	410	117 ± 29		59–175	583	87 ± 23		41–133
LV ESV (mL)	410	45 ± 6	15	15–75	583	32 ± 11		10–54
Apical four-chamber view‡								
LV EF (%)	962	60 ± 7		46–74	1316	62 ± 8		46–78
LV EDV (mL)	962	127 ± 29		69–185	1316	94 ± 23		48–140
LV ESV (mL)	962	50 ± 14		22–78	1316	36 ± 12		12–60
Biplane§								
LV EF (%)	201	62 ± 5		52–72	319	64 ± 5		54–74
LV EDV (mL)	201	106 ± 22		62–150	319	76 ± 15		46–106
LV ESV (mL)	201	41 ± 10		21–61	319	28 ± 7		14–42
Normalized to BSA								
Apical two-chamber view†								
LV EDV (mL/m²)	410	59 ± 14		31–87	583	50 ± 12		26–74
LV ESV (mL/m²)	410	23 ± 7		9–37	583	18 ± 6		6–30
Apical four-chamber view‡								
LV EDV (mL/m²)	962	65 ± 14		37–93	1316	56 ± 13		30–82
LV ESV (mL/m²)	962	26 ± 6	7	12–40	1316	21 ± 6	7	7–35
Biplane§								
LV EDV (mL/m²)	201	54 ± 10		34–74	319	45 ± 8		29–61
LV ESV (mL/m²)	201	21 ± 5		11–31	319	16 ± 4		8–24

资料来源.

*Asklepios, Flemengho.

†Asklepios, CARDIA5, Flemengho.

‡Flemengho, CARDIA25; Asklepios10.

§Asklepios10, Flemehgho, Padua.

增补表 3 2DE 计算的 LV 大小、功能、质量的正常范围和严重度界限值

	男性				女性			
	正常范围	轻度异常	中度异常	重度异常	正常范围	轻度异常	中度异常	重度异常
LV dimension								
LV diastolic diameter (cm)	4.2–5.8	5.9–6.3	6.4–6.8	>6.8	3.8–5.2	5.3–5.6	5.7–6.1	>6.1
LV diastolic diameter/BSA (cm/m ²)	2.2–3.0	3.1–3.3	3.4–3.6	>3.6	2.3–3.1	3.2–3.4	3.5–3.7	>3.7
LV systolic diameter (cm)	2.5–4.0	4.1–4.3	4.4–4.5	>4.5	2.2–3.5	3.6–3.8	3.9–4.1	>4.1
LV systolic diameter/BSA (cm/m ²)	1.3–2.1	2.2–2.3	2.4–2.5	>2.5	1.3–2.1	2.2–2.3	2.4–2.6	>2.6
LV volume								
LV diastolic volume (mL)	62–150	151–174	175–200	>200	46–106	107–120	121–130	>130
LV diastolic volume/BSA (mL/m ²)	34–74	75–89	90–100	>100	29–61	62–70	71–80	>80
LV systolic volume (mL)	21–61	62–73	74–85	>85	14–42	43–55	56–67	>67
LV systolic volume/BSA (mL/m ²)	11–31	32–38	39–45	>45	8–24	25–32	33–40	>40
LV function								
LV EF (%)	52–72	41–51	30–40	<30	54–74	41–53	30–40	<30
LV mass by linear method								
Septal wall thickness (cm)	0.6–1.0	1.1–1.3	1.4–1.6	>1.6	0.6–0.9	1.0–1.2	1.3–1.5	>1.5
Posterior wall thickness (cm)	0.6–1.0	1.1–1.3	1.4–1.6	>1.6	0.6–0.9	1.0–1.2	1.3–1.5	>1.5
LV mass (g)	88–224	225–258	259–292	>292	67–162	163–186	187–210	>210
LV mass/BSA (g/m ²)	49–115	116–131	132–148	>148	43–95	96–108	109–121	>121
LV mass by 2D method								
LV mass (g)	96–200	201–227	228–254	>254	66–150	151–171	172–193	>193
LV mass/BSA (g/m ²)	50–102	103–116	117–130	>130	44–88	89–100	101–112	>112

增补表 4. 根据年龄和性别分组的 LV 功能

参数	年龄 20-29				年龄 30-39				年龄 40-49				年龄 50-59				年龄 60			
	男		女		男		女		男		女		男		女		男		女	
	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ±SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD	n	Mean ± SD
Apical two-chamber view*																				
LV EF (%)	14	62 ± 4	16	62 ± 6	27	62 ± 5	18	65 ± 5	144	62 ± 6	223	63 ±6	191	61 ± 8	290	64 ± 6	34	63 ± 6	36	65 ± 6
LV EDV (mL)	14	122 ± 18	16	88 ±21	27	111 ± 27	18	88 ±14	144	121 ±25	223	90 ± 22	191	119 ± 30	290	87 ± 23	34	88 ± 22	36	63 ±12
LV ESV (mL)	14	46 ±7	16	33 ± 10	27	42 ± 11	18	31 ± 7	144	46 ± 14	223	34 ± 11	191	46 ± 16	290	32 ± 11	34	32 ± 8	36	22 ± 6
Apical four-chamber view†																				
LV EF (%)	247	63 ± 6	274	63 ± 6	363	61 ± 7	478	62 ±8	235	58 ± 7	383	60 ± 9	96	60 ± 7	163	60 ± 8	21	59 ± 5	18	60 ± 6
LV EDV (mL)	247	136 ±29	274	106±23	363	131±28	478	99±23	235	118± 28	383	84 ±20	96	115 ±29	163	82± 18	21	110± 24	18	74 ± 15
LV ESV (mL)	247	51 ± 13	274	39 ±11	363	51 ± 14	478	37 ±11	235	50 ± 16	383	34 ± 12	96	47 ± 16	163	33 ±12	21	45 ± 12	18	29 ± 7
Biplane‡																				
LV EF (%)	29	62 ±5	39	63 ± 4	34	61 ± 4	34	63 ± 4	45	62 ± 5	82	64 ± 4	55	63 ± 5	116	64 ± 5	38	63 ±5	48	65 ± 6
LV EDV (mL)	29	118 ± 25	39	87 ±18	34	114 ± 22	34	82 ±13	45	107 ± 20	82	77 ±13	55	101 ± 21	116	73 ± 14	38	98 ± 21	48	68 ± 11
LV ESV (mL)	29	46 ± 11	39	32 ± 8	34	44 ±10	34	31 ± 6	45	41 ± 10	82	28 ± 6	55	38 ± 9	116	26 ± 6	38	36 ± 9	48	24 ± 6
LV stroke volume (mL)	29	73 ± 17	39	55 ± 12	34	69 ± 15	34	52 ± 8	45	66 ± 12	82	49 ± 9	55	64 ± 15	116	46 ± 10	38	62 ± 14	48	44 ± 8
Normalized to BSA																				
Apical two-chamber view*																				
LV EDV (mL/m ²)	14	59 ± 8	16	50 ± 9	27	56 ± 14	18	50 ±8	144	61 ± 13	223	52 ± 12	191	60 ± 14	290	51 ±13	34	45 ± 11	36	37 ± 7
LV ESV (mL/m ²)	14	22 ± 4	16	19 ± 5	27	21 ± 6	18	18 ± 4	144	23 ± 7	223	19 ± 6	191	23 ± 8	290	19 ± 6	34	16 ± 4	36	13 ± 3
Apical four-chamber view†																				
LV EDV (mL/m ²)	247	70 ± 14	274	63 ± 13	363	67 ± 13	478	59 ±13	235	60 ± 13	383	50 ± 11	96	59 ± 13	163	49 ± 10	21	56 ± 11	18	44 ± 8
LV ESV (mL/m ²)	247	26 ± 6	274	23 ± 6	363	26 ± 7	478	22 ±6	235	26 ± 8	383	20 ± 7	96	24 ± 14	163	20 ± 7	21	22 ± 5	18	17 ± 4
Biplane‡																				
LV EDV (mL/m ²)	29	62 ± 10	39	52 ± 9	34	57 ± 11	34	49 ± 6	45	54 ± 9	82	45 ± 7	55	52 ± 9	116	43 ± 7	38	50 ± 10	48	40 ±7
LV ESV (mL/m ²)	29	24 ± 5	39	19±4	34	22 ± 5	34	18 ± 4	45	21 ± 5	82	16 ± 3	55	19 ± 4	116	15 ± 3	38	18 ± 4	48	14 ± 3

数据来源。
*Asklepios, CARDIA5, Flemegho。
†Flemegho, CARDIA25; Asklepios10。
‡Asklepios10, Flemegho, Padua。

增补表 5 LV 大小和功能：按种族和性别

Parameter	n	黑人				白人						
		男性		女性		男性			女性			
		Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD	n	Mean	± SD
Apical two-chamber view*												
LV EF (%)	65	61 ± 7	74	64 ± 6	345	62 ± 7	509	64 ± 6				
LV EDV (mL)	65	130 ± 28	74	99 ± 23	345	114 ± 28	509	85±22				
LV ESV (mL)	65	51 ± 16	74	36 ± 10	345	44 ±14	509	31 ± 11				
Apical four-chamber view†												
LV EF (%)	244	63 ± 6	192	64 ± 6	770	60 ± 7	1072	61 ± 8				
LV EDV (mL)	244	135 ± 29	192	106 ± 23	770	125 ± 29	1072	91 ± 23				
LV ESV (mL)	244	50 ± 12	192	38 ± 11	770	50 ± 15	1072	36 ± 12				
Normalized to B±SA±												
Apical two-chamber view*												
LV EDV (mL/m²)	65	66 ± 13	±7	55 ± 11	345	57 ± 14	509	50 ± 12				
LV ESV (mL/m²)	65	26 ± 8	74	20 ± 6	345	22 ±6 7	509	18 ± 6				
Apical two-chamber view†												
LV EDV (mL/m²)	244	70 ± 14	192	62 ± 13	770	64 ± 14	1072	54 ±13				
LV ESV (mL/m²)	244	26 ± 6	192	22 ± 6	770	26 ± 7	1072	21 ± 7				

数据来源。
*Asklepios, CARDIA 5, Flemengho。
†Flemengho, CARDIA25; Asklepios10。

增补表 6 使用不同供应商设备和软件近期发表的、经 meta-analysis 的 LV 应变正常值

vendor	Software	n	Mean	SD	LLN	Reference
Varying	Meta-analysis	2597	−19.7%		NA	26
GE	EchoPAC BT 12	247	−21.5%	2.0%	−18%	31
	EchoPAC BT 12	207	−21.2%	1.6%	−18%	*
	EchoPAC BT 12	131	−21.2%	2.4%	−17%	†
	EchoPAC 110.1.3	333	−21.3%	2.1%	−17%	32
Philips	QLAB 7.1	330	−18.9%	2.5%	−14%	32
Toshiba	Ultra Extend	337	−19.9%	2.4%	−15%	32
Siemens	VVI	116	−19.8	4.6	−11%	197
	VVI	82	−17.3	2.3	−13%	198
Esaote	Mylab 50	30	−19.5	3.1	−13%	199

LLN, 正常范围低限

*T. Kouznetsova and J. Staessen, Department of Cardiology, Catholic University Leuven, personal communication.

†P. Barbier, University Milano, personal communication.

增补表 7. 用于 RV 心腔大小和功能参考值的研究项目和病人数量

Parameter	Studies	n
RV basal diameter (mm)	12	695
RV mid diameter (mm)	14	1938
RV longitudinal diameter (mm)	10	537
RVOT PLAX diameter (mm)	11	380
RVOT proximal diameter (mm)	5	193
RVOT distal diameter (mm)	4	159
RV wall thickness (mm)	9	527
RVOT EDA (cm ²)		
Men	2	909
Women	2	971
RV EDA indexed to BSA (cm ² /m ²)		
Men	2	909
Women	2	971
RV ESA (cm ²)		
Men	1	533
Women	1	600
RV ESA indexed to BSA (cm ² /m ²)		
Men	1	533
Women	1	600
RV EDV indexed to BSA (mL/m ²)		
Men	2	257
Women	2	285
RV ESV indexed to BSA (mL/m ²)		
Men	2	257
Women	2	285
TAPSE (mm)	68	4803
Pulsed Doppler S wave (cm/s)	69	4752
Color Doppler S wave (cm/s)	9	409
RV fractional area change (%)	57	3606
RV free wall 2D strain (%)	18	782
RV 3D EF (%)	15	1162
Pulsed Doppler MPI	23	853
Tissue Doppler MPI	13	746
E wave deceleration time (ms)	30	1637
E/A	56	2829
E/a'	33	1230
E'	43	3081
E/e'	8	545

CI, 可信区间 ; EDA, 舒张末期面积; ESA, 收缩末期面积; PLAX, 胸骨旁长轴切面; RVOT, RV 流出道; MPI, 心肌工作指数.

增补表 8. 3D 超声心动图测量 RV 大小的正常范围，根据性别和年龄分组 (from Maffessanti et al.⁷⁵)

Age (y)	n (women, men)	RV EDV(mL/m ²)		RV ESV (mL/m ²)		RV EF (%)	
		Women	Men	Women	Men	Women	Men
<30	102 (45, 57)	53 (38, 78)	66 (42, 100)	20 (8, 45)	28 (16, 52)	60 (43, 82)	56 (42, 68)
30–39	96 (50, 46)	50 (38, 77)	58 (35, 85)	18 (11, 38)	23 (12, 38)	63 (50, 78)	60 (47, 74)
40–49	96 (53, 43)	50 (34, 65)	54 (36, 78)	18 (8, 27)	21 (11, 33)	65 (49, 80)	59 (51, 75)
50–59	88 (47, 41)	49 (37, 69)	53 (36, 76)	18 (11, 29)	19 (10, 37)	62 (46, 76)	62 (45, 74)
60–69	69 (39, 30)	46 (26, 64)	52 (37, 86)	17 (8, 26)	19 (10, 36)	61 (50, 79)	63 (49, 79)
≥70	37 (23, 14)	43 (25, 62)	54 (31, 68)	12 (7, 21)	18 (7, 28)	71 (57, 82)	65 (55, 76)

数据以中位数表达 (5th, 95th percentile).

增补表 9. 左心房正常值

	Women	Men
AP dimension (cm)	2.7–3.8	3.0–4.0
AP dimension index (cm/m ²)	1.5–2.3	1.5–2.3
A4C area index (cm ² /m ²)	9.3 6 1.7	8.9 6 1.5
A2C area index (cm ² /m ²)	9.6 6 1.4	9.3 6 1.6
A4C volume index MOD (mL/m ²)	25.1 6 7.2	24.5 6 6.4
A4C volume index AL (mL/m ²)	27.3 6 7.9	27.0 6 7.0
A2C volume index MOD (mL/m ²)	26.1 6 6.7	27.1 6 7.9
A2C volume index AL (mL/m ²)	28.0 6 7.3	28.9 6 8.5