

成人右心超声心动图评估浙江实践指南与共识(一)

浙江省超声医学工程学会超声心动图专业委员会 浙江省医学会超声医学分会

[摘要] 右心的结构和功能受到广泛的生理和病理条件的影响。对右心参数进行量化分析在临床诊断、预后判断和监测治疗效果等一系列临床应用中非常重要。尽管超声心动图仍然是右心评估的首选成像方式,但与左心室比较,现有指南相对较少。本文根据《美国超声心动图协会(ASE)成人右心超声心动图诊断指南》《英国超声心动图协会(BSE)实践指南:成人右心超声心动图评估》和《2022欧洲心脏病学会(ESC)/欧洲呼吸协会(ERS)肺动脉高压的诊断和管理指南》,由浙江省超声医学工程学会超声心动图专业委员会、浙江省医学会超声医学分会组织浙江省青年超声心动图专业工作者进行翻译和整理,主要阐述超声心动图评估右心的原则和实际操作规范,包括腔室大小和功能的量化及瓣膜功能的评估,旨在进一步推广和提高浙江省超声心动图精准定量诊疗技术。

[关键词] 右心室;超声心动图;右心房;指南

根据《美国超声心动图协会(American Society of Echocardiography, ASE)成人右心超声心动图诊断指南》《英国超声心动图协会(British Society of Echocardiography, BSE)实践指南:成人右心超声心动图评估》《2022欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)/欧洲呼吸协会(European Respiratory Society, ERS)肺动脉高压的诊断和管理指南》,由浙江省超声医学工程学会超声心动图专业委员会、浙江省医学会超声医学分会组织浙江省青年超声心动图专业工作者进行翻译、修饰和整理^[1-2],推荐作为浙江省超声心动图评价右心的指南、共识和浙江省超声心动图指南系列之一,旨在进一步推广和提高浙江省超声心动图精准定量诊疗技术。

1 右心声窗和超声心动图切面^[1-2]

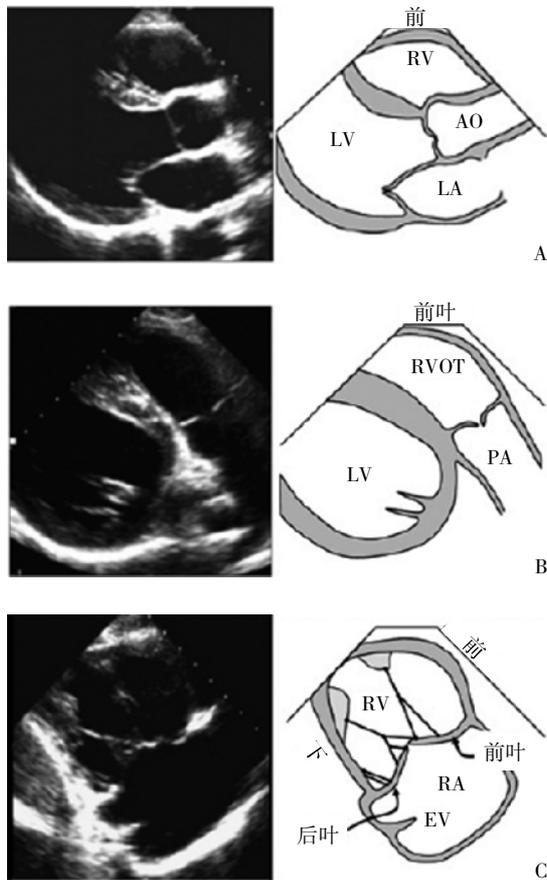
为区分右心室结构和功能是否存在异常,评估右心室的大小、容积和收缩性能,须获取一系列标准切面。其中包括胸骨旁长轴、胸骨旁右心室流入道、胸骨旁短轴、心尖四腔心切面、聚焦于右心室的心尖四腔心切面和剑下切面。利用所有可获取的切面非常重要,因为每个切面提供的信息可相互补充,从而更完整评估右心腔室的不同节段。这在结

构和功能评估上都适用。进行右心室收缩压(right ventricular systolic pressure, RVSP)估测时,通过连续多普勒检测三尖瓣反流的各个切面显得尤为重要,因为能否检测到最大血流速度取决于超声声束能否与反流束平行。当不同切面获取的结构和功能信息存在出入时,诊断医生必须结合所有的超声心动图检查信息,对右心情况做出整体判断。右心结构的切面、示意图及实际应用见图1至图3。

2 右心房和右心房压^[1-2]

2.1 右心房 右心房通过以下途径辅助右心室充盈:(1)当三尖瓣关闭时,储存体静脉回流的血液;(2)舒张早期三尖瓣开放时,作为体静脉回流右心室的通道;(3)舒张末期右心房收缩,对右心室主动充盈。对右心房进行成像的主要经胸声窗是心尖四腔心切面,可以在这个切面应用平面测量法评估右心房面积。右心房长径是指从三尖瓣环中心到右心房顶部中心的距离,与房间隔平行。右心房短径是指从右心房游离壁中部到房间隔的距离,与长径垂直。测量右心房面积时应在心室收缩末期(此时容积最大)从三尖瓣环侧面到室间隔面沿心内膜面进行描记(排除瓣叶和瓣环之间的面积,也排除上下腔静脉和右心耳,见图4)。正常参考值:右心房面积 $\leq 18 \text{ cm}^2$;右心房短径 $\leq 4.4 \text{ cm}$,长径 $\leq 5.3 \text{ cm}$ 。

2.2 右心房压 最常用来评估右心房压的参数是下腔静脉内径和吸气末塌陷率。随着右心房压力的



注:LV 为左心室;RV 为右心室;LA 为左心房;AO 为主动脉;RVOT 为右心室流出道;PA 为肺动脉;RA 为右心房;EV 为下腔静脉瓣

图 1 右心结构长轴切面、示意图及实际应用[A:RV 前壁的胸骨旁长轴切面,此切面通过二维法测量 RV 大小、室壁厚度以及 RVOT 内径;切面图像变异很大,这与探头的角度以及放于肋间隙的位置相关,因此在评估 RVOT 大小时不能仅以此切面作为证据;B:RVOT 及 PA 的胸骨旁长轴切面;漏斗部的长轴切面,可显示 RVOT 前部;在此切面中,亦可观察 PA 及肺动脉瓣;可用于检测肺动脉瓣环直径,进而评估肺动脉瓣情况;C:RVOT 的胸骨旁长轴切面:可作为评估右心室前壁/下壁,三尖瓣前叶/后叶的重要切面,亦可观察前后乳头肌,键索,下腔静脉入口、下腔静脉瓣等;有时在该切面可能观察到冠状静脉窦(图略);在本切面,将超声声束置于与三尖瓣反流平行的方向,则可检测三尖瓣反流的相关参数]

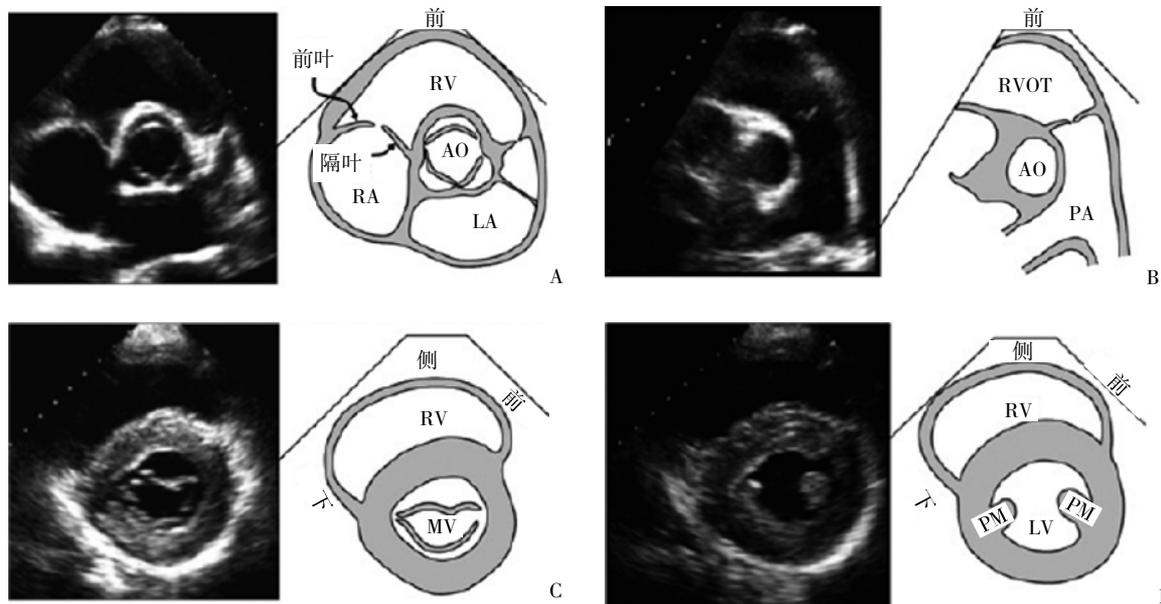
增加,这一压力被传递到下腔静脉,进而导致下腔静脉扩张且吸气时塌陷率减小。剑下切面是显示下腔静脉的最佳切面,可显示下腔静脉的长轴。建议于呼气末,紧邻肝静脉入口的近心端,距右心房开口约 0.5~3.0 cm 处测量下腔静脉内径(图 5)。建议于吸气动作及平静呼吸两种状态下测量下腔静脉内径变化,以准确评估下腔静脉塌陷率,测量内径时确保下腔静脉无移位。建议探查下腔静脉的横断面,以确保其长轴垂直于下腔静脉径向水平。

右心房增大以及房间隔在整个心动周期中向左心房凸出,也可作为右心房压升高的二维特征。这些定性指标不能用于估测右心房压,但这一特征提示需对右心房压进行更全面评估,并查找可能病因。正常参考值参考下腔静脉内径和吸气末塌陷率(机械通气患者不适用)。(1)下腔静脉内径 ≤ 2.1 cm 且吸气末塌陷率 $>50\%$,右心房压正常(即 3 mmHg,范围 0~5 mmHg,1 mmHg=0.133 kPa);(2)下腔静脉内径 >2.1 cm 且吸气末塌陷率 $<50\%$,右心房压升高(即 15 mmHg,范围 10~20 mmHg);(3)如果指标处在两者之间,可取中间值(即 8 mmHg,范围 5~10 mmHg),或参考次要指标。

3 右心室^[1-2]

3.1 右心室壁厚度 右心室壁厚度是诊断右心室壁肥厚的重要指标。以右心室壁厚度 0.5 cm 为临界值, >0.5 cm 可诊断右心室壁增厚。右心室壁增厚通常是右心室压力超负荷的结果,也可见于浸润性和肥厚性心肌病中,甚至可见于没有肺动脉高压但左心室壁明显增厚的患者。对于怀疑患有右心室和(或)左心室功能障碍的患者,需要对右心室壁厚度进行测量评估,并在超声检查报告中体现。右心室舒张末期右心室壁厚度测量注意要点(图 6):(1)使用 M 型或二维超声心动图在舒张末期测量;(2)测量切面选择胸骨旁切面或剑突下切面;(3)选择三尖瓣前叶瓣尖水平;(4)尽量将取样线垂直于右心室游离壁;(5)右心室心内膜边界排除右心室小梁和乳头肌;(6)将焦点移动到右心室壁区域并减小深度,改善心内膜边界;(7)为避免测量误差,取样时尽量排除心外膜脂肪;(8)当图像质量允许时,应使用基础成像来避免谐波成像所导致的结构测量厚度增加。

3.2 右心室内径 右心室扩张一般是右心室容量负荷或压力负荷超负荷的结果,也可见于右心功能衰竭。右心室的参考上限为 4.2 cm。在标准心尖四腔心切面时,右心室应该看起来比左心室小,并且不超过左心室大小的 2/3(图 7)。如果右心室大于左心室,则可能右心室显著扩大。这可出现在严重的右心室压力或容量超负荷,需要注意的是,个别患者右心室看起来大于左心室,但测值还在正常参考限度内,此时也应考虑右心室扩大。心尖四腔心切面示意图可发现,尽管左心室的大小及外观均大致相同,但聚焦于右心室的切面(图 7A)和轻微变换角度



注:RA 为右心房;RV 为右心室;LA 为左心房;AO 为主动脉;RVOT 为右心室流出道;PA 为肺动脉;LV 为左心室;MV 为二尖瓣;PM 为乳头肌
 图 2 右心结构短轴切面、示意图及实际应用(A:RV 基底段的胸骨旁短轴切面,显示 RV 前壁基底段、RVOT、三尖瓣、肺动脉瓣及 RA。通常用于舒张期测量 RVOT 内径;在此切面,将超声声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流的相关参数;用于评估房间隔分流,尤其对 AO 根部后方卵圆孔未闭的血流评估更为关键;B:PA 分叉处的胸骨旁短轴切面,用于评估肺动脉瓣,PA 及其分支;用于评估肺动脉瓣环直径与 PA 大小,以及漏斗部、肺动脉瓣及 PA 的多普勒测量;可见 RVOT 近端及远端部分;C:RV 胸骨旁短轴二尖瓣水平切面,在此切面显示 RV 前壁、后壁及侧壁的基底段;新月形的 RV 清晰可见;对于 RV 容量负荷或压力负荷过高时,这是观察室间隔收缩期及舒张期变化的最佳切面;可对 RV 大小进行初始评估,但因 RV 收缩的不对称性,无法评估 RV 的收缩功能;D:RV 胸骨旁短轴乳头肌水平切面,在此切面显示 RV 前壁、后壁及侧壁的中段;新月形的 RV 清晰可见;在 RV 容量负荷或压力负荷过高时,观察室间隔收缩期及舒张期变化的最佳切面;可对 RV 大小进行初始评估,但因 RV 收缩的不对称性,无法评估 RV 的收缩功能)

后的切面(图 7B 至 C)的右心室大小差异很大。患有右心相关心脏疾病或存在肺动脉高压的患者,应在四腔心切面上测量右心室基底、中段直径及右心室长径(图 8),同时评估右心室与左心室的比例,以帮助判断是否存在右心室扩张。聚焦在右心室上的心尖四腔心切面能最大程度显示右心室尺寸,此切面可更好地显示右心室游离壁,还有助于测量右心室面积变化分数。

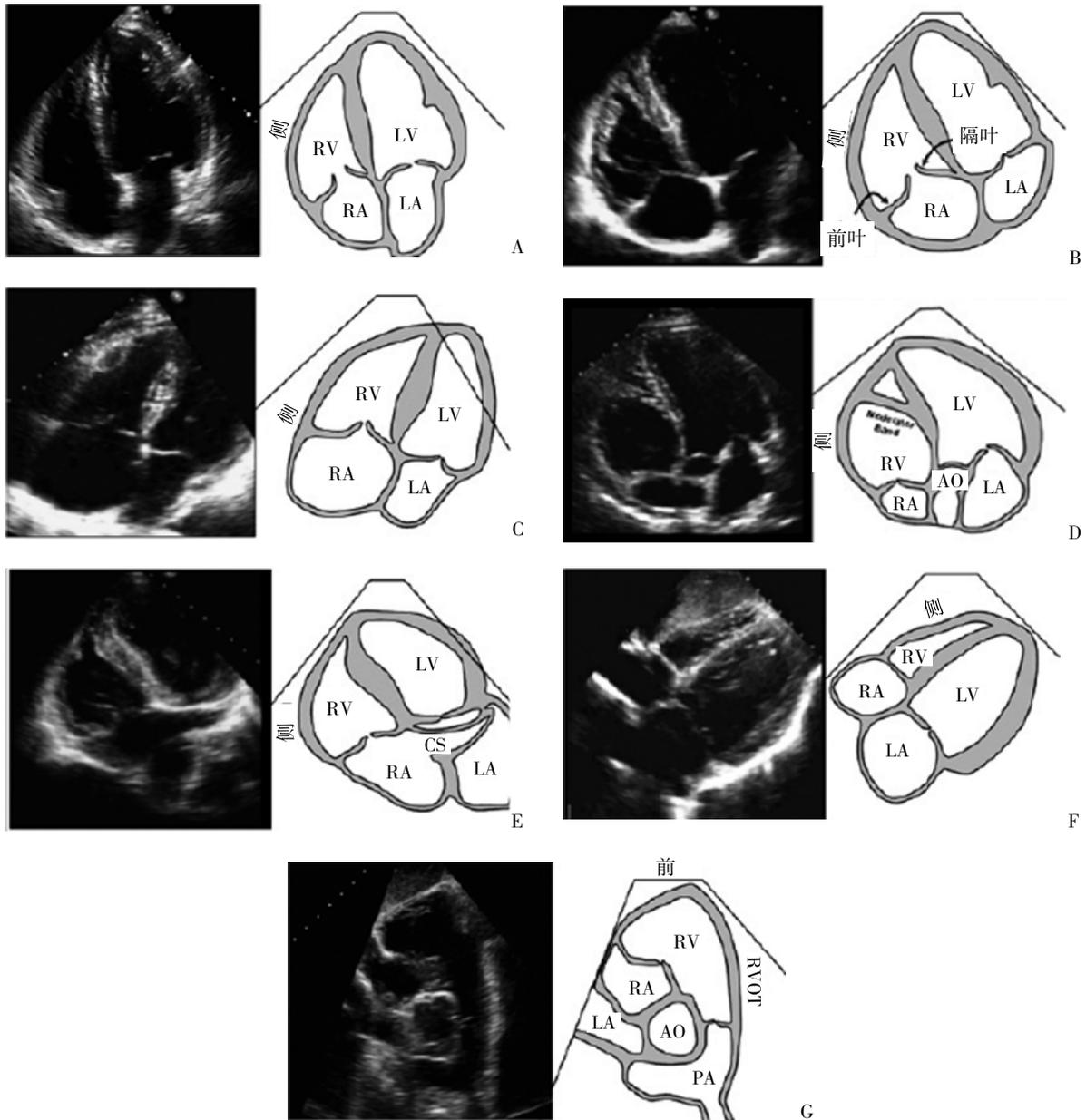
右心室测量注意要点:(1)采用二维超声心动图在舒张末期从心尖四腔心切面对右心室内径测量;(2)优化右心室侧壁的成像,调整超声切面,使右心室成为观察焦点;(3)旋转探头直到获得内径最大的平面,避免低估测量距离;(4)探头必须放置于心尖部,扫查平面穿过左心室心腔的中心;(5)注意不要显示心尖五腔心。

右心室径线测量参数及测量位置:(1)右心室内径需要测量右心室长径及基底段和中间段右心室直径;(2)右心室基底段直径一般在四腔心切面中右心室基底 1/3 处测量,取最大短轴径;(3)右心

室中段直径在左心室乳头肌水平的右心室中间 1/3 处测量;(4)从三尖瓣环的水平右心室顶部测量长轴。需要注意的是,胸廓畸形患者的右心室会扭曲并导致测量错误。右心室测量有高度的操作依赖性,探头旋转不到位可能导致低估右心室宽度。

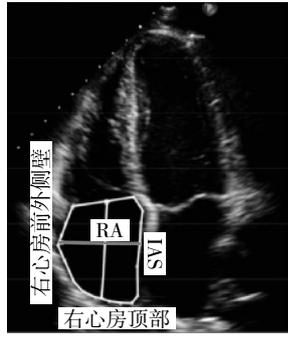
3.3 右心室流出道(right ventricular outflow tract, RVOT) RVOT 包含肺动脉漏斗部(或称为肺动脉圆锥)和肺动脉瓣。观察 RVOT 在一些先天性心脏病或心律失常患者中尤为重要。常规使用经胸超声心动图在胸骨旁长轴及短轴切面扫查,经食管超声心动图可以在食管中段右心室流入道-流出道切面显示 RVOT。

RVOT 扫查注意要点:(1)扫查切面:RVOT 最好从左侧胸骨旁和剑突下切面观察,对于瘦小或肋间隙较大的患者可以从心尖部扫查;(2)测量时相:应在舒张末期(QRS 波群起始处)测量 RVOT 的大小;(3)测量位置见图 9:①在胸骨旁长轴切面测量 RVOT 近端(RVOT-Prox)的一部分(图 9A 中的 RVOT-Prox)。②在胸骨旁短轴切面主动脉壁到主动脉瓣上方的右心室游离壁测量 RVOT-Prox 内径(图



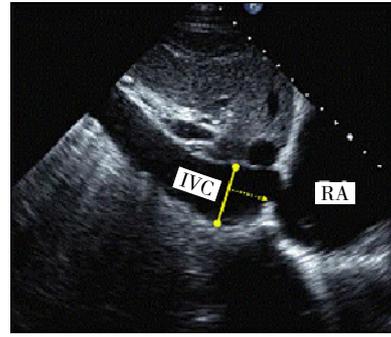
注:LV 为左心室;RV 为右心室;LA 为左心房;AO 为主动脉;RVOT 为右心室流出道;PA 为肺动脉;RA 为右心房;CS 为冠状静脉窦

图 3 右心结构心尖切面、示意图及实际应用(A:心尖四腔心切面,用于评估 RV/RA 大小、形状及功能的重要切面;常在此切面测量 RV 基底段及中间段长径、短径,评估 RV 面积及面积变化分数,RA 长径与短径,RA 面积与体积;亦常以多普勒法评估 RV 流入血流及反流,通过 M 型法评估三尖瓣环位移,通过组织多普勒评估右心室应变;在此切面将声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流的相关参数;B:聚焦于 RV 的心尖四腔心切面,可替代心尖四腔心切面用于测量 RV 基底段短径的推荐切面;RV 游离壁在此切面得到重点显示,故可作为评估 RV/RA 大小、形状及功能的有效切面;在此切面将声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流相关参数;C:改良心尖四腔心切面,该改良切面提供了一部分 RV 侧壁及 RA 斜切面的有效信息;因 RA 在此切面上被缩短并斜切,故不可进行 RA 定量评估,也不能测量 RV 内径;当三尖瓣反流束与声束平行时,可检测 RV 流入血流及三尖瓣反流参数;亦可通过二维法及多普勒法评估房间隔缺损及卵圆孔未闭血流;D:RV 心尖五腔切面,此切面可显示 RV 前侧壁;此切面为观察调节束的最佳切面;在此切面,将超声声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流相关参数;E:冠状窦心尖切面,此切面可显示 RV 后侧壁;此切面为观察 CS 的最佳切面;在此切面,将超声声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流相关参数;F:RV 剑下四腔切面,测量 RV 壁厚度的最佳切面;用于评估 RV/RA 的反向运动或塌陷,以诊断具有心包压塞的患者;可作为通过二维法及多普勒法评估房间隔缺损及卵圆孔未闭血流的最佳切面;虽可见 RV/RA,但因斜切角度及腔室缩小,不可定量评估 RV/RA 大小;在此切面将超声声束置于与三尖瓣反流平行的方向,可检测三尖瓣反流相关参数;G:RV 基底段剑下短轴切面,可见 RV 基底段室壁, RV 流入道, RVOT, 肺动脉瓣, PA 及其分支;可在此切面测量 RVOT 内径;可在此切面进行漏斗部、肺动脉瓣及 PA 的多普勒测量)



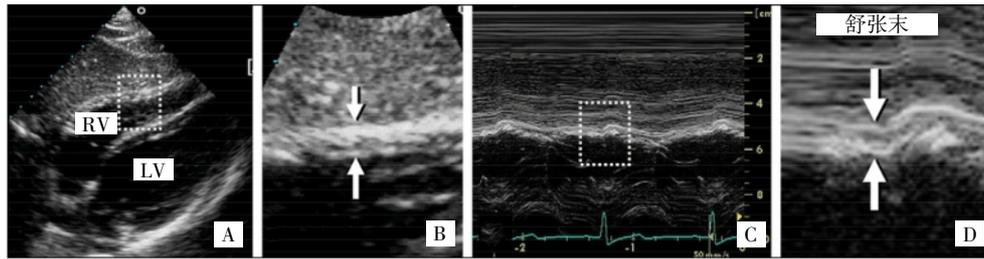
注:RA 为右心房;IAS 为房间隔

图 4 超声心动图心尖四腔心切面(从三尖瓣瓣环平面,沿 IAS、RA 顶部及前外侧壁描记 RA;RA 长径是指从三尖瓣环水平中心到 RA 顶部中心的距离,使用白线表示;RA 短径是指从 RA 前侧壁中部到房间隔的距离,使用灰线表示)



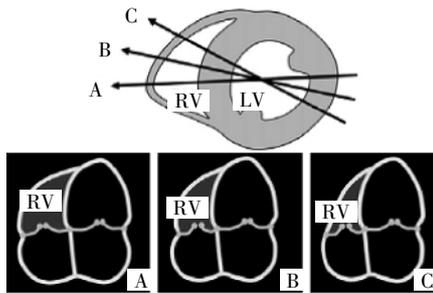
注:IVC 为下腔静脉;RA 为右心房

图 5 超声心动图下腔静脉切面(实线线段表示垂直于 IVC 长轴水平测量的 IVC 内径)



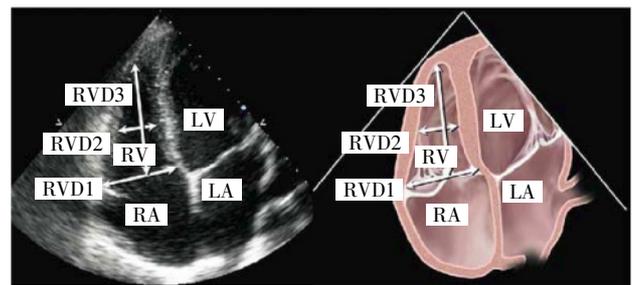
注:RV 为右心室;LV 为左心室

图 6 超声心动图 RV 舒张末期 RV 壁厚度测量(A:剑突下切面 RV 游离壁二维图像;B:选择三尖瓣前叶瓣尖水平区域进行局部放大;C:在图 B 中箭头所示处取 M 型图像;D:对图 C 中所标记区域进行局部放大,其中箭头所示为测量舒张末期 RV 壁厚度)



注:RV 为右心室, LV 为左心室

图 7 心尖四腔心切面示意图(A:聚焦于 RV 的切面;B:轻微变换角度后的切面;C:变换更大角度后的切面)



注:RVD1 为右心室基底横径;RVD2 为右心室中段横径;RVD3 为右心室长径;RV 为右心室;LV 为左心室;RA 为右心房;LA 为左心房

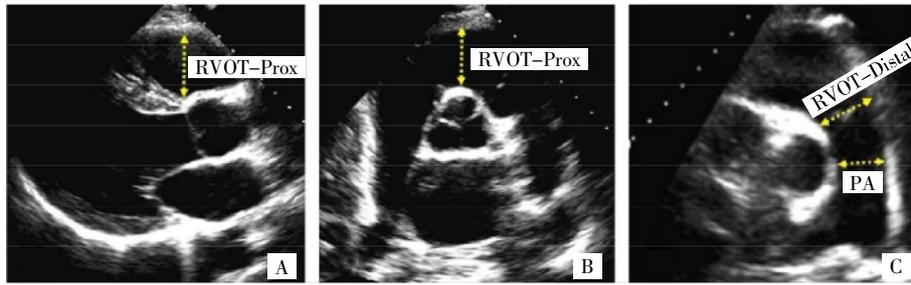
图 8 左侧心尖四腔心切面和右侧相应的心尖四腔心切面示意图

9B 中的 RVOT-Prox); ③在胸骨旁短轴切面右心室漏斗部与肺动脉瓣的连接紧邻肺动脉瓣处测量 RVOT 远端 (RVOT-Distal) 内径 (图 9C 中的 RVOT-Distal)。此处测量重复性高,推荐使用。正常值参考:胸骨旁短轴 RVOT-Distal 内径为 27 mm,胸骨旁长轴 RVOT-Prox 内径为 33 mm。

4 右心室面积变化分数与容积评估^[1-2]

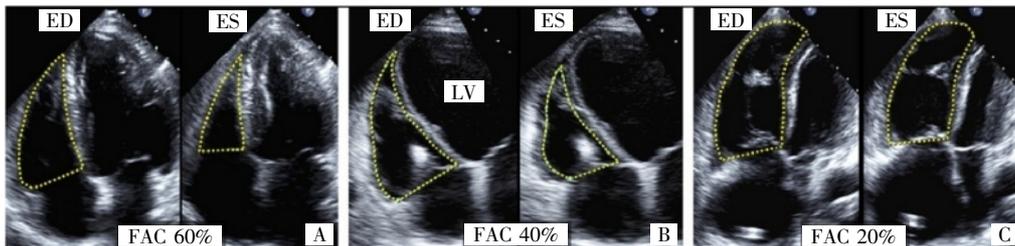
4.1 右心室面积和面积变化分数(fractional area

change, FAC) 右心室 $FAC = (\text{舒张末期面积} - \text{收缩末期面积}) / \text{舒张末期面积} \times 100\%$,该指标能够反映右心室收缩功能,与 MRI 测量的右心室射血分数相关性良好。FAC 可通过勾勒右心室内膜下面积测量,在心尖四腔心切面描记心内膜边界的具体方法为在舒张末期及收缩末期从三尖瓣环水平出发,沿游离壁至心尖,并通过室间隔返回瓣环水平。应将三尖瓣瓣叶及腱索等均包含在心室腔之中,在这一过程中需注意排除肌小梁的影响(图 10)。正常参考



注:RVOT为右心室流出道;RVOT-Prox为RVOT近端;RVOT-Distal为RVOT远端;PA为肺动脉

图9 RVOT内径的测量方法(A:胸骨旁长轴切面显示RVOT-Prox并可评估RVOT形态;B:胸骨旁短轴切面显示RVOT-Prox内径;C:胸骨旁短轴切面显示PA分叉,在右心室漏斗部与肺动脉瓣的连接紧邻肺动脉瓣处测量RVOT-Distal内径,在肺动脉瓣至分叉处之间测量PA内径)



注:ED为舒张末;ES为收缩末;FAC为面积变化分数;LV为左心室

图10 3种不同FAC的超声心动图表现(A:健康受试者,FAC为60%;B:LV显著增大,右心室中度增大,FAC为40%;C:右心室增大,FAC为20%,此切面为聚焦于右心室的心尖四腔心切面,使得此时LV显示偏小)

值:右心室收缩功能正常的下限参考值为35%。

4.2 二维容积和射血分数评估 通过二维超声心动图估测右心室容积和功能因为方法不统一,所采用的几何假设差异很大,故不建议使用二维法估测右心室射血分数。

4.3 三维容积评估 三维超声心动图可精确评估右心室容积。与二维超声比较,三维超声较少低估右心室舒张末和收缩末容积,并提高了检查的可重复性。综合多项小型研究和一项大型研究的数据后发现,校正后的右心室舒张末容积正常高限为89 mL/m²,收缩末容积正常高限为45 mL/m²,女性比男性低10%~15%。右心室射血分数参考值低限为44%。

5 右心室和肺循环的血流动力学评估^[1-4]

肺动脉高压的定义是静息状态下右心导管测量肺动脉平均压>20 mmHg。由于肺动脉高压病因不同以及右心室形态的不规则,没有一个单独的超声心动图指标可以明确肺动脉高压的诊断与病因。而超声心动图的肺动脉压力测量是非常重要的无创估测肺动脉压力法。

5.1 肺动脉收缩压(systolic pulmonary artery pressure, SPAP) 超声心动图检查最常测量和报告的是

SPAP。静息状态下其正常值定义为在假设右心房压为3~5 mmHg时,三尖瓣反流峰值速度≤2.8或2.9 m/s或收缩压峰值为35或36 mmHg。当检测结果达正常上限时,应考虑该检测值可随年龄和体表面积的增大而增加。最近美国心脏病学会基金会(American College of Cardiology Foundation, ACCF)和美国心脏协会(American Heart Association, AHA)发布的关于肺动脉高压的专家共识推荐,对于存在呼吸困难且RVSP>40 mmHg的患者建议做进一步检查。对于先天性心脏病患者SPAP若高于血压的2/3则提示存在重度肺动脉高压。而《2022ESC/ERS肺动脉高压的诊断和管理指南》中提出当测量的三尖瓣反流速度>2.8 m/s时,提示肺动脉高压可能,但不能以此单一指标来确诊肺动脉高压。因为三尖瓣反流会存在低估或者高估的情况,必须结合其他超声指标一起综合考虑。

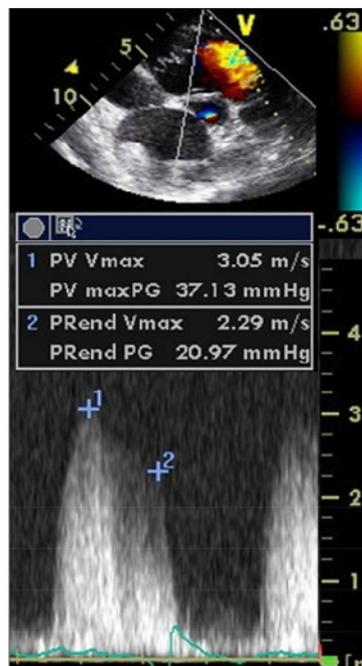
在排除肺动脉及RVOT狭窄的情况下,应用简化的伯努利方程,通过测量三尖瓣反流峰值速度可估测右心房-右心室压力梯度,再加上右心房压即可估测RVSP,具体公式为RVSP=4V²+右心房压(其中V代表三尖瓣反流峰值速度),右心房压可通过下腔静脉内径和吸气末塌陷率来估测。在没有肺动脉瓣跨瓣压差或RVOT压差时,SPAP=RVSP。如

果 RVSP 升高, 应首先排除 RVOT 或肺动脉瓣水平的梗阻, 尤其是先天性心脏病或肺动脉瓣术后的患者。因为简化的伯努利方程忽略了方程中的惯性因素, 故有时可能会低估右心房 - 右心室压力梯度。此外因为反流速度的测量有角度依赖性, 故建议从多个切面采集三尖瓣反流信号并选用最大流速。从技术上讲, 大多数患者都能获得边缘完整的血流信号。因此建议设定多普勒探查的扫查速度为 100 mm/s。如果信号微弱, 可以应用盐水气泡或血 - 盐水混合造影剂增强信号。但不论是否应用对比剂, 均应测量边界清晰且形态完整的频谱以避免高估血流速度。通过右心房 - 右心室压力梯度峰值加右心房压来确定 SPAP 一直被认为是一种可靠的方法。但在某些情况下, 尤其是右心房压增高时, 该方法的准确性也受到了一定质疑。存在重度三尖瓣反流的患者, 因为右心房与右心室压力会迅速达到平衡, 从而无法获得完整的多普勒频谱, 此时简化伯努利方程可能会低估右心房 - 右心室压力梯度。而患者存在肝脏疾病或镰状细胞贫血等高心排状态时, 会存在高估右心房 - 右心室压力梯度的状态。

5.2 运动负荷试验中 SPAP 的测量 正常情况下运动时每搏量增加, 而肺血管阻力降低。运动负荷试验时, SPAP 正常值应低于 43 mmHg。对于运动员及年龄 > 55 岁者, 在峰值负荷运动状态下, SPAP 可高达 55 ~ 60 mmHg。运动状态下引起的肺动脉高压对心血管疾病, 心力衰竭及肺动脉高压等疾病具有临床意义。从病理生理学角度看, 基于血流的基本方程式“ $\text{血流速度} = \text{压差} / \text{阻力}$ ”, 运动导致的压力异常升高, 是源于心输出量异常增大(在运动员人群), 亦或血流正常增加但因肺血管床容量有限而导致阻力升高(如慢性阻塞性肺疾病、先天性心脏病等)。由此可见, 压差(由三尖瓣反流速度估算)与血流(由 RVOT 时间 - 速度积分估算)的比值, 有助于区别压力的增加是与血流增加相关, 还是与阻力增加相关。建议对于无法明确病因的呼吸困难患者, 若静息状态下超声心动图结果正常, 且没有冠状动脉疾病的证据, 有必要行负荷超声心动图检查以检测可能因运动负荷导致的肺动脉高压。对于存在肺动脉高压发病基础的患者也应考虑进行此项检查。首选采用卧位踏车试验估测 SPAP。对于非极限负荷运动量的患者, SPAP 的正常上限是 43 mmHg。对瓣膜性心脏病的患者, 应采用美国心脏病学会及

AHA 所推荐的正常值指导疾病的治疗。

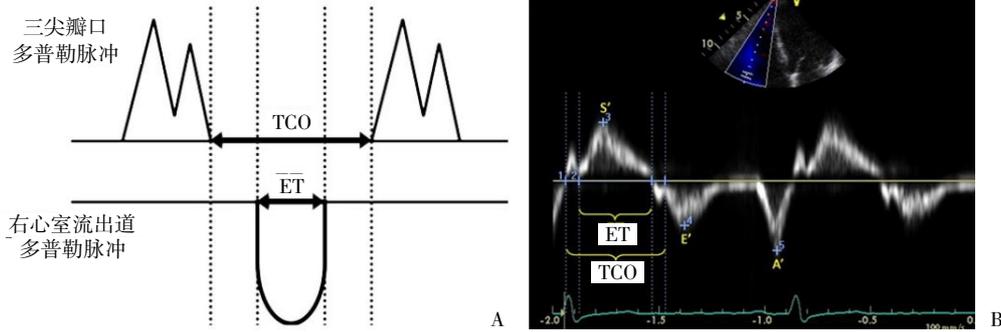
5.3 肺动脉舒张压 可通过测量舒张末期肺动脉瓣反流峰值速度, 应用简化的伯努利方程估算肺动脉舒张压。肺动脉舒张压 = $4 \times (\text{舒张末期肺动脉瓣反流速度})^2 + \text{右心房压}$ (图 11)。



注: PV Vmax 为肺动脉瓣反流最大速度; PV maxPG 为肺动脉瓣反流最大压差; PRend Vmax 为舒张末肺动脉瓣反流速度; PRend PG 为舒张末肺动脉瓣反流压差

图 11 通过肺动脉瓣反流连续多普勒信号评估肺动脉舒张压、平均压[点 1 代表舒张初期的最大肺动脉瓣反流速度, 平均肺动脉压约等于 $4 \times (\text{舒张初肺动脉瓣反流速度})^2 + \text{估测的右心房压}$, 在本例中为 37 mmHg + 右心房压; 点 2 代表舒张末肺动脉瓣反流速度, 肺动脉舒张压约等于 $4 \times (\text{舒张末肺动脉瓣反流速度})^2 + \text{估测的右心房压}$, 在本例中为 21 mmHg + 右心房压; 1 mmHg = 0.133 kPa]

5.4 肺动脉平均压 若已获取 SPAP 与肺动脉舒张压, 则可通过标准公式推算肺动脉平均压: 即肺动脉平均压 = $1/3 \text{ SPAP} + 2/3 \text{ 肺动脉舒张压}$ 。肺动脉平均压也可采用脉冲多普勒测量肺动脉收缩期血流频谱的加速时间(acceleration time, AT)来估算, 即肺动脉平均压 = $79 - (0.45 \times \text{AT})$ 。研究发现对于 $\text{AT} < 120 \text{ ms}$ 的患者, 采用 $90 - (0.62 \times \text{AT})$ 的公式来计算肺动脉平均压更准确。通常当心率在正常范围(60 ~ 100 次 /min)时, AT(测量从心电图 Q 波起始处到肺动脉血流速度达峰值时的时间)越短, 肺动脉压越高。肺动脉平均压也可通过另一公式计算得出(图 12), 即 $4 \times (\text{肺动脉瓣反流早期速度})^2 + \text{右心房压}$ 。



注:TCO 为三尖瓣关闭 - 开放时间;ET 为射血时间;S' 为舒张期达峰速度;E' 为舒张早期达峰速度;A' 为舒张晚期达峰速度;MPI 为心肌工作指数

图 12 右心室心肌工作指数的测量(A:通过脉冲多普勒法测量三尖瓣关闭 - 开放时间即右心室等容收缩期时间、射血时间以及等容舒张期时间之和, $MPI=(TCO-ET)/ET$;B:脉冲组织多普勒法测量 MPI)

在条件允许的情况下应采用多种方法计算肺动脉平均压,以进一步确认不同数据的一致性。建议对大多数受试者而言,很多方法对肺血流动力学的评估均有效。对于所有接受检查的患者,应采用可靠的三尖瓣反流频谱估测并报告 SPAP。推荐计算 SPAP 的方法为采用三尖瓣反流速度,应用简化的伯努利方程估测右心房 - 右心室压力梯度,再加上估测的右心房压(具体方法如前文所述)。对于肺动脉高压或心力衰竭的患者,报告中应包含肺动脉舒张压的检测指标,可采用三尖瓣反流的平均压力梯度或肺动脉瓣反流法计算肺动脉舒张压值。若 $SPAP > 35 \sim 40 \text{ mmHg}$,建议详细检查是否存在肺动脉高压及其他相关的临床信息。

6 右心室收缩功能评估^[1-2]

6.1 右心室心肌工作指数(right ventricular index of myocardial performance, RIMP) 心肌工作指数(myocardial performance index, MPI)又称为 Tei 指数、心肌做功指数,由医学家 Chuwa Tei 首先提出,可同时评估整体的右心室收缩和舒张功能。该指数基于心脏射血期和非射血期的关系设定。其定义为等容时间与射血时间的比值即(等容舒张时间 + 等容收缩时间)/射血时间。

采用脉冲多普勒法测量 RIMP(图 12A),通过脉冲多普勒于 RVOT 测量射血时间,即血流频谱从开始到终止的时间,通过三尖瓣前向血流的脉冲多普勒频谱测量三尖瓣关闭时间(从 A 峰终止到 E 峰开始的时间)或通过连续多普勒测量三尖瓣反流频谱,进而获取三尖瓣关闭时间(反流频谱从开始到终止的时间)。因上述指标采用不同切面测量,为确

保 RIMP 的准确性,应尽可能取相近的 RR 间期测量。脉冲多普勒法测量 MPI 参考值上限为 0.40。

采用组织多普勒法测量 RIMP(图 12B),组织多普勒法是将脉冲取样线通过三尖瓣环在一个心动周期内测量所有的时间间期。组织多普勒测量 MPI 参考值上限为 0.55。MPI 优势在于其适用于大多数人群,不论有无三尖瓣反流均表现出良好的可重复性,且避免了各种几何假设和复杂的右心室形态的限制。脉冲组织多普勒法不仅可测量 MPI,还可同时测量 S'、E' 和 A' 值,且所有数值均可从单一心动周期内的频谱图像中获得。劣势是在右心房压力升高时(如右心室梗死),右心房与右心室之间的压力迅速达到平衡,等容舒张时间缩短,从而低估 MPI,因此测得的 MPI 不可靠。此外,在不同的 RR 间期内所测量的右心室射血分数和三尖瓣反流时间有所不同,如心房颤动时测量的 MPI 并不可靠,因此心率不规则时不能采用此方法。此外受负荷状态的影响,右心房压力升高时测量结果也不可靠,不建议单独将 MPI 作为评估右心室功能的方法。正常参考值:右心室 MPI 上限,脉冲多普勒法为 0.40,组织多普勒法为 0.55。

6.2 三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE) 正常超声心动图中,右心室游离壁基底段收缩期的运动最显著。TAPSE 用于测量标准心尖四腔心切面右心室瓣环于收缩期沿纵向平面移动的距离。通常将 M 型取样线置于三尖瓣环,测量瓣环在收缩达峰时的纵向位移获取 TAPSE(图 13),TAPSE 可代表右心室纵向收缩功能,收缩期基底段运动幅度越大,右心室收缩功能越好。这种方法准确性的前提是心尖四腔心切面基

底段及邻近节段的位移能够代表整个右心室功能。某些疾病状态下或存在右心室节段性室壁运动异常时, TAPSE 准确性会降低。TAPSE 的优势是测量简单, 对图像质量依赖少, 可重复性好, 不需要高档设备及长时间的图像分析, 应常规用于评估右心室功能。右心室收缩功能受损的下限参考值为 16 mm。这种方法的劣势是 TAPSE 的准确性建立在能应用单一节段位移来代表复杂三维结构功能的假设前提下, 加之测量有角度依赖性, 且缺乏大规模研究确认其有效性。此外, TAPSE 可能是一种负荷依赖性的检测方法。



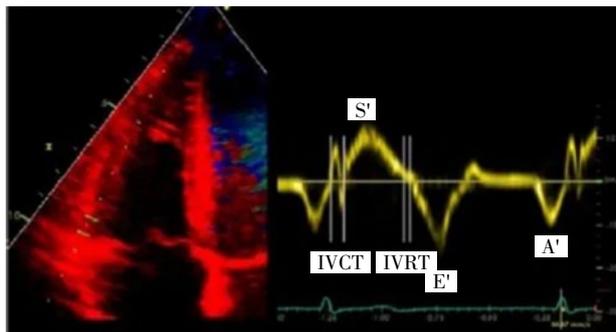
注: V 为探头标记; TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移

图 13 TAPSE 测量方法 (于心尖四腔心切面将 M 型取样线置于三尖瓣环, 测量瓣环在收缩达峰时纵向位移)

6.3 组织多普勒显像 右心室收缩期速度 S' 组织多普勒取样容量置于右心室三尖瓣环或右心室游离壁基底段中部, 可测量收缩期达峰速度 S'。S' 呈角度依赖性, 右心室游离壁基底段 S' 反映右心室整体收缩功能。S' ≥ 9.5 cm/s 表示右心室长轴收缩功能正常; 等容舒张时间 > 73 ms 可能表明右心室充盈受损。对年轻患者尤为适用, 而老年患者缺乏相关研究资料。

S' 测量方法: (1) 选择标准心尖四腔心切面; (2) 使用聚焦右心的图像, 关注右心房及右心室; (3) 取样线与瓣环运动方向平行; (4) 将脉冲多普勒取样容积放在三尖瓣侧壁瓣环上; (5) 打开组织多普勒和脉冲多普勒; (6) 调整扫描速度拉长波形; (7) 识别基线上方的最大收缩速度 S'; (8) 利用增益调节优化图像, 减少声噪以减少背景杂波干扰; (9) 观察多个心动周期寻找一致连续的信号, 以便精确测量。S' 测量的局限性: (1) 具有角度依赖性; (2) 不能完全代表整个右心室功能; (3) 多普勒取样容积不平行于瓣环运动方向时右心室功能容易被低估。

正常参考值: 随着 ASE 指南更新, S' 的参考值同样有小变动。目前没有根据 S' 进行轻重程度分级的界值, S' < 9.5 cm/s 被认为是提示右心室功能障碍的指标, 见图 14。值得注意的是, 应认识到 TAPSE 和 S' 具有一致性, 当测得一个异常的 TAPSE 值, 需要同时测量 S' 并得到异常结果才能明确。



注: S' 为收缩期达峰速度; IVCT 为等容收缩时间; IVRT 为等容舒张时间; E' 为舒张早期达峰速度; A' 为舒张晚期达峰速度

图 14 聚焦于右心室的心尖四腔心切面测量右心室游离壁 S'

7 右心室舒张功能评估^[1-2]

与左心室舒张功能比较, 右心室舒张功能评估的指南相对较少。但是目前很多研究已经表明, 许多疾病与右心室舒张功能相关, 例如先天性心脏病、心肌病、心脏瓣膜病和全身性疾病。

右心室的舒张从肺动脉瓣关闭开始, 之后是右心室等容舒张, 随后三尖瓣开放, 右心室充盈开始。与左心室充盈类似, 右心室充盈包括等容舒张期、充盈期及心房收缩期。当右心室压力高于右心房压力, 三尖瓣关闭标志着右心室舒张期结束。右心室舒张功能的超声心动图评估包括 4 个部分: (1) 二维形态学评估右心及下腔静脉: 右心充盈压显著升高时通常右心房及右心室内径、下腔静脉内径及吸气塌陷率、右心室厚度均有可能出现异常的表现; (2) 三尖瓣血流多普勒频谱: 测量 E 峰、A 峰、E/A 值及 E 峰减速时间。准确测量经过三尖瓣血流频谱, 需要使多普勒声速方向与右心室流入道平行。适当将探头移向左侧胸骨旁靠下的位置可能更容易达到准确位置。测量应在患者呼气末时取样或取 > 5 个连续心动周期的平均值。三尖瓣重度反流和心房颤动会影响频谱的测量; (3) 三尖瓣外侧瓣环的组织多普勒: 测量右心室等容舒张时间、E'、A', 可以计算 E/E'、E'/A'、RIMP 和 MPI, 与三尖瓣血流多普勒比较, 右心室组

织多普勒受容量负荷影响更小；(4) 肝静脉脉冲多普勒：肝静脉血流评估类似于左心室舒张功能中肺静脉血流评估。在剑突下切面测量肝静脉血流频谱，因其受呼吸影响较大，故需取 5 个心动周期平均值。肝静脉主要波形为：收缩波(S 波)、收缩反转波(SR 波)、舒张波(D 波)、心房反转波(A 波)。S 波较大，产生于右心室收缩时下腔静脉血流快速充盈进入右心房。收缩晚期可见小的 SR 波，但在右心压力正常时常难以辨认。低速的 D 波在 SR 波之后，代表舒张期右心房血流进入右心室。舒张末期可见小的 AR 波，是右心房收缩时血流反流回肝静脉所产生。右心室充盈受损表现为舒张期血流占优势(S/D

逆转)和逆转波流速增快，尤其是吸气时。另外，肺动脉舒张晚期前向血流（将脉冲多普勒取样容积置于肺动脉瓣和分叉的中间测量）是“限制性充盈”的特征性表现，此种表现主要见于法洛四联术后患者，是由右心室舒张末期压力升高使肺动脉瓣持续开放，右心房收缩的 A 波传入肺动脉所致。

与左心室舒张功能评估一样，右心室舒张功能评估不能靠单一指标判断，应从二维、频谱多普勒、组织多普勒等多角度，整合数据综合评估。目前没有严格的右心室舒张功能障碍分级，需要超声医生根据不同情况分辨右心室舒张功能正常或异常(表 1)。

表 1 多种指标评估右心室舒张功能状态

正常	二维	异常	限制性充盈障碍
$\leq 11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$	右心房面积指数	$> 11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$	-
$\leq 5 \text{ mm}$	右心室壁厚度	$> 5 \text{ mm}$	-
$\leq 21 \text{ mm}, \geq 50\%$	下腔静脉内径及呼吸塌陷率	$> 21 \text{ mm}, < 50\%$	-
剑突下频谱			
$0.8 \sim 2.1^a$	E/A	< 0.8	> 2.1
$120 \sim 229^a \text{ ms}$	EDT	$> 229 \text{ ms}$	< 120
-	肺动脉心房波	-	出现
-	组织多普勒	-	-
≥ 1	E'/A'	< 1	-
≤ 6	E/E'	< 6	-
$\leq 73 \text{ ms}$ (或不可见)	IVTR	$> 73 \text{ ms}$	-
肝静脉血流频谱			
≥ 1	S/D	< 1	-
≥ 55	$S/(S+D) \times 100$	< 55	-
-	吸气逆转	-	出现

注：E 为三尖瓣口舒张早期血流速度；A 为三尖瓣口舒张晚期血流速度；EDT 为 E 峰减速时间；E' 为三尖瓣瓣环舒张早期组织速度；A' 为三尖瓣瓣环舒张晚期组织速度；IVTR 为等容舒张时间；S 为肝静脉收缩波；D 为肝静脉舒张波；^a若其他指标评估为右心室充盈障碍时，此值可能出现假性正常

主要执笔者：倪显达(温州医科大学附属第一医院超声科)、乔优(浙江大学医学院附属第一医院心血管超声中心)、王戏丹(金华市中心医院超声医学科)、赵敏(浙江大学医学院附属杭州市第一人民医院超声影像科)、张盼(绍兴市人民医院超声科)、夏向阳(浙江大学医学院附属第二医院心脏超声中心)、张敏霞(嘉兴市第一医院超声科)、贺琴(温州医科大学附属第二医院超声影像科)、王钊(宁波市

第一医院超声医学科)、张贺彬(杭州师范大学附属医院超声医学科)、胡晚育(浙江大学医学院附属邵逸夫医院超声医学科)、廖书生(温州医科大学附属第一医院超声科)、郑哲岚(浙江大学医学院附属第一医院心血管超声中心)

未完待续。

(本文由浙江省医学会推荐)

(收稿日期:2022-11-28)

(本文编辑:杨丽)