

应用超声心动图作为成人治疗干预中监护手段的指南

来自美国超声心动图协会的报告

Thomas R. Porter, MD, FASE (主席), Sasha K. Shillcutt, MD, FASE, Mark S. Adams, RDCS, FASE, Georges Desjardins, MD, FASE, Kathryn E. Glas, MD, MBA, FASE, Joan J. Olson, BS, RDCS, RVT, FASE, Richard W. Troughton, MD, PhD, *Omaha, Nebraska; Boston, Massachusetts; Salt Lake City, Utah; Atlanta, Georgia; Christchurch, New Zealand*

中文翻译: 黄国倩 复旦大学华山医院

中文校对: 张坚 杜克大学医院心脏诊断部

(J Am Soc Echocardiogr 2015;28:40-56.)

关键词: 超声心动图, 监护, 治疗, 多普勒

目录

总论 40

工作范围 41

I 超声心动图血流动力学监护工具 41

 二维超声心动图监测参数 42

 LV 腔内径 42

 下腔静脉 (IVC) 大小和塌陷性 43

 多普勒监测参数 43

 跨二尖瓣左心室充盈血流 43

 TDI 43

 计算得到的监测参数 44

 SV, 心输出量 (CO) 及 SVR 的计算 44

 RV 收缩功能 44

 PA 收缩压 45

II 超声心动图作为监护工具的优势, 不足及推荐建议 45

III 临床场景 45

 急性 CHF 监护 45

危重症监护	47
心包填塞监护	48
肺栓塞治疗中的监护	48
人工瓣血栓形成的监护	48
创伤中的超声心动图监护	48
IV 围手术期医疗	49
肝脏，肾脏和肺移植中的超声心动图监护	49
大血管手术	50
矫形和脊柱手术	52
神经外科手术	
V 监测参数发生变化何时是有意义的？	52
VI 关于培训以及使用超声心动图作为监护工具的结论	52
注意事项和免责声明	53
致谢	53
补充资料	53
参考文献	54

缩略语

ASE=美国超声心动图协会

CO=心输出量

DT=（E 峰）减速时间

FAC=面积变化分数

4C=四腔

IVC=下腔静脉

LA=左心房

LAP=左心房压

LAX=长轴

LV=左心室

LVAD=左心室辅助设施

LVIDD=左心室舒张末内径

LVIDS=左心室收缩末内径

LVOT=左心室流出道

ME=食道中段

MV=二尖瓣

PA=肺动脉

PW=脉冲波

RAP=右心房压

RV=右心室

RVIDD=右心室舒张期内径

RVOT=右心室流出道

SAX=短轴

SVR=体循环血管阻力

TAPSE=三尖瓣瓣环平面收缩期位移

TDI=组织多普勒成像术

TEE=经食道超声心动图

TTE=经胸超声心动图

2D=二维

VTI=速度时间积分

总论

近期颁布的指南为评价舒张功能、腔室内径、右心室(right ventricular, RV)功能、以及多普勒测量等特殊的超声心动图诊断标准提供了详尽的指导。同时,有关基础和高级围手术期经食道超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)应用范围的指南,以及有针对性的心脏超声检查的指南也已颁布。然而,经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)和 TEE 越来越多的被用于监测危重患者的血流动力学改变以及指导治疗。病例报道、观察性研究、及文献综述都展现出超声心动图在对药物及外科手术患者的治疗和临床决策中的潜力。目前,重症监护医生、创伤科医生、心血管医生以及麻醉师均使用 TTE 和 TEE 对危及生命的疾病患者,例如患有败血症、呼吸衰竭、充血性心力衰竭(congestive heart failure, CHF)、休克、创伤,以及对有严重的呼吸或心脏疾病需要进行非心脏手术或高风险非心脏诊疗操作的患者进行血流动力学的评估¹⁻¹⁰。超声心动图监护采用递增(RAMP)试验和撤离流程来优化和引导撤除左心室(left ventricular, LV)辅助设备(LV assist device, LVAD)^{11,12}。超声心动图对临床诊断,决策以及处理的影响引起了管理层对其在不稳定患者和非心脏手术患者中的潜在应用价值的关注。美国超声心动图协会(American Society of Echocardiography, ASE)近期颁布的关于有针对性的心脏超声¹³,以及标准化的基础围手术期经食道超声心动图检查⁸的专家共识,导致了制定有关何时以及如何使用超声心动图作为定量监护工具的指南的需求。根据定义,我们建议可将超声心动图作为一种监护手段,在继诊断评价之后,可以重复地对同一患者在数分钟、数小时、或数天内对血流动力学或解剖学的变化进行检测以指导治疗。本文覆盖了所有心脏超声可作为心脏或非心脏治疗干预中监护手段的领域,不管是补液、心包积液监护、LVAD 病例的递增或撤离程序,还是围手术期的处理。

工作范围

美国麻醉医师协会以及心血管麻醉医师协会 2010 年颁布的多学科指南推荐对非心脏手术患者经干预治疗后仍持续表现为低血压和低氧血症(B2 和 B3 证据级别)进行 TEE 检查¹。已有临床资料支持在重症监护室或急诊室,对血流

动力学状态不稳定，或者需要非侵袭性血流动力学监护的成人患者使用 TEE 或 TTE^{9, 10}；然而对这类人群使用超声心动图的发病率、死亡率以及性价比仍缺乏前瞻性随机临床试验。由于对血流动力学衰竭的患者开展随机临床试验受到伦理及合理性的限制，因此专家意见对诊断标准和指南具有重要的影响。虽然专家意见和大量的文献支持将超声心动图作为指导治疗危重患者的工具，但用以明确何时以及如何使用超声心动图来指导药物及手术治疗的标准的指南尚未颁布³。本文对各种特定的临床情况下支持使用超声心动图作为监护手段的文献进行了总结；首先对特异性的参数进行讨论，接下来的是关于它们在特定临床场景下的应用指南。

I 超声心动图血流动力学监测工具

超声心动图可以无创地评估及追踪 RV 和 LV 的血流动力学状态^{14, 15}。在以下章节中，我们将讨论基于超声心动图的，可用于连续观测医疗干预（如补液或药物治疗）反应的血流动力学监测指标。

超声心动图可用于处理心衰或组织低灌注风险的危重患者在补液过程中的反应¹⁶⁻¹⁸。传统的监护手段，比如中心静脉导管或肺动脉（pulmonary artery, PA）导管，未被证实可提高生存率或降低住院时间¹⁹。用 PA 导管估测左心房（left atrial, LA）压力（LA pressure, LAP）时可能会导致 PA 破裂。该方法通常在床旁用生理盐水充盈的传感器进行标测，波型伪像、波幅减低以及气道压力都会导致其评估 LV 充盈压不够精确，尤其是机械通气的患者^{19, 20}。此外，PA 导管和中心静脉导管均不能精确评估 LV 舒张功能异常，而该指标可较好的预测住院患者的死亡率²¹⁻²⁵。超声心动图具有无创测量左心室充盈压的能力，可对兼具收缩性和舒张性心衰风险的住院患者进行容量评估¹⁷。系列评估二维（two-dimensional, 2D）和多普勒参数可以监测搏出量（stroke volume, SV）和整体的容量状态。近来许多研究证实了对手术患者进行针对性的补液治疗的收益²⁶⁻³⁰。在这种情况下，2D 超声及多普勒可以测量团注液体或给予利尿剂后的 SV 的变化，同时还可运用跨二尖瓣血流和组织多普勒（tissue Doppler imaging, TDI）测量 LAP，运用腔静脉对呼吸动态改变测量右心房压力（right atrial pressure, RAP）。在这种情况下超声心动图的局限性在于不能持续进行

监测，需要十分小心取样容积的放置位置。目前的指南建议采用特异性的指标来检测压力升高或正常，而不是确定的数值¹⁵。在收缩性心衰严重失代偿的情况下，进行系列的TDI测量监测充盈压可能不够精确¹⁶。因此，针对收缩或舒张性心衰患者LAP的监测将采取不同的推荐建议（表1^{31,32}）。

2D 超声心动图监测参数：

LV 腔内径. 在针对性的评价容量状态的检查中，连续测量心腔内径可以估计心室的充盈。舒张末期左室内径(LV internal diameter at end-diastole, LVIDD) 变小提示容量不足；注意不要把较小的收缩末期LV内径(LV internal diameter at end-systole, LVIDS) 误认为低容量。最好在舒张末期对低血容量进行监测，因为LVIDS减低可以解释为体循环血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)降低，收缩增强，或心室充盈不足所致。容量不足时，LVIDD和LVIDS均降低，而SVR降低时，LVIDD正常，LVIDS降低。在监测补液反应时可同时连续测量RV和LV内径。测量需在相同的超声切面进行，并进行系列比对。LV径线(LVIDD和LVIDS)可在经胸超声胸骨旁短轴(SAX)或长轴(LAX)切面通过二维线性测量或M型成像技术，在二尖瓣(mitral valve, MV)环远端1cm的瓣尖处测量LV径线³³。类似的测量也可在TEE的食道中段(midesophageal, ME)两腔心切面上的MV瓣尖处二维测量，或者由M型成像术在经胃的LV SAX切面的乳头肌中段水平获得。SAX或LAX均可以测量LVIDD和LVIDS，而且经胃的乳头肌中段的LV SAX还是监测三支心外膜下冠脉任意一支病变所导致的节段性室壁运动功能异常的重要切面⁸；由于LAX较少出现不恰当的对线，所以，更倾向采用LAX切面来检测径线和缩短分数。LVIDD的参考值为女性3.9-5.3cm，男性4.2-5.9cm³³。

下腔静脉 (Inferior Vena Cava, IVC) 大小和塌陷性. 同时测量IVC的内径和塌陷性可以估测RAP，识别容量不足的患者。运用2D或M型测量IVC参数可以评价患者对补液的反应²⁹⁻³¹。容量正常者吸气时，自发的呼吸可导致胸腔负压，IVC内径缩小；容量不足患者吸气时IVC塌陷会加强³²。休克患者常规测量IVC的内径和呼吸时的塌陷反应能可靠地指导补液处理决策³⁰。经胸超声剑下声窗从剑下四腔(four-chamber, 4C)切面向左旋转探头及调整角度，可以观察IVC的矢状面。M型超声的高帧频可以测量呼吸周期中的内径改变(图1)。

要注意确保呼吸时 IVC 不会逸出成像平面导致“假性塌陷”。由于吸气诱导静脉回流减少，正压机械通气的患者不会出现 IVC 塌陷，这种情况下不应采用此方法监测 RAP³¹。尽管单独一次的 IVC 塌陷性测量已被用于预测输液治疗反应，支持采用连续 IVC 塌陷性测量来指导补液的数据却很少。透析后体重降低 2Kg，IVC 的塌陷指数的改变可以大于 10%。这种情况下，塌陷指数预测血液透析相关不良反应要优于干体重指标³²。运用 IVC 塌陷指数估测 RAP 值可参见表 1（源自运用超声心动图评价成人右心的指南³¹）。

多普勒监测参数

跨二尖瓣左心室充盈血流。 二尖瓣血流速率，不论是舒张早期速率（E 峰）还是舒张晚期速率（A 峰），通常被用于确定舒张功能异常的类型，同时也可用于连续监测 LAP。二尖瓣 E 波受舒张早期 LA-LV 压力阶差影响，因而依赖于前负荷。二尖瓣 A 波反映了舒张晚期 LA-LV 压力阶差，因此受到 LV 舒张功能和 LA 顺应性的影响。二尖瓣血流速率（E 波，A 波，DT，及 E/A 比值）可以运用 PW 多普勒在 TTE 的心尖 4C 切面或者 TEE 的 ME 4C 切面测量（图 2）。取样容积置于舒张期二尖瓣环远端 1cm 处或二尖瓣尖部，大小 1-3mm¹⁵。二尖瓣血流参数在舒张功能分类中的详细说明已在 ASE 的 LV 舒张功能指南中描述¹⁵。指南的写作组推荐在监测充盈压变化或舒张功能时，应联合使用 E 波和 A 波速率以及瓣环速率。图 2 显示了组织多普勒测量 e' 以及测量经二尖瓣 E 和 A 波速率时推荐的取样容积位点。尽管在某些情况下¹⁴，可以采取 TEE 测量肺静脉收缩期充盈分数来监测 LAP，但正常和异常充盈压的特定分界值尚未明确，用 TTE 监测 LV 充盈压的可行性尚未得到证实⁴。

TDI。 PW TDI 是反映 LV 舒张功能的敏感的指标。TDI 可测量呼气末时的收缩期和舒张期的二尖瓣环速率。TDI 用于测量 e'，即二尖瓣环舒张早期速率。研究表明，e' 联同二尖瓣血流和肺静脉血流速率与其他舒张功能指标相比，较少受到负荷的影响¹⁵。收缩功能正常时，E/e' 能可靠地估测 LAP（表 1），其中 E 是二尖瓣舒张早期血流速率。因此，连续测量 E/e' 是实用且可靠的指标，可用于动态观测 LAP，指导对有心衰风险的门诊及住院患者的输液治疗⁴。测量 e' 最好在 TEE 上的 ME 4C 或 TTE 的心尖 4C 切面测量，这些切面上多普勒声束和二尖瓣环的侧壁和室间隔（或内侧）夹角最小（图 2）。TEE 测量的室间隔 e' 不

等同于 TTE 的测值，是因为 TEE 与 TTE 在 4C 的声束与组织运动方向不可能完全一致，因此，要注意将声束与二尖瓣环运动方向的夹角控制在 20° 以内。速率标尺设定在基线上下 20cm/s。应同时测量室间隔和侧壁的 TDI 速度，取两者均值计算 E/e'¹⁴。尽管均值可以估测整体的 LAP，但对于连续测量 LAP，单独采取内侧的 e' 可能更好⁴。另一方面，当存在室间隔运动异常或 RV 功能异常时，室间隔二尖瓣环 e' 不再能精确地反映 LV 舒张功能¹⁵。

计算得到的监测参数

射血容积 (SV), 心输出量 (Cardiac Output, CO), 和体循环血管阻力 (SVR) 的计算。 运用 PW 多普勒可方便地测量出 RV 和 LV 的 SV³⁴。使用 TTE 或 TEE 都可以可靠地获得这些测值。评估 CO 对于确定药物和手术疗效非常重要，比如给予正性肌力药物治疗右心衰或左心衰^{5,34}。运用 PW 多普勒计算经过某一位点（比如 RV 流出道 [RVOT] 或左室流出道 [LVOT]）的 SV 需要测量两个变量：(1) 速度-时间积分 (VTI) 或射血距离，及 (2) 该位点的横截面积（运用 RVOT 或 LVOT 的内径）³⁵。那么

$$\text{射血容积 (或流率)} = \text{横截面积 (cm}^2\text{)} \times \text{VTI (cm)}$$

因为 $CO = SV \times \text{心率}$ ，因此给药前后可连续对左心和右心的 CO 进行无创性的测量。临床实践中，RV SV 通常由胸骨旁 SAX 切面测量计算，在此切面上可用 PW 多普勒采集 RVOT VTI (cm)。由于测量 RVOT 内径比较困难，因此推荐 RVOT VTI 作为监测 RV SV 的指标。LV SV 通常在 TTE 的心尖五腔或 LAX 切面获得。TEE 上采用经胃体深部的 LAX 切面，这时 PW 多普勒的取样容积放置于 LVOT。（在监测人工瓣溶栓时）应在此部位用连续波多普勒测量跨主动脉瓣的压差。基础状态下 LVOT 内径的最佳测定切面为 ME LAX。LVOT 内径可用于计算面积，联合 LVOT VTI 和心率即可计算出 SV 和 CO。使用 IVC 塌陷指数可估测 RAP，上臂血压测值可测量平均动脉压，SVR (Wood 单位) 可如下计算获得：

$$SVR = \text{MAP-RAP (mm Hg)} / \text{CO (L/min)}$$

将此转化为传统的 SVR 单位 (达因·秒/cm⁵) 时，需要乘以 80。超声心动图测量 LVOT 的 SV, CO 和 VTI 的局限性在于所有的测值都需要保证声束与 LVOT 角度尽量平行，而且取样容积必须紧邻主动脉瓣下。另一个更严重的局限是测量 LVOT 内径更易出现较大的测量误差，专业委员会推荐假设 LVOT 的内径为常数，

而单独对射血距离（即 LVOT 和 RVOT 的 VTI）进行连续监测。

RV 收缩功能. 超声心动图床旁评价右心功能对于处理右心衰至关重要。在 ICU 患者中，右心衰是常见且严重的诊断⁵。由于 RV 的收缩弹性较低，因此 RV 对于后负荷较 LV 更加敏感⁵。多个参数可以完成简单而无创性的 RV 功能测量（表 1）。三尖瓣环平面的收缩期位移（tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE）和其他 RV 功能指标相比更少依赖于前负荷，对于患者采用 TTE 和 TEE 均可进行^{36,37}。TAPSE 和 RV s' 可在 TTE 的心尖 4C 切面，或是 TEE 的 ME 4C 切面或经胃切面进行测量。对于 TAPSE，可采用 M 型成像，将取样线通过三尖瓣的外侧瓣环，测量收缩期瓣环的纵向运动距离。必须采用纵向对位较理想的切面。TAPSE 测值 <16mm，或者 s' <10 cm/s，对 RV 功能异常具有高度特异性，两者均可用于连续监测 RV 的收缩功能。可在 TTE 心尖 4C 切面以及 TEE 的 ME 4C 切面常规测量 RV 舒张期内径（RV internal diameter in diastole, RVIDD）和面积变化分数（fractional area change, FAC）。RVIDD 以及 RVIDD/LVIDD 的比值应该在标准 4C 切面上 RV 最宽的位点测量³¹。尽管长轴应变的正常值和异常值尚有待确定，这一指标已被用于肺高压患者治疗干预过程中监测 RV 收缩功能。

PA 收缩压. 除了动态定量测量 RV 功能，肺动脉压力也可以通过改良伯努利方程（ $4V^2$ ）计算 RV-RA 压力阶差来估算。将三尖瓣返流峰值速率作为 V，就可以计算 RV-RA 压差³⁵。RAP 可以通过测量 IVC 内径和塌陷率来测定，PA 收缩压可以通过 RAP+ RV-RA 压差来估测，其中 RV-RA 压差 = $4 \times$ （三尖瓣返流峰值速率的平方）。三尖瓣返流峰值速率可以采用连续波多普勒测量，取样线平行于返流束的方向。测量可以在 TTE 的心尖 4C 切面，胸骨旁 SAX 切面，或 RV 流入道切面进行。在 TEE 上经三尖瓣的多普勒最佳测量切面是 ME 4C 切面或 RV 流入道切面，调整探头角度使得多普勒取样线平行于彩色多普勒返流束。按照目前的指南³⁹，另一个有用的多普勒对位良好的经食道切面是旋转角度为 130° 至 145°，获得心尖 LAX 切面，然后顺时针旋转探头显示三尖瓣返流束。尽管 TTE 和 TEE 上的多个切面均可获得测值，然而，在进行系列测量时，应采用获得的最高速率信号值（这时声束和返流束最平行）。

II. 超声心动图作为监护工具的优势，不足和推荐意见

病员监护目前绝大多数被用于重症及术中环境下，包括连续观测生命体征、氧饱和度、潮气末二氧化碳监测、以及偶尔 PA 置管。采用超声心动图进行监护是一个新出现的概念，涉及到不同的领域，包括心内科、急诊、麻醉、以及重症监护。随着超声日趋便携化，运用超声心动图技术进行监护将更大程度的用于患者临床治疗决策。尽管在许多特殊领域中超声心动图监护已被证实有效，但这一技术明显依赖于操作者，需要对整个部门的所有超声医师实行不间断的质量改进措施，以确保多普勒和解剖测量指标遵循现行颁布的技术指南。其次，这一文件中的数据大部分来自于单个中心的经验，并未经过前瞻性研究的严格评估来检验超声监护是否会导致患者的转归不同。写作组提供了一个“数据支持的分级”，用以显示在所建议的每一项临床情境下有效地进行超声监护(表2)。值得注意的是，对于创伤，尽管有大量的综述提示超声监护是有用的，但目前尚无临床对比研究发表。

III 临床场景

专家意见支持首选 TTE 来指导特殊临床情况下患者的处理，包括监护补液治疗或快速评估药物干预效果。这些列举在表 3。除了专家意见，写作小组并未发现正式的临床研究将败血症、呼吸衰竭，及创伤情况下的超声心动图多普勒监护参数和其他监测方法进行比较。CHF、肺栓塞以及心包填塞情况下的监护将单独讨论。

急性 CHF 的监护

心衰时，多普勒最主要的应用是评价治疗干预的效果，而这些治疗措施会最终被用于长期的处理。经二尖瓣的 E 波和 A 波速率比值，联合 E 波减速时间 (DT) 被用于评价硝普钠 (nitroprusside) 和卡维地洛 (carvedilol) 的疗效，以及预后评估⁴⁰。心衰且射血分数 (ejection fraction, EF) 降低的患者，如果 E/A 比值 >1，同时 EDTS < 130 ms，且硝普钠滴注后这些参数没有逆转，则预后极差。抬腿或硝普钠滴注后，二尖瓣充盈血流参数的改变可预测卡维地洛治疗的耐受性和患者的结局。不久前，有研究评价了在门诊有症状的心衰 (纽约心脏协会心功能分级 NYHA II 和 III) 患者中，E/e' 监测与 LAP 对治疗的反应，

证实 E/e'（内侧）可以非常精确的反映出 LAP 的变化⁴。

尽管在小样本的心衰急性失代偿的患者中测量 E/e' 可以反映肺毛细血管楔压（pulmonary capillary wedge pressure, PCWP）^{41, 42}，写作委员会目前尚不推荐将 E/e' 用于收缩功能低下的失代偿心衰患者（“湿冷型患者”）的 LAP 监测。因为有研究显示，在这种情况下，该指标不能预测 LAP 或指导治疗¹⁶。这些研究主要关注于用 E/e' 预测初始时压力，而不是将其作为监护工具；最后仅有研究人群中的一部分进行了系列的 E/e' 测量，并且与 LAP 的系列测值进行了对照。

另一个超声心动图有助于指导 CHF 处理的新领域是评估对 LVAD 治疗的反应。超声心动图参数可以用于连续监测渐增的过程，以及辅助决定是否可以脱离 LVAD 治疗。渐增流程（Ramp protocol）包括在增加 LV 辅助设备速度时运用超声心动图动态评价 LV 的大小、血流动力学、以及瓣膜功能。一项单中心的研究显示超声心动图可以优化速度，帮助发现设备的血栓形成。在这种情况下，将 LVAD 的初始转速设为最低可用设置（约 8,000 转/分钟），然后序列性地增加转速，同时监测 LVIDD、LVIDS、主动脉瓣开放、主动脉瓣和二尖瓣返流的严重程度、以及 RV 收缩压（图 3）。正常结果是随速度增加直至 12000 转/分钟，LVIDD 会逐渐降低；如果反应平坦则提示设备功能异常¹¹。在这个流程中，用 LVIDD 对应转速的函数作图，如果 LVIDD 斜率 ≥ -0.16 可诊断 LVAD 管道内有血栓形成或机械性阻塞而导致的血流障碍。

超声心动图还用于确定患者是否可以脱离 LVAD。一旦 LVIDD 降低至 $<60\text{mm}$ ，且二尖瓣返流的严重程度经长期的 LVAD 治疗后改善，患者将接受超声心动图检查，检查期间关闭 LVAD，并评估 LVIDD, LVIDS, RV 大小和功能；关闭体外泵后 LV 功能维持 LVEF $>50\%$ ，RV 扩张不加重，可作为移除 LVAD 的标准¹²。LVEF 或 RV 舒张末期大小不改变也提示撤除 LVAD 后有较好的临床结局。

危重症监护

尽管超声心动图在检测危重患者血流动力学障碍的原因方面具有重要的作用，但是它在监护呼吸衰竭、败血症、或不明原因的心脏骤停等患者中的作用尚未明确。在这些情况下，某些超声特有的，可能优于其他监测手段（比如 PA 导管或氧饱和度监测）的指标可被采用（表 4）；但迄今为止，尚无临床研究对

这些技术手段进行比较。不同技术都有其优势和不足。虽然系列超声心动图监护可提供解剖信息以及收缩及舒张功能的改变，但在紧急情况下，对于那些正在床旁快速进行的可能影响 CO 和 LV 充盈压的干预治疗来说，PA 导管可能更有帮助。在感染性休克时，针对性的治疗已证实可改善患者预后⁴³。尽管这一研究采用的是中心静脉压、平均动脉压、以及中心静脉氧饱和度指导补液、输血和血管升压药治疗，但超声心动图参数也许可以取代其中的大多数指标。IVC 塌陷可用于评价中心静脉压，LVOT 搏出距离可以监测 CO。这些无创评价指标联合血压可以指导这种情况下的治疗。少数危重患者，被动抬腿时 LVOT VTI 增加 >12.5%可预测 SV 对静脉补液的反应性增加，敏感性为 77%，特异性为 100%⁴⁴。被动抬腿时 LVOT VTI 的变化比 LV 内径或二尖瓣血流的变化能更精确地预测输液反应。

心包填塞的监护

对于严重心包积液的患者来说，超声心动图用于指导临床决策、引导心包穿刺，以及心包穿刺后的处理至关重要。当心包积液的累积速度不明确，且患者症状不特异时，超声心动图监测具有重要作用。约 33%的特发性大量心包积液的患者可以突然出现填塞病理生理表现⁴⁵。除了监测心包积液量的增加，出现 RA 塌陷（持续超过心动周期的三分之一）、RV 舒张早期塌陷、以及 IVC 扩张可用于确定是否具有心包穿刺的指征⁴⁵。

对于心包穿刺，超声心动图监护在许多中心已取代 X-光透视，它可以定位积液，探测并引导穿刺针和导管的放置⁴⁶⁻⁴⁸。运用超声心动图引导可以更多地采用心尖，而非剑突下的穿刺路径，主要由于前者从皮肤到积液的距离更近。经穿刺针用生理盐水造影可确认穿刺针进入心包（图 4，视频 1，可由 www.onlinejase.com 获取）。经此确认后，可进一步用超声心动图确认导丝和猪尾巴代管放置入心包腔内⁴⁸。然后进行引流直至超声心动图上心包积液近乎消失（视频 1）。超声探头可放置在有导声胶的无菌套袋内或者置于无菌区以外的可视声窗。一项大型的单边研究显示，这种超声心动图引导的穿刺成功率 >95%，而且并发症少⁴⁶。引流后 24 小时内需再次复查超声心动图，了解是否再次出现积液，此时可再次评估 IVC 塌陷反应以了解 RAP 是否下降或仍然升高，后者可见于渗出性缩窄性心包炎⁴⁵。

肺栓塞治疗中的监护

尽管超声心动图被广泛用于肺栓塞的辅助诊断和最初处理，但在已发表的资料中极少有超声心动图在这种情况下用于监护 RV 收缩功能及 PA 压的。然而，超声心动图在肺栓塞患者的治疗决策中起着重要的作用，并且有利于识别高危患者并修改治疗方案，以免这类患者得不到积极治疗⁴⁹⁻⁵¹。此外，超声心动图还有助于判断主肺动脉内是否存在血栓，这种情况可能需要手术取栓。最重要的是，超声心动图有助于在溶栓治疗时监测 RV 功能以及 PA 收缩压⁵²。

疑似肺栓塞的患者常常表现出非特异性的症状和体征，难以和其他危及生命的疾病相鉴别。虽然还不能明确诊断肺栓塞，但首先应用 TEE 可以检测到肺栓塞导致的 RV 扩张 (RVIDD/LVIDD 比值 >0.9)，并可以协助排除其他病因，如心包积液或心肌梗死^{50,51}。一旦肺栓塞诊断明确，这些患者可以根据 RV 后负荷升高的结果来进行危险分层：低血压合并心肌生化标志物升高，或超声心动图指标提示 RV 张力升高的患者风险较高，应考虑溶栓治疗 (II 类指证)⁵²。大面积肺栓塞的患者需参照 ASE RV 指南³¹的正常值对 RV 大小和 FAC (图 5)、RV 收缩压、以及 IVC 参数进行连续评估。写作组建议对 RV 大小及 FAC 做系列评估时，应注意确保采取同一个 RV 成像平面，因为成像平面的较小变动可能导致测量值的改变。

人工瓣血栓形成的监护

TTE 和 TEE 均可用于检测人工瓣血栓形成，以及监测治疗疗效⁵³⁻⁵⁶。如果左侧人工瓣血栓面积 (二维描记) $<0.8\text{cm}^2$ ，推荐纤溶治疗，同时采取多普勒超声连续监测平均跨瓣压差来评价纤溶药物或肝素 (unfractionated heparin, UFH) 疗效⁵⁵。24 小时后跨瓣压差明显降低提示治疗有效。TEE 和 TTE 互为补充，TEE 系列随访可以更好地看到残余血栓大小，而两者在监测跨瓣压差降低方面的效果相同。

创伤的超声心动图监护

在各种创伤情况下，TTE 和 TEE 均被推荐作为监测容量状态以及局部和整体收缩功能的方法。虽然它们被证实有助于即刻评估 LV 和 RV 收缩功能，容量状态，以及探查严重的心包和主动脉病变，但是，它们用于监护的特异性指标，即使是在单中心、非盲性的研究中，也尚未被充分证实其有效性。因此，这次

不推荐 TTE 或 TEE 用于监护。

IV 围手术期医疗

美国麻醉医生协会 (American Society of Anesthesiologists) 提倡在术中, 或当患者心血管病变有可能导致严重的血流动力学、肺或神经系统异常时使用 TEE¹。基础围手术期经食道超声心动图检查的共识中概括了一些特别的切面及其测量值, 在使用 TEE 作为监护工具需要在术前、围手术期以及术后即刻定量测量特定的多普勒血流动力学参数 (跨二尖瓣 E 和 e', RV 组织多普勒 s' 值), 以及 RV 和 LV 的大小和收缩功能。图 6 描述了一例手术室中超声心动图监护舒张功能异常的患者, 以指导补液治疗时所观察到的跨二尖瓣 E/A 比值和 E/e' 比值的变化。以下将讨论可能从 TEE 指导中获益的特定的手术情况。

肝脏、肾脏以及肺移植中的超声心动图监护

肝脏移植患者在围手术期中出现的容量超负荷或组织低灌注的风险具有独特的挑战性。肝硬化性心肌病所导致的心肌功能异常, 以及异常的 SVR 使得这类患者的补液和药物治疗困难重重⁵⁷。曾有报道, 在肝移植中 TEE 诊断出心内血栓、肺栓塞、心肌缺血、心包填塞、急性右心衰竭, 以及 MV 前叶收缩期的前向运动, 而同时使用其他血流动力学监测手段却未能探及这些表现⁵⁸⁻⁶²。美国在对 30 个移植单位的调查中发现, 有 >85% 的移植麻醉医师会在肝移植术中采用 TEE 指导对上述问题进行监测和处理⁶³。多普勒超声在应用跨二尖瓣 E 及 e'、LVOT VTI 及肺动脉压进行心室充盈状态评估时起重要的作用。多普勒衍生的 SVR 以及 LV 收缩末内径可以检测血管扩张状态的动态变化⁶⁴⁻⁶⁷。通过系列 2D TEE 监护可以在一小部分血流动力学及促凝状态急剧变化的患者中检测到心内血栓、心室功能、心包积液、二尖瓣收缩期前向运动 (图 7, 视频 2, 从 www.onlinejase.com 获取)。只要患者未接受正性机械通气, IVC 塌陷性和大小, 联合 2D 及多普勒血流动力学和功能指标可用于预测术后补液治疗的反应。在考虑用 TEE 作为肝移植术中的监护之前, 明确患者是否可能存在食道静脉曲张显得非常重要, 因为它是 TEE 的相对禁忌症³⁹。因此写作组建议探头要润滑, 插入要轻柔, 使食道静脉曲张出血降低至最小。

在肾脏移植患者中 TEE 监护的作用尚缺乏大型的系统性的评估, 有限的资

料证实，在容量评估和处理缺血再灌注损伤时 TEE 可协助对中心静脉压的监护⁶⁸。写作组推荐仅在患者合并心血管病变时才考虑用 TEE 监护 LV 和 RV 收缩及舒张功能。

关于肺移植中的超声心动图监护，普遍认为在移植中及移植后用 TEE 监测 RV 收缩功能是必要的⁶⁹。必须早期识别 RV 收缩功能的改变，并在出现明显血流动力学障碍之前就给予正性肌力药物或吸入性的肺动脉扩张药物。TEE 还被用于检测吻合口处血栓形成导致的肺静脉狭窄⁷⁰。

大血管手术

直接钳夹大血管可导致心脏负荷的急剧升高，导致心脏衰竭、心肌缺血、引起血流动力学不稳定，以及外周脏器的低灌注。超声心动图指标可以监测主动脉或腔静脉钳夹后对舒张和收缩功能的影响⁷¹⁻⁷⁵。以往的研究显示，对于监测钳夹胸主动脉或胸腹主动脉所导致的收缩及舒张功能改变，TEE 比 PA 导管更敏感^{73,74}。推荐用于监测其动态变化的超声心动图指标包括：CO、LVEF、LVEDD 的变化，经胃底 SAX 切面上节段室壁运动，以及经二尖瓣多普勒血流图。

完全阻断腔静脉可导致前负荷和后负荷的明显变化。术中评估心室充盈、室壁运动、舒张和收缩功能可用于指导腔静脉钳夹后的术中药物治疗。

矫形和脊柱手术

这种情况下术中 TEE 主要作为急救措施。髋关节成形术、脊柱手术、膝关节成形术都有术中粘合剂和脂肪栓塞的风险。在髓内较孔及释放微颗粒材料时均可出现低血压、通气-灌注失匹配、低氧血症、肺栓塞、以及心脏衰竭⁷⁶。术中急救性 TEE 可用于监护微栓塞以及用彩色多普勒检测通过卵圆孔未闭的心内分流⁷⁷。不论 TEE 还是 TTE 均有助于长程的矫形手术和脊柱手术中的血流动力学监护，但需要注意的是，大多数脊柱手术是在俯卧位进行，TEE 无法使用⁷⁸⁻⁸¹。因肺血管阻力急剧升高导致的 RV 功能改变可以通过测量 TAPSE、肺动脉瓣 VTI 以及三尖瓣返流峰值速率来检测。在髋关节成型术中，TEE 可看到脂肪栓塞；并有利于解释神经系统功能异常；其结果会高于美国麻醉医师协会生理状态分级 (\geq III)⁸¹。尽管 TEE 有局限性，它仍可检测出颈椎手术中的血栓栓塞事件⁸²。

神经外科手术

在美国绝大多数脑外科（除了脊柱以外）都是在仰卧位进行，TEE 监护主要用于抢救时。脑外科手术中潜在的静脉气体栓塞风险导致美国麻醉医师协会比较含糊地将这类手术作为 B 类使用术中 TEE¹。TEE 术中监护时，运用彩色血流多普勒观察房间隔以及使用振荡生理盐水造影可探查房间隔卵圆孔未闭引起的反常性栓塞的风险。多普勒评价右侧肺动脉压力及 2D 评估 RV 功能可检测继发于静脉气体栓塞负荷的改变，尤其是坐位进行的手术^{83,84}。TEE 可用于指导右心房抽吸导管放置于合适的位置，即上腔静脉和 RA 的连接处^{85,86}。如果反常性栓塞的风险较高，推荐在术中同时要防止气体进入右侧心腔。早期识别这一并发症，仔细的对 RV 收缩功能进行定性及定量评价，有助于预防血流动力学恶化，以及更早的进行药物和手术的干预。尽管 TEE 监护对于坐位进行的脑外科手术是有用的，值得注意的是，坐位进行 TEE 监护可导致舌根水肿甚至坏死⁸⁷。对于脑外科手术中 TEE 监护的效益尚需进一步的对照研究来确定。

V. 监护指标发生改变何时是有意义的

根据现有的证据，当发生明确级别变化时使用超声心动图进行监护被认为是合理的，例如 LAP 从正常升到异常（收缩功能正常时 E/e' 比值从<8 升高到>13）。超声心动图连续监护适用于递增或脱离 LVAD 流程，来不断地重新评估 LVIDD、RV FAC、或肺动脉收缩压变化。在这两种情况下，都要了解何种程度的变化不是由于观测者之间的变异所致（表 5⁸⁸⁻⁹³）。有关测量变异度的研究虽然只包含了较少的患者数量，他们却为决定采用什么界值来判断参数变化是否超出了预期的观测者间变异或变异系数提供了帮助。对于特殊领域，如 IVC 塌陷指数、E/e'、E/A 和 PA 收缩压，我们增加了级别变化（基于指南）以用于指导治疗。这些级别变化中有关监测参数的变异系数和观测者间的变异与已发表的资料相吻合。

VI 关于培训以及使用超声心动图作为监护工具的结论

写作专家组强调，不论在何种临床场景下应用，超声心动图作为定量监测工具至少具有 II 级水平的培训经验⁹⁴。尽管 II 级心内科专科核心培训中的 TTE 培训经验已足以胜任监测 LV 内径及 IVC 塌陷指数，为确保在重症监护室

(intensive care units, ICU)、急诊室 (ED) 及手术室内多普勒和高级血流动力学压力测量的精确性, 还需要额外的 III 级心内科专科核心培训中的 TTE 和 TEE 的培训经验。由于目前超声心动图监护被广泛用于各种临床情况, 采用定量超声心动图指导临床治疗决策的人 (不论是具有 II 级或 III 级经验水平的麻醉师、心内科医生或急诊内科医生) 必须了解各项定量指标的观测者间变异 (显示于表 5), 并具备所需的专业技术能力以确保系列测值的精确获得, 这一点至关重要。由于某些经验相对欠缺者也能获得高质量图像诸如基础围手术期 TEE 共识声明以及聚焦心脏超声指南中所列举的切面^{8,13}, 但本文所涵盖的图像解读以及采用定量参数指导治疗决策必须仅限于受过 II 级或 III 级培训的专业人士来完成。例如, 在术中监护中 LV 或 RV 是否有明显的整体室壁运动异常? 基本的围手术期或危重监护可能会要求这种检测, 但不需要定量测量 LVIDD 或 LVIDS 或 IVC 来指导输液, 也不需要测量 RV FAC 用于监护或指导肺栓塞或 IVC 钳夹释放后的术中栓塞的治疗。定量测量, 当用于指导制定治疗决策时需要至少 II 级培训水平。

作为总结, 从危重患者急救、麻醉医学、急诊医学领域开始, 大量的文献证明超声心动图在监护中具有潜在的价值。临床研究显示了超声心动图监护在指导治疗肺栓塞、心包积液、人工瓣血栓形成以及急性心功能衰竭的处理中的作用。但是, 在这些领域尚无大规模的临床试验来证实超声心动图作为监护手段的有效性。运用超声心动图指导创伤处理, 以及其他重症医疗和手术应用等方面的应用尚无基本的临床研究。尽管使用超声心动图指导经皮心脏介入手术已有大量发表的资料⁹⁵, 但写作组一致认为, 在一些严重的急性医疗或手术环境下, 不论是采用 TTE 还是 TEE 作为动态监护手段来帮助治疗均需要另外开展临床研究来证实其有效性。

注意事项和免责声明

这篇报道是 ASE 出于善意为其成员提供的参考, 这篇报道所包含的推荐建议仅供参考, 不应作为临床决策唯一的依据, 或作为员工处罚的条例。本声明和建议主要基于专家意见而非被认证的科学证据。ASE 对信息的完整性和精确性不做任何明确的或暗示性的承诺, 包括商业上或其他特殊目的的承诺。任何

情况下，ASE 对您、您的患者、或任何第三方的决定以及行为均不承担任何责任。使用相关信息既不代表 ASE 提供了医疗建议，也不意味着 ASE 和您的患者或其他人产生任何医患关系。

致谢

写作专业委员会对谢峰医生，Julie Sommer 和 Stacey Therrien 在撰写和图表准备等方面的帮助表示感谢！

补充资料

本文相关的补充资料可在以下网址获得：
<http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.09.009>.

参考文献（略）

图1 一例患者心包穿刺 24 小时内的 IVC 塌陷指数的改变。穿刺前（左）中心静脉压升高，穿刺后（右）明显改善。塌陷指数变化 $>10\%$ 可被认为有意义。

图2 经食道超声心动图监测 E, e' 以及 A 波速率时取样容积的位置

图3 在采用 ramp 流程优化 LVAD 设置及帮助检测设备功能异常时获得的超声心动图参数。随设置改变而导致的 (A) LVIDD 的改变, (B) 主动脉瓣开放的改变, (C) 主动脉瓣返流, (D) 二尖瓣返流, 以及 (E) RV 收缩压的改变。引用获得 Uriel 等¹¹ 允许。

图4 显示超声心动图引导经心尖途径心包穿刺。一旦确认穿刺针进入液体充盈的空间, 立即震荡生理盐水造影 (C-F) 以确认穿刺针在心包腔内。引用获得 Ainsworth and Salehian⁴⁸ 允许。

图5 肺栓塞患者溶栓治疗前后的系列超声心动图。溶栓治疗后 FAC 明显改善, RVIDD 降低, RV 收缩压降低 $>50\text{mmHg}$ 。

图6. 术中经食道超声心动图监护两个不同的肝移植案例。上图部分显示一例患者肝移植术前 E/e' 相对较低, 为正常, 在 IVC 钳夹解除后上升到 8 (C, D), 因此静脉补液被终止。下图中, 另一例患者肝脏移植期间当 IVC 被钳夹后 E/A 比值降低 (B, 下图), 但 IVC 钳夹解除后, E/A 比值显著升高 (C, 下图)。因此立即减少补液。

图7. 肝脏移植术中经食道超声心动图显示分离时的碎片导致栓塞, 引起 RV 急剧扩张 (左)。手术终止及给予抗凝治疗后, 碎片溶解, RV 减小 (右)。可在 www.onlinejase.com 网址观看 [视频2](#)。

表 1. 特异性的超声心动图监测参数和监测值

监测参数 功能 参考文献	仪器要求	技术要点	指导治疗时采用的特异的界值
经二尖瓣 E/e' 估计 LAP Nagueh 等. ¹⁵	脉冲多普勒 组织多普勒	多普勒角度调整 呼气末采集	E/e' < 8; 正常 LVEF = 正常 LAP E/e' ≥ 13; 正常 LVEF = LAP升高 E/A > 2; DT < 150 ms; LVEF降低 = LAP升高 E/A < 1 和 E < 50 cm/s; LVEF 降低 = LAP 正常
IVC 大小/塌陷指数; 估计 RAP Rudski 等. ³¹ ; Brennan 等. ³²	二维谐波	观测整个呼吸周期	内径 ≤ 2.1 cm; 吸气时塌陷>50%= RAP 0 - 5 mm Hg 内径> 2.1 cm; 吸气时塌陷>50% = 5 - 10 mm Hg 内径> 2.1cm; 吸气时塌陷<50% = 10 - 20 mm Hg
LV 及 RV 腔室大小, 面积和容积; 监测血管内容量状态及功能; Lang 等. ³³	二维谐波	优化位置, 心内膜边界显示*; 避免腔室缩短	正常界限: LVIDD 4.2 - 5.9 cm*男; LVIDD 3.9 - 5.3 cm*女 LVEDV 46 - 106 mL 女; LVEDV 62 - 150 mL 男 LVESV 14 - 42 mL女; LVESV 21 - 61 mL 男 RV FAC ≥35%
LVOT 射血距离; 监测血管内容量状态 Ristow et al. ³⁴	二维谐波 脉冲波多普勒	优化多普勒角度 显示主动脉瓣开放	正常值: VTI > 18 cm
PASP 监护右心血流动力学 Lahm 等. ⁵	脉冲波多普勒 连续波多普勒	优化多普勒角度	正常值: PASP < 35 mm Hg
TAPSE, RV s 监测补液治疗时 RV 功能 Rudski 等. ³¹	M-型 (TAPSE) 组织多普勒 (RV s')	优化的标准 4C 切面, 三尖瓣环和 RV 对位良好	正常值: TAPSE ≥ 16 mm RV s' ≥ 10 cm/s

LVEDV, 左心室舒张末容积; LVEF, 左心室射血分数; LVESV, 左心室收缩末容积; PASP, 肺动脉收缩压; TV, 三尖瓣。

*LV 和经二尖瓣多普勒测值位于 MV 瓣尖处测量。双平面 LVEDV 和 LVESV 测量请参照 Lang 等.³³ 的图 7; RV FAC 的测量请参照 Rudski 等.³¹ 的图 9。

表 2 总结超声心动图监护被认为有帮助的各种临床场景，
以及在该情况下临床研究检验其有效性的数据支持分级

临床场景	主要监测手段	数据支持分级*
急性 CHF/LVAD	TTE	B2
危重症	TTE	B2
创伤	TTE/TEE	D1
心包填塞的监护	TTE	B2
肺栓塞	TTE	B2
人工瓣血栓	TTE/TEE	B2
肾/肝脏/肺移植	TEE	肾脏-B3，肝脏-B2，肺-B2
大血管手术	TEE	B2
矫形/脊柱手术	TEE	B2
神经外科手术/坐位	TEE	B2

B2，观测性研究允许作为介导手段，对列于表 3 的监护工具有益，临床结果基于非比较性的观察性研究所做的相关（即，相对危险度，相关性）或描述性统计分析；B3，观测性研究允许作为监护手段，对列于表 3 的监护工具有益，但仅仅基于病例报告；D1，对表 2 中的情况下作为监护手段是否会影响临床结果文献尚缺乏科学依据。

*请参考Thys 等¹的完整的数据支持分级标准。

表3 超声心动图监护可能有助于指导临床干预治疗的特殊临床场景

	特殊临床场景	推荐的监测指标
危重症	低血压	IVC 塌陷指数 节段性室壁运动 LVOT VTI 对被动抬腿的反应
	CHF	IVC 塌陷指数 经二尖瓣 E/e' E/A 比值及 EDT RV s' TAPSE 节段性室壁运动
	败血症*	IVC 塌陷指数 LVIDD, LVIDS 节段性室壁运动
	呼吸衰竭*	IVC 塌陷指数
	肺栓塞可能	RV s' TAPSE 多普勒 PASP RVOT VTI 节段性室壁运动 RVIDD/LVIDD 比值
	心包积液/填塞	心包积液大小 右心室舒张期塌陷 IVC 塌陷指数
	人工瓣功能异常	跨瓣膜压差
创伤*	钝性伤	IVC 塌陷指数
	主动脉创伤	LVIDD, LVIDS
	心肌钝挫伤	心包积液大小 节段性室壁运动
	烧伤	IVC 塌陷指数 LVIDD, LVIDS 经二尖瓣 E/A 比值, E/e'
围手术期	胸腹主动脉钳夹	节段性室壁运动 LVIDD, LVIDS
	肝移植	LV 节段性室壁运动 LVIDD, LVIDS RV s' TAPSE 监测 RV 腔栓子
	肾移植	LV 节段性室壁运动 LVIDD, LVIDS RV s' TAPSE 经二尖瓣 E/e' , E/A 比值

	监测 RV 腔栓子
矫形/脊柱/神经外科手术	RV s' TAPSE 经二尖瓣 E/e' 监测 RV 腔栓子

PASP, 肺动脉收缩压.

*尽管可能有用, 并且临床上已被采用, 但尚无发表的临床研究对这种情形下采用的超声心动图监护指标进行过验证

表4 采用肺动脉导管和采用系列超声心动图测量危重患者各监护指标的方法学比较

监测技术	肺动脉 (PA) 导管	超声心动图	优势*
充盈压	直接测量PAP, PCWP	间接接测量PAP, PCWP	PA导管
心输出量	热稀释法	多普勒	等同
评估瓣膜	不能	解剖/多普勒	超声心动图
收缩/舒张功能	从PCWP/CO估计	表1参数	超声心动图
风险	有创技术	无创	超声心动图
评估速度	监测即刻变化	操作者依赖性	PA导管

PCWP, 肺毛细血管楔压

* 优势指的是写作专家组认为哪一监测指标更适用。

表5. 特异超声心动图监测参数的观测者之间变异及变异系数, 以及在各临床场景(监测情况下)被推荐为有意义的变化

超声心动图监测参数	IOV/CV	监护场景	在监护场景下距基态有意义的变化
IVC塌陷指数	未描述	CHF, 创伤, 围手术期	>10% ³² 从<50% 改变至>50% ³¹
E/A 比值(LV收缩功能受损时)	6% CV	CHF, 围手术期	从<1 改变至 1 - 2 至 2
E/e' 比值 (LV收缩功能正常时)	8% CV	CHF, 围手术期	>8% ⁸⁹ 从<8改变至 9 - 14至≥15 ¹⁵
LVOT VTI	6% IOV	CHF, 围手术期	VTI或 SV ⁹⁰ 改变>6%
LVOT 面积	4% IOV		
PASP	3% IOV	肺栓塞, 围手术期, CHF	>3% ⁹¹ 从<40改变至 40 - 60至>60 mm Hg ³¹
LVIDD, LVIDS	8% IOV	围手术期, CHF 开始/撤离	>8% ⁹²
RV FAC, S' 和 TAPSE	RV FAC:10% (IOV) RV S' : 1.6 mm/s (IOV) TAPSE: 1.9 mm (IOV)	肺栓塞 围手术期 肺高压 CHF LVAD	RV FAC > 10% ⁹³ RV S' > 1.6 mm/s ⁹³ TAPSE > 1.9 mm ⁹³

CV, 变异系数; IOV, 观测者之间变异; PASP, 肺动脉收缩压.