

Progress in Bedside Ultrasound Evaluation of Cardiac Function in Sepsis

Benyan Tang¹ Zhen Su^{2*}

1. Affiliated Hospital of Chengde Medical University, Chengde, Hebei, 067000, China

2. Critical Care Department, Affiliated Hospital of Chengde Hospital, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

Sepsis is a life-threatening organ dysfunction occurring based on a severe imbalance in the host response to infection. The heart is one of the most vulnerable organs leading to involvement and high mortality. Monitoring the cardiac function status of patients is crucial for the treatment and prognosis of septic patients, and bedside ultrasound has become a key means to assessing cardiac function in ICU. SC ultrasound performance not only contains the traditional systolic function decline, and normal ejection fraction of impaired contraction, diastolic dysfunction, right ventricular dysfunction, patients with limited own conditions and various means of treatment intervention, may affect the bedside ultrasound discrimination results, complex clinical environment how to choose accurate, fast and easy to copy, conducive to dynamic observation of ultrasound cardiac function changes to guide clinical decision and prognosis is of great significance. This paper will discuss the different evaluation efficacy and therapeutic significance of various bedside ultrasound indexes in sepsis.

Keywords

sepsis; ultrasound index; bedside ultrasound; cardiac function; contraction; diastolic relaxation

床旁超声评估脓毒症心功能研究进展

唐奔炎¹ 苏震^{2*}

1. 承德医学院附属医院, 中国·河北承德 067000

2. 承德医院附属医院重症医学科, 中国·河北承德 067000

摘要

脓毒症是基于宿主对感染反应严重失衡出现的危及生命的器官功能障碍。心脏是最容易受累并造成高死亡率的器官之一。监测心功能状态对脓毒症患者治疗及预后至关重要, 床旁超声成为目前ICU评估心功能的关键手段。SC超声下表现不仅包含有传统的收缩功能下降, 还有射血分数正常的收缩能力受损、舒张功能障碍、右室功能障碍, 患者自身条件的受限及各种治疗手段的干预, 都有可能影响床旁超声判别结果, 复杂的临床环境中如何选择准确、快速且易复制, 利于动态观察的超声心功能指标, 对于监测脓毒症患者心功能变化以指导临床决策及判断预后具有重要意义。论文讨论各类床旁超声易实施的超声指标在脓毒症中不同的评价效能和治疗意义。

关键词

脓毒症; 超声指标; 床旁超声; 心功能; 收缩; 舒张

1 引言

脓毒症是基于宿主对感染反应严重失衡出现的危及生命的器官功能障碍。50% 脓毒症患者可出现脓毒症心肌病 (Septic Cardiomyopathy, SC), 病死率可升高至 80%。早期可导致心肌损伤和心血管变化, 目前认为心肌细胞的生理紊乱、炎症分子、内皮通透性、中性粒细胞迁移、纤维蛋白

沉积在 SC 发病机制中起重要作用, 氧化应激、线粒体功能障碍和自主神经失调也可导致心脏问题。肌钙蛋白、脑钠肽、肌红蛋白等的升高表明心肌损伤确实存在。SC 定义为脓毒症引发的心脏左右心室心肌收缩和舒张功能障碍, 典型特征包括射血分数下降、左心室扩张, 7~10 天内心室功能改善, 可见实时了解心功能状态至关重要。床旁超声心动图已成为评估脓毒症心功能首选方法, 无创、易重复且能提供重要信息^[1]。但超声介入时间、血管活性药物使用、机械通气、液体复苏、负荷条件改变、心率等可能影响传统测量指标的评估效能。与检查由专业的超声医师完成不同, 床旁重症超声更侧重于解决紧急情况下的具体问题, 它要求选择快速、简单、合适的指标提供对患者病理生理变化的解释。选择合适

【作者简介】唐奔炎 (1998-), 男, 中国湖南湘乡人, 硕士, 医师, 从事脓毒症、重症超声研究。

【通讯作者】苏震 (1976-), 女, 中国吉林长春人, 硕士, 副主任医师, 从事脓毒症、脓毒症心肌病研究。

的左右心功能的指标,有望帮助临床医生在繁忙的工作环境中快速了解心功能状态,利于动态监测变化情况。论文将讨论各类超声指标不同的评价效能及预后和治疗意义。

2 左室收缩功能评价

收缩功能障碍是超声最直接感知是否存在心功能问题的方式,早期判断 SC 信号之一。

2.1 左室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)

广泛使用半定量评估左室收缩的指标, LVEF < 50% 为判断标准,危重和脓毒症患者 LVEF 参考值尚未得到验证。LVEF 易于反复获取,但数值受负荷条件影响,可能反映左心室和动脉系统之间的相互作用。脓毒症时即使 LVEF 看似正常,实际上动脉张力通常下降,更多地被认为是血管张力下降标志而非左室固有收缩性指标,病情进展、液体复苏、血管活性药物可能导致 LVEF 发生动态变化。重症感染和持续炎症反应下,血管张力显著下降和液体复苏不足导致 LVEF 呈现正常或略有升高,可能反映更严重的左室收缩功能障碍。死亡患者通常需要更多血管升压药物来维持 LVEF,伴随 LVEF 升高,相反在大部分幸存者中早期较低, LVEF < 50% 不敏感且无特异性地提示脓毒症相关新发的左室收缩障碍存在,也不能作为预测 30 天死亡率的可靠指标^[2],无法提供有关收缩的全面信息或及早识别 SC 高危患者。

2.2 二尖瓣环收缩速度 (tissue doppler-derived left ventricular systolic velocity, S')

观察心脏长轴运动指标,标准 S' > 8.1、9.2 和 10.2 cm/s (间隔、平均和外侧)。组织多普勒成像 (tissue doppler imaging, TDI) 已被验证用于量化左室整体收缩和舒张功能。S' 是心血管疾病左室收缩功能的敏感指标,预测临床结局方面比 LVEF 更敏感,负荷条件影响较小更适用于脓毒症心功能研究。S' 与脓毒症 28 天死亡率线性增加独立相关,在临床恶化之前就可检测出心肌收缩损伤^[3]。S' 与脓毒症休克死亡率相关,在死亡者中发现相对正常或升高的 S', 这反映了与持续和深度血管舒张相关的高运动状态,可能是细胞因子持续释放的标志^[4]。尽管 TDI 评估有许多优点,如不依赖几何假设和理想取样窗口,也存在一些共同问题包括角度依赖性和一维性特征,需要避免低估或高估。

2.3 整体纵向应变 (global longitudinal strain, GLS)

评估心肌纵向长度变化,心脏收缩过程中左室纵向肌肉纤维缩短,因此 GLS 数值是负值,越负左室收缩越好。GLS 与心脏磁共振和三维超声测得射血分数相关性相当,明显优于 LVEF,尤其适用于具有广泛室壁运动异常患者。GLS 可以用于识别多种情况下的亚临床左心功能障碍,包括心肌和瓣膜疾病,在脓毒症动物模型中左室射血分数和心输出量发生明显变化之前就会下降,提示可作为预后指标。W-C.Tsai 等人的研究中首次证明 GLS 是脓毒性休克患者的

预后指标,死亡者的 GLS 阴性程度低于生存者,表明左室收缩功能更差, GLS-13% 时预测死亡率敏感性和特异性最佳,与急性生理学和慢性健康状况评估 II 联合应用可改善存活率^[5]。boissier 研究中使用 GLS 评估脓毒性休克患者可检测到心肌收缩力变化约 70% (LVEF 为 32%), 第 1 天 GLS 下降预测第 2、3 天继发 LVEF 恶化的左心功能障碍^[6]。另一项研究中显示液体复苏会影响 GLS,在这部分患者中初始病理状态表现为正常值,通过左心室纤维在舒张末期拉伸增加,位于 Franck-Starling 曲线陡峭部分,前负荷增加导致收缩力和速度增加,复苏前 GLS 低绝对值会导致收缩障碍的错误诊断,应促使临床医生首先询问前负荷依赖,然后询问心肌功能障碍。对左心收缩功能评估和任何正性肌力药物使用之前,应排除低血容量,静脉回流增加后 GLS 变化,可能是 Franck-Starling 中位置的标志^[7]。

2.4 二尖瓣环平面收缩偏移 (mitral annular plane systolic excursion, MAPSE)

心脏病患者二尖瓣环运动与正常值存在差异,说明其与心功能有关。MAPSE < 7mm 时,对严重左心室功能障碍敏感性 92%,特异性 67%。另一项研究指出 MAPSE < 12mm 时,检测 LVEF < 50% 具有 90%敏感性和 88%特异性。MAPSE 与三维超声和心脏磁共振存在较强的相关性,可作为左心功能的替代测量^[8]。检测 SC 时 GLS 比 LVEF 更敏感,因此一些研究将 MAPSE 和 S' 等纵向功能参数与 LVEF 进行比较,发现即使 LVEF 正常的脓毒性休克患者, MAPSE 和 S' 值仍低于非脓毒症患者,表明纵向收缩功能可能在明显的射血分数下降之前就受到损害。连续监测 MAPSE 降低是可行的,如发现 MAPSE 下降趋势,无论其数值是否在正常范围内,都应引起关注心肌抑制可能发生。左心室纵向应变 (left ventricular longitudinal strain, LVLS) 是左心室收缩功能敏感指标,但需要高图像质量和分析软件支持。Huang 等人开发左心室纵壁分数缩短 (left ventricular-longitudinal wall fractional shortening, LV-LWFS) 作为左心室收缩功能的新替代标志物^[9],根据 MAPSE 和 LV 长度计算得出的,只需要标准的超声设备。Johansson 等人观察到 LV-LWFS 与 LVLS 之间存在很强的相关性 (特别是在脓毒性休克患者中)^[10],目前关于此方面研究较少,需要更多的临床研究证据支持。使用 MAPSE 评估的优势是简单一维测量,易于即使缺乏经验的医师也能准确地预测射血分数,可作为一个可行性较高的工具。

2.5 心肌性能指数 (myocardial performance index, MPI)

评估心脏泵血效率,使用公式 MPI = 等容收缩时间 (isovolumic contraction time, IVCT) + 等容舒张时间 (isovolumic relaxation time, IVRT) / 射血时间 (ejection time, ET) 计算,较高 MPI 值与心功能较差相关。MPI 不受负荷条件、样品体积位置、年龄或心律的显著影响具有

可靠性,已广泛用于评估心力衰竭、心肌梗塞和心肌病等。一项前瞻性研究中,对脓毒症休克患者进行24h内左室功能监测发现,MPI升高与心功能恶化相关,而MPI降低与心功能改善相关,MPI改善组患者表现出IVCT和IVRT的缩短,表明更多时间用于射血,而恶化组患者则出现相反趋势,MPI改善组90天内的死亡率较低,这一发现表明MPI间隔变化可用于定量评估左室性能,同时也有助于区分具有不同预后的患者,强调MPI在临床中的实用性和重要性^[11]。

3 左室舒张功能评价

收缩障碍很容易被发现,实际上舒张障碍会在此之前出现,往往被忽视而且容易误诊。严重感染导致心肌弹性下降,心室舒张期内主动和被动松弛能力受损,心室充盈受阻舒张末期压力-容积环向左上方移动左心室输出降低,相同容量状态下舒张末期压力升高早期充盈减少,同时左房晚期收缩增加心室充盈,使充盈压力逐渐升高。当脓毒症伴有明显低血容量、心率过快和房颤等时,进一步缩短舒张时间,早期左心室充盈减少,最终心输出量降低。与舒张障碍相关的液体复苏会引起左心室充盈压力的相对升高,可能加重脓毒症相关的非心源性肺水肿。这些机制使得脓毒症舒张功能障碍患者对液体耐受性降低,更容易出现心脏功能紊乱,在这些情况下是死亡的主要预测因素。床旁超声心动图参数能可靠地确定左室充盈压力和舒张功能等级,提供了一种评估左心舒张功能的高度可行性方法^[12]。

3.1 二尖瓣舒张早期充盈峰速度 E 峰 (velocities of early diastolic filling wave, E) / 舒张晚期充盈峰速度 A 峰 (velocities of late diastolic filling wave, A)

E/A 是一种初步定量评估舒张功能的方法,它是可行和可复制的。脓毒症舒张功能受损特征是舒张充盈模式异常,心房充盈的依赖性增加表现为心房充盈速度增加,并且 $E/A > 1$ 。可能是由于心肌受损主动舒张减缓,左室内压下降速度变慢,舒张早期左房与室间压力差的减小,E峰相对下降,心房必须通过增加收缩以排出剩余的血量,从而导致A峰增加。这个参数为我们提供了有关的诊断和预后信息。需要注意的是,这些参数是可变的,受到多种因素的影响,包括年龄、心律失常、潜在疾病状态、负荷条件、液体复苏和血管活性药物剂量、采集时间以及图像质量等。脓毒症时由于左心室僵硬度增加或代偿性的左室充盈压升高,可能会导致E/A比值的“假性正常化”,降低了对舒张功能评估准确性,指南建议使用E/A比值时应结合其他指标来更全面地进行分级和评估^[12]。

3.2 二尖瓣环舒张早期运动速度 (early diastolic velocity of the mitral annulus, e')

传统脉冲多普勒评估舒张功能存在较多局限性,目前许多研究建议采用TDI来监测舒张功能,计算E/e'评估左室充盈压力。舒张功能受损时左室充盈压力增加,E峰增大,心肌主动松弛迟缓受损e'下降,E/e'升高。相较于传统超

声心动图指标,能更准确地反映舒张功能变化。指标测量相对简单且快速,不受心率和体位等因素的干扰。研究表明低e'和高E/e'与脓毒症不良预后相关,是预测死亡率的独立危险因素,此外,与B型利钠肽原等其他指标联合可进一步提高对生存率预测的准确性^[13]。监测e'和E/e',可以观察到舒张功能在脓毒症阶段演变中逐渐恶化。指南中建议联用E/e'、三尖瓣反流速度(Tricuspid regurgitation, TR)、左心房容积指数等指标帮助舒张功能分级,但是TR可能随机械通气而变化,而左心房容积则受负荷条件的影响,不太可能可靠地反映SC相关的舒张功能突然恶化,Lanspa等人通过研究采用e'和E/e'对舒张功能障碍的新颖简化定义比指南推荐标准定义分类的脓症患者更多,并且根据简化定义分类的患者与标准定义分类在临床结局或合并症方面没有差异,简化定义对患者进行分类其模糊性较小,且与严重并发症相关^[14]。研究还发现,e'和E/e'与左室充盈压力之间存在较强的相关性,可以指导液体复苏和机械通气患者的撤机治疗^[15],因此在临床诊断和治疗中有着重要的应用前景。

4 右心功能评价

脓毒症右心功能障碍是一个复杂的问题,受多种因素影响包括脓毒症引起的心功能障碍、血流动力学改变、左心室舒张和收缩问题、快速液体复苏、严重低氧血症、肺部感染、机械通气、肺不张、高碳酸血症、急性呼吸窘迫综合征等因素,出现右室急剧扩张或肺动脉压力过高导致右室负荷过重而导致右心功能紊乱。超声心动图有一些相关指标可以提供有用的信息:①右心室功能指数(MPI):分别可通过脉冲多普勒和组织多普勒测得, $MPI > 0.4$ 和 0.55 时分别提示右心室功能障碍,能避免心率变化有关的误差;②三尖瓣环平面收缩偏移(Tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE):衡量右心室纵向功能,TAPSE $< 16\text{mm}$ 表明右心室收缩功能存在障碍,与其他衡量整体右心室收缩功能的指标相关性较好;③二维面积变化率(Fractional area change, FAC):FAC $< 35\%$ 提示右心室收缩功能存在问题,进行测量时需要确保整个右心室,包括收缩期和舒张期心尖和侧壁都在视野内;④三尖瓣环收缩速度(tricuspid lateral annular systolic velocity, s'):简单、可靠且可重复测量,当 $s' < 10\text{cm/s}$ 时,表明右心室的收缩功能存在问题,与其他衡量整体右心室收缩功能指标之间存在良好相关性。

在一项脓毒症观察性队列研究中发现频发的双心室收缩功能障碍,通过右心室游离壁应变(Right ventricle-Speckle tracking echocardiography, RV-STE)评估严重右心室功能障碍与预后较差有关^[16]。Lanspa和Vallabhajosyula等人在研究中证实了右心室功能障碍在脓毒症中很常见,并且与高死亡率有关。在Lanspa的研究发现右心室功能障碍28天死亡率增加,用FAC、TAPSE检测到的亚组病情较重,并证明RV-STE与TAPSE和FAC中度关联,STE可能更不容易受到负荷条件影响,可能是未来研究右心室功能障碍的

更好参数; Vallabhajosyula 的研究显示右心室功能障碍患者的 TAPSE 和 s' 显著下降, 住院死亡率没有差异, 但存在 1 年生生存劣势^[17]。两个实验差异可能是由于采集时间不一, lanspa 对极早期 (< 24h) 脓毒症的研究与更标准的 72h 纳入标准相比, 后者可能更容易出现生存偏倚^[18]。但在另外一项 meta 分析和前瞻性实验中未能发现在右心功能障碍与脓毒症生存率较低的观点^[19,20]。右心室功能障碍预后评价能力目前饱受争议, 由于右室解剖位置关系及采集时间不一可能造成研究结果的不一, 未来有望开展更多的研究选择最佳超声指标和最适评估时机, 明确右心功能变化与脓毒症之间相关性。

5 总结与展望

论文讨论了心脏功能参数评估的方法, 包括左室收缩和舒张功能, 以及右心功能。床旁超声在重症监护室 (intensive care unit, ICU) 被称为医生的“第三只眼睛”, 因其无创性、无害性, 以及实现床旁、即时、动态监测的核心优势。复杂的评估工具不适合床旁监测, 简单参数具有快速、容易实施、一定准确性等优点, 不同参数相互补充, 提供全面信息, 有助于预测预后和指导治疗策略。通过超声动态监测心功能进行目标导向和流程化管理, 可以协助医生更准确地监测病情发展, 采取精准治疗措施, 呈现患者具体病情转变情况。但需注意, 不同参数受负荷条件和采集时间影响, 结果需谨慎解释。未来研究需明确最佳评估方法和参数对脓毒症患者预后影响。多种参数的监测有望提供更多数据和见解, 提高临床决策质量, 减少错误, 提高脓毒症患者生存质量。

参考文献

- [1] 詹庆元,冯莹莹.重症超声——危重症患者动态监测的新手段[J]. 中华结核和呼吸杂志,2019,42(9):645-648.
- [2] Sevilla, B.R. Correlation of left ventricular systolic dysfunction determined by low ejection fraction and 30-day mortality in patients with severe sepsis and septic shock: a systematic review and meta-analysis[J]. Crit Care, 2014,29(4):495-499.
- [3] Chawla, S., et al. Correlation between tissue Doppler-derived left ventricular systolic velocity (S') and left ventricle ejection fraction in sepsis and septic shock: a retrospective cohort study[J]. J Intensive Care, 2023,11(1):28.
- [4] Weng, L. The prognostic value of left ventricular systolic function measured by tissue Doppler imaging in septic shock[J]. Crit Care, 2012,16(3):71.
- [5] Chang, W.T., et al. Left ventricular global longitudinal strain is independently associated with mortality in septic shock patients[J]. Intensive Care Med, 2015,41(10):1791-1799.
- [6] Boissier, F., et al. Left ventricular systolic dysfunction during septic shock: the role of loading conditions[J]. Intensive Care Med, 2017,43(5): 33-642.
- [7] Nafati, C., et al. Use of speckle-tracking strain in preload-dependent patients, need for cautious interpretation![J]. Ann Intensive Care, 2018,8(1):29.
- [8] Qin, J.X., et al. Mitral annular motion as a surrogate for left ventricular ejection fraction: real-time three-dimensional echocardiography and magnetic resonance imaging studies[J]. Eur J Echocardiogr, 2004,5(6):407-415.
- [9] Huang, S.J., et al. Longitudinal wall fractional shortening: an M-mode index based on mitral annular plane systolic excursion (MAPSE) that correlates and predicts left ventricular longitudinal strain (LVLS) in intensive care patients[J]. Crit Care, 2017,21(1):292.
- [10] Johansson, B.P., et al. Left ventricular longitudinal wall fractional shortening accurately predicts longitudinal strain in critically ill patients with septic shock[J]. Ann Intensive Care, 2021,11(1): 52.
- [11] Nizamuddin, J., et al. Interval Changes in Myocardial Performance Index Predict Outcome in Severe Sepsis[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2017,31(3):957-964.
- [12] Nagueh, S. F., et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. Journal of the American Society of Echocardiography, 2016,29(4):277-314.
- [13] 呼邦传.血浆B型脑利钠肽联合左室舒张功能障碍对脓毒症休克患者预后的评估[J].中华医学杂志,2016,96(29):2295-2300.
- [14] Lanspa, M.J., et al. Application of a simplified definition of diastolic function in severe sepsis and septic shock[J]. Crit Care, 2016,20(1):243.
- [15] Papanikolaou, J., et al. New insights into weaning from mechanical ventilation: left ventricular diastolic dysfunction is a key player[J]. Intensive Care Med, 2011,37(12):1976-85.
- [16] Orde, S.R., et al. Outcome prediction in sepsis: speckle tracking echocardiography based assessment of myocardial function[J]. Crit Care, 2014,18(4):149.
- [17] Vallabhajosyula, S., et al. Prognostic impact of isolated right ventricular dysfunction in sepsis and septic shock: an 8-year historical cohort study[J]. Ann Intensive Care, 2017,7(1):94.
- [18] Lanspa, M.J., et al. Right Ventricular Dysfunction in Early Sepsis and Septic Shock[J]. Chest, 2021,159(3):1055-1063.
- [19] Singh, R.K., et al. Right heart in septic shock: prospective observational study[J]. Journal of intensive care, 2016,4(1):38.
- [20] Huang, S.J., M. Nalos, A.S. McLean, Is early ventricular dysfunction or dilatation associated with lower mortality rate in adult severe sepsis and septic shock? A meta-analysis[J]. Crit Care, 2013,17(3):96.