

重症超声在成人体外膜肺氧合心肺支持中的应用^{*}

崔晓琼¹ 高文卿¹

[摘要] 体外膜肺氧合(ECMO)越来越多地应用于成人严重呼吸或心力衰竭的支持,重症超声在 ECMO 全过程中起着重要作用。本文就重症超声在 ECMO 运行期间心肺支持可视化和精细化管理中的应用加以综述。

[关键词] 超声检查;体外膜肺氧合;心力衰竭;呼吸衰竭

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.07.004

[中图分类号] R445.1 **[文献标志码]** A

Application of critical care ultrasound in extracorporeal membrane oxygenation and cardiopulmonary

CUI Xiaojiong GAO Wenqing

(Department of Cardiology Coronary Care Unit, The Third Central Hospital of Tianjin, Tianjin Key Laboratory of Extracorporeal Life Support for Critical Diseases, Clinical and Training Center of Tianjin Extracorporeal Membrane Oxygenation, Tianjin, 300170, China)

Corresponding author: CUI Xiaojiong, E-mail: cuixiaojiong@yeah.net

Abstract Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO) is increasingly used to support severe respiratory and heart failure in adults, and critical care ultrasound plays an important role in the whole process management of ECMO. This article reviews the visualization and fine management of cardiopulmonary support by critical care ultrasound during ECMO operation.

Key words ultrasound examination; extracorporeal membrane oxygenation; heart failure; respiratory failure

体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)是体外生命支持系统,将静脉血引流至体外,经过氧合器(膜肺)氧合后注入静脉(veno-venous ECMO, VV ECMO)或者动脉(veno-arterial ECMO, VA ECMO),短时间内对肺和心脏进行替代,为急性呼吸衰竭和(或)心力衰竭患者的心肺功能恢复赢得时间^[1]。重症超声是重症医师在重症医学理论指导下运用超声技术,针对重症患者,问题导向的多目标整合的动态评估过程,是确定重症治疗尤其血流动力学治疗方向及指导精细调整的重要手段。重症超声的应用可以贯穿于 ECMO 管理的始终:判断原发病、引导 ECMO 安全建立、容量管理、VV ECMO 右心功能保护、VA ECMO 左心功能维护、左心扩张预警、ECMO 血流量调整、适时撤离等^[2]。坚持重症超声评估流

程,可为患者带来更大的益处。本文就重症超声在 ECMO 运行期间心肺支持可视化和精细化管理中的应用加以综述^[3]。

1 判断原发病

原发病的判断和基础状态的评估对疾病整体治疗方向至关重要,重症超声能够早期、全面、快速辅助诊断原发病,评估是否行 ECMO 支持为治疗原发病争取时间,同时根据心肺功能状态来选择 ECMO 的支持方式(VV/VA)^[4]。结合病史、体检和实验室检查,运用重症超声辅助快速诊断以下危重症有明显优势^[5]:①心脏压塞:选择剑突下四腔心切面快速观察有无大量心包积液,如有心脏压塞需及时行心包穿刺引流术(图 1a);②急性冠状动脉综合征/缺血性心肌病:以冠状动脉相关节段性室壁运动障碍为主要表现(图 1b);③应激性心肌病:以左心室心尖部及中间段室壁运动减弱、基底段室壁运动亢进、心尖部出现气球样改变为主要表现(图 1c);④扩张型心肌病/急性暴发性心肌炎/脓毒症心肌病:以心肌弥漫性运动减低为主要表现,部分心肌炎后心肌病属于获得性扩张型心肌病(图 1d)^[6];⑤急性肺栓塞:表现为右心室扩张、室间隔

^{*}基金项目:天津市医学重点学科(专科)建设项目(No: TJYXZDXK-035A);天津市“131”创新人才团队项目(No: 201939)

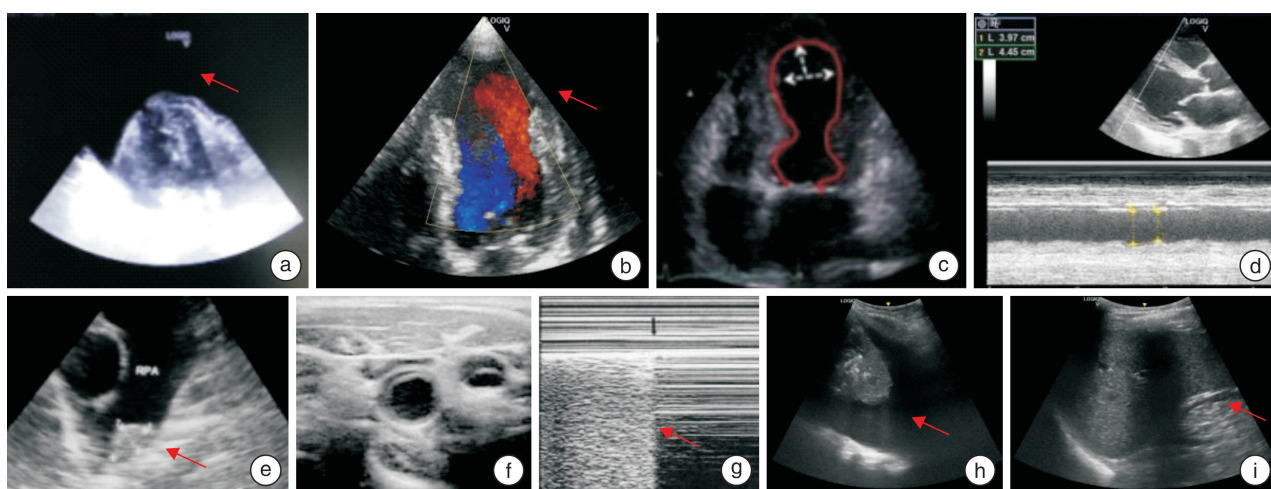
¹天津市第三中心医院心脏中心 CCU 天津市重症疾病体外生命支持重点实验室 天津市 ECMO 治疗与培训基地(天津,300170)

通信作者:崔晓琼, E-mail: cuixiaojiong@yeah.net

“D”字征、肺动脉高压、三尖瓣反流(图 1e);⑥升主动脉夹层:主动脉根部内径增宽或可见内膜片漂浮(图 1f);⑦肺部超声观察有无大量 B 线(肺水肿)、肺点(气胸)、肺底部液性暗区(胸腔积液)(图 1g、h);⑧应用凸阵探头扫查肝肾隐窝、脾肾隐窝、子宫/膀胱直肠陷凹观察有无液性暗区排除腹腔脏器出血可能等(图 1i);⑨窄化休克血流动力学类型,如梗阻性休克(心脏压塞、急性肺栓塞、气胸)、心源性休克(严重的左心室收缩功能下降)、低血容量性休克(失血、失液,心功能正常时下腔静脉内径小,

随呼吸变异度明显增加,补液试验阳性,胸腔容量减小,收缩亢进)、分布性休克(存在感染、过敏等前提,超声表现为有效血容量减少)^[7]。

如为心包填塞、主动脉夹层、严重主动脉瓣反流、张力性气胸、脏器活动性出血等通过及早发现正确处理即可恢复稳定时不适用于 ECMO 辅助。另外,如果心肺复苏时间超过 1 h、瞳孔散大或预期寿命不足 1 年等属于 ECMO 相对禁忌证,应避免无谓的机械辅助^[8]。



a:急性心肌梗死心脏破裂,大量心包积液;b:陈旧性心肌梗死心尖室壁瘤形成;c:应激性心肌病,左心室心尖部运动减弱,基底部运动增强;d:急性心肌梗死心肌抑制,左心室收缩功能弥漫性减低;e:急性肺动脉栓塞;f:主动脉弓夹层;g:气胸肺点;h:大量胸腔积液;i:肝肾隐窝。

图 1 超声快速扫查判断原发病

Figure 1 Primary diseases rapid diagnosed by ultrasound

2 引导 ECMO 安全建立

超声实时引导血管穿刺置管比传统切开快捷、并发症少,成功率接近 100%。在插管之前,对血管解剖结构进行检查有助于确定潜在的插管障碍。超声可以识别血栓、血管狭窄、动脉瘤或严重的动脉粥样硬化,并评估穿刺的深度和角度。VV ECMO 目标血管一般为股静脉和颈内静脉,VA ECMO 目标血管一般为股动静脉,解剖毗邻关系为股静脉位于股动脉内侧,颈内静脉位于颈总动脉外侧,静脉压实验为阳性,动脉多普勒频谱为脉冲式血流信号,有明显的峰值^[9]。根据血管内径选择导管内径,导管内径 $\leq 2/3$ 血管内径,导管内径单位为 Fr(1 Fr=mm/3),静脉导管内径范围为 19~24 Fr,动脉导管内径范围为 17~22 Fr,可以支持 2~6 L/min 的血流量^[10]。静脉引流导管内径的大小是 ECMO 回路中血流的主要决定因素,为保证引流量,可选择相对较粗的静脉导管。动脉回流导管的尺寸通常较小,但对于股动脉较细的患者,应考虑使用远端灌注管,以确保有足够的血液流向下肢^[11]。

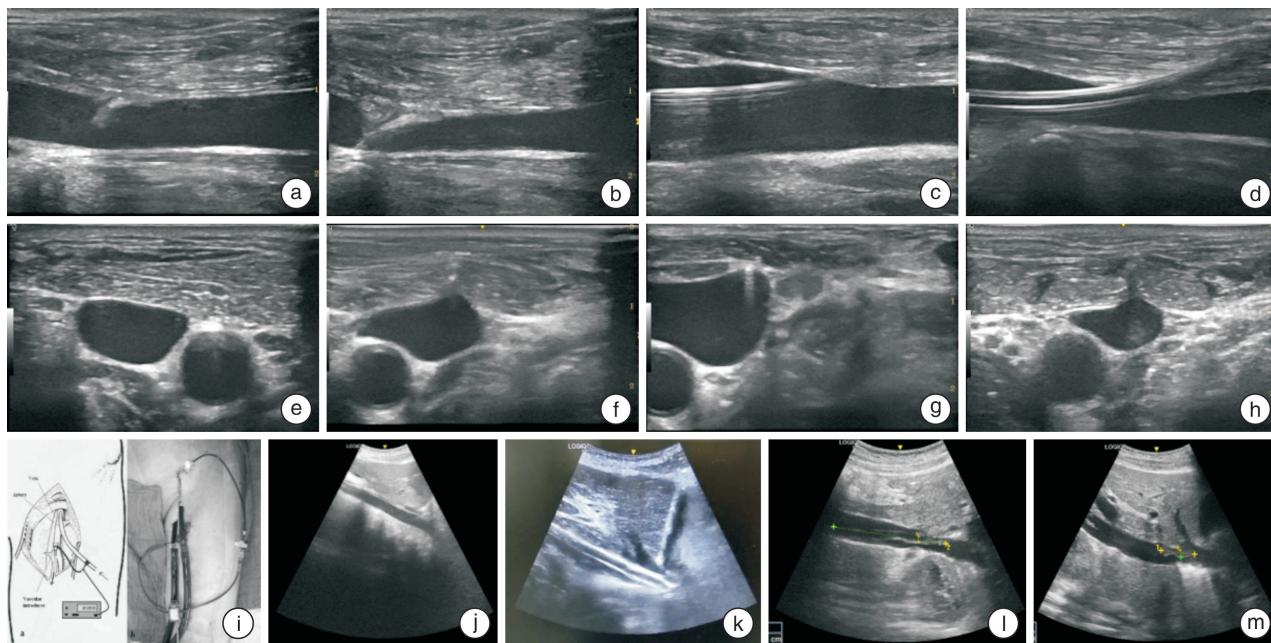
选择分辨率高的线阵探头辅助血管穿刺,目标血管可以通过长轴(纵轴)或短轴(横轴)的方式显示。前者当声束与血管长轴平行时,在探头不动的情况下行单人徒手平面内 Seldinger 法经皮穿刺,可见进针的全部过程,优点是可以灵活调整进针点、探头的位置以及进针角度,操作简单,成功的关键是通过手眼密切配合维持穿刺针实时显示在图像中(图 2a~d)。后者仅能显示穿刺针与平面的交叉点,需要实时移动探头跟踪交叉点轨迹方可见到穿刺全过程(图 2e~h)^[12]。颈内静脉表浅、较粗,一般选择长轴穿刺,股动静脉相对较深、较细,而且 VA ECMO 多数情况下需要为下肢远端灌注管预留穿刺位置,股动静脉穿刺点靠近腹股沟韧带下方 2~3 cm 处,所以股动静脉穿刺多数选择短轴方式显示(图 2i)。

管路插入长度的评估:ECMO 引流端位于下腔静脉靠近右心房约 2 cm 处,插入长度 40~45 cm,VA ECMO 动脉回流端位于髂动脉,插入长度 13~15 cm,VV ECMO 静脉回血端位于颈内静

脉,插入长度 10~13 cm^[13]。置管后可于剑下下腔静脉长轴切面观察引流管尖端位置。VV ECMO 引流管与回输管之间的距离不可过近,建议尖端距离 ≥ 8 cm,以免发生再循环而导致患者进一步低氧血症^[14]。置管时常应用超声调整导管位置。超声还可以迅速诊断插管并发症,如心包积液或主动脉夹层。ECMO 支持期间的流量下降通常与患者体位或血容量不足有关,但注意要排除导管内血栓的形成,可以通过超声脉冲和彩色多普勒观察引流

导管孔口处的血流来评估^[15]。

对于 VV ECMO,如果股静脉 $\geq 2/3$ 的血管被插管阻塞,则组织水肿、血流淤滞和严重的静脉高压可导致深静脉血栓形成,选择适宜的静脉引流管及适度的抗凝尤为重要(图 2j~m)。对于 VA ECMO,动脉导管建立后需要通过超声评估下肢远端血供,如果腘动脉血流速小于 150 mL/min,需要经股浅动脉建立远端灌注管以避免下肢缺血或坏死的发生^[16]。



a~d:血管长轴切面:穿刺针与声束在同一平面内,可见置管全过程;e~h:血管短轴切面:穿刺针与平面存在交叉点,需要移动探头跟踪交叉点见到置管全过程;i:VA ECMO 远端灌注管;j:正常下腔静脉入右心房处;k:静脉引流管置入过深;l:拔管后下腔静脉血栓形成;m:拔管后下腔静脉血栓形成。

图 2 超声引导穿刺及置管过程

Figure 2 Puncture and catheterization processes guided by ultrasound

3 评估容量反应性

低前负荷意味着给予容量会增加静脉回流,进而增加每搏输出量(stroke volume,SV)、心排血量(cardiac output,CO)以及组织灌注,但由于心脏收缩功能不同而有不同的 Frank-Starting 曲线,所以评价容量反应性一定是基于心功能评估之后的,下腔静脉内径能较好地反映患者的容量状态。目前常用的前负荷指标有下腔静脉内径、横轴形态变化、自主呼吸时下腔静脉吸气塌陷率、机械通气时下腔静脉扩张率以及主动脉血流呼吸变异率(图 3a、b)。下腔静脉内径 >2.0 cm 时提示处于高容量状态,下腔静脉内径 <1.0 cm、横轴为椭圆形、吸气塌陷率 $>50\%$ 能够预测患者有容量反应性^[17]。但需要注意的是,在正压通气、心脏压塞、急慢性肺源性心脏病(肺心病)、缩窄性心包炎、腹压增高等情况时,下腔静脉常增宽固定、随呼吸变异率

低^[18]。传统的容量负荷试验一般在 15~30 min 内输入晶体液 500 mL,心输出量或每搏量较前明显增加 10%~15%提示容量反应性良好。也可以选择被动抬腿试验,近似于 300~450 mL 血浆快速输入,或 1 min 内快速输入 100 mL 低剂量液体即微扩容补液试验。然后测定主动脉时间速度积分(time velocity integral of aortic blood flow,VTI),观察其在补液前后的变异率,一般认为变异率 $>12\%$ 的患者具有容量反应性。

右心室和左心室的直径、面积及容积也是反映心脏前负荷的直接指标,如果右心室舒张末期容积、右心室舒张末期面积偏小,考虑存在容量不足。如果左心室舒张末期心腔偏小、高动力型,则反映左心室前负荷不足,存在左心室收缩代偿增强,提示存在容量反应性。在 ECMO 辅助期间,如果出现管路的抖动、流量不稳定、下腔静脉内径偏窄,常

提示存在严重的有效循环血量不足^[19]。

4 右心功能的评价

对于右心室功能的定性判断,先在剑下四腔心切面测量右心室游离壁厚度,正常 <5 mm,增厚为慢性右心室压力增高,然后在心尖四腔切面观察左右心室腔比例,正常右心室舒张末基底部横径与左心室舒张末基底部横径比值不超过0.6。需要注意的是,右心室抗压能力低,右心室扩张不能判断是急性还是慢性疾病(图3c)。ECMO辅助时因为右心血液被引流,大多数情况下右心是偏小的。左心室短轴切面左心室舒张早期室间隔偏向左心室侧运动,呈“D”型改变是右心室收缩过负荷的标志(图3d)^[20]。采用M型超声测量三尖瓣瓣环收缩期峰值位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)以评估右心长轴的运动功能,正常值 >17 mm。有研究显示了TAPSE与右心室射血分数(EF)的关系:TAPSE 5 mm相当于EF 20%, TAPSE 10 mm相当于EF 30%, TAPSE 15 mm相当于EF 40%, TAPSE 20 mm相当于EF 50%(图3e)^[21]。右心室面积变化分数(right ventricular fractional area change, RVFAC)是于心尖四腔心切面测量右心室舒张末期和收缩末期面积之差与舒张末期面积之比,用来反映右心室收缩功能^[22]。应变(strain, S)表示物体变形的程度,心肌S则反映了张力作用下心肌发生变形的能力。应用组织多普勒,将取样容积置于三尖瓣外侧瓣环处便可获得相应部位心肌的S', S'对应的速度即为最大速度,正常值是10 cm/s。S'相对不受心脏整体运动及相邻节段心肌运动的影响,可以更准确客观地评价右心室局部心肌运动功能^[23]。新近有研究应用超声心动图二维斑点追踪技术分析和获取右心室整体、侧壁及室间隔纵向应变及相应的纵向应变达峰时间标准差,可用以客观、精确地评价右心室收缩功能及同步性^[24]。右心室心肌做功指数(right ventricular myocardial performance index, RVMPI),又称右心室Tei指数,是指右心室等容收缩期及等容舒张期时间之和与心室射血时间之比,可以用脉冲多普勒测量,也可用组织多普勒测得,是反映右心室整体功能的指标,包含了收缩及舒张功能的信息。Tei指数是不依赖几何学的右心室功能指标,相对独立于前、后负荷及心率,其与RVFAC、TAPSE和S等参数相比受负荷影响相对较少^[25]。

关于右心室舒张功能的评价,通常测量三尖瓣早期快速充盈形成的血流频谱E峰和晚期缓慢充盈时右房收缩形成的A峰二者的比值,如果 $E/A < 0.8$ 提示右心室舒张功能不全。在右心室流出道及肺动脉不存在狭窄的前提下,可以根据三尖瓣反流频谱峰值速度(V)估测肺动脉收缩压(pulmo-

nary systolic pressure, PSAP)^[26]。PSAP = $4V^2 +$ 右房压,而右房压根据下腔静脉直径及变异率来估测。急性肺动脉高压右心室游离壁厚度通常正常值为 (3.3 ± 0.6) mm, PSAP很少超过60 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa),而慢性肺动脉高压右心室游离壁可增厚达10~11 cm,并且PSAP通常较高。VV ECMO可以缓解严重的低氧血症、纠正高碳酸血症、降低气道压、减轻肺损伤、降低肺血管阻力,通过监测右心后负荷、氧合和酸碱状态联合肺部病变的管理,起到右心保护的作用。ECMO支持期间可以降低呼吸机条件如吸入氧浓度、PEEP及平台压,以减少呼吸机相关性肺损伤,有时可以脱离呼吸机行清醒ECMO^[27]。

5 左心舒张功能的评价

左心室舒张功能不全通常比收缩功能不全发生的早,左心室舒张功能的评价多根据二尖瓣E/A比值来判断。在四腔心切面将取样线置于二尖瓣上0.5 cm处测量二尖瓣口血流频谱,E/A正常范围是1.2~1.5,根据二尖瓣流速模式可分为正常、左心室舒张功能障碍、假性正常化、限制性左心室舒张功能障碍(图3f)。利用脉冲多普勒测得的左心室舒张早期E峰与组织多普勒测得二尖瓣侧壁瓣环舒张期E'的比值,评估左心室充盈压,如果 $E/E' > 14$,提示左房压 >15 mmHg,存在左心室舒张功能障碍^[28]。VA ECMO逆向血供增加左心后负荷,此时会低估扩张心室的左心室EF,而二尖瓣血流频谱与左心室充盈压力、功能评级和预后都有很好的相关性^[29]。

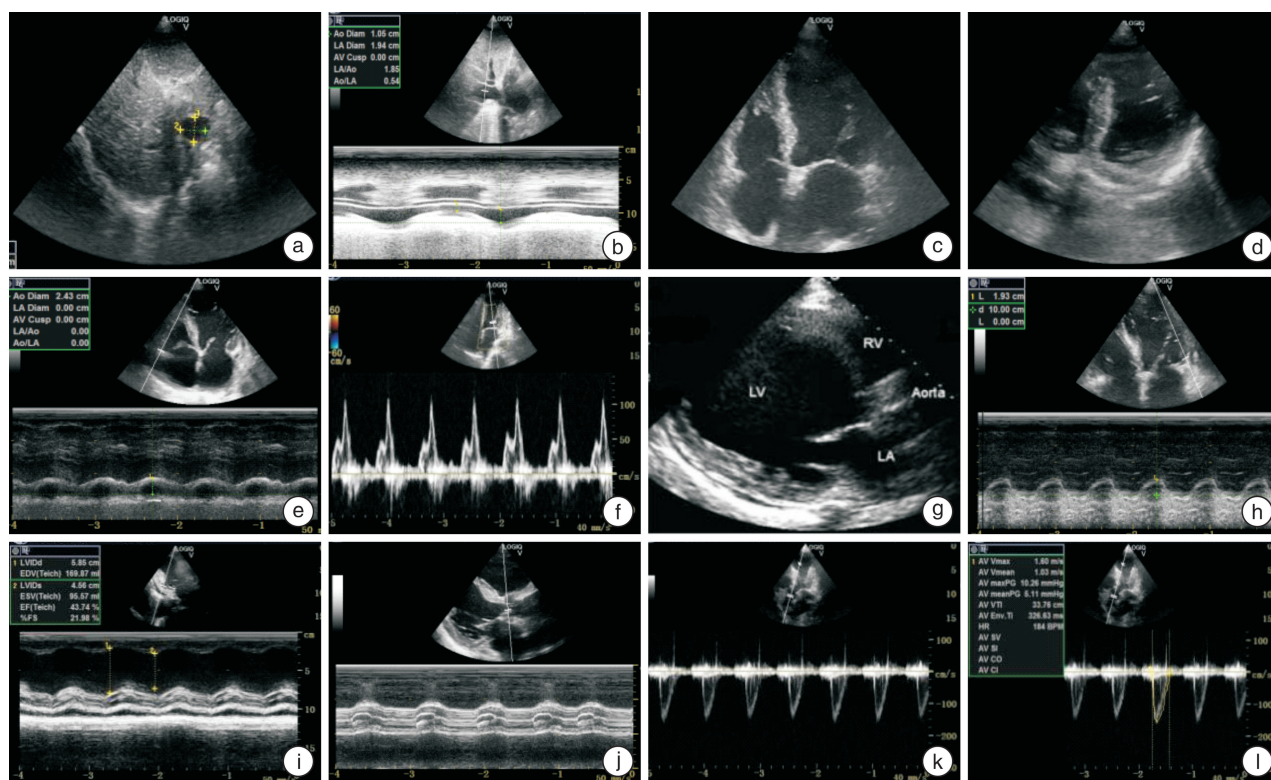
6 左心收缩功能的评价

左心收缩功能的评估对于ECMO辅助血流动力学不稳定的重症患者尤为重要。左心收缩功能首先应用目测快速定性,观察是否存在收缩功能正常、增强或降低(轻度/重度),然后观察左心室收缩功能障碍是弥漫的还是局部的,弥漫性左心室收缩功能障碍是慢性还是急性,左心室节段性室壁运动障碍是冠状动脉相关还是非冠状动脉相关^[30]。同时观察室壁的增厚及向心运动:正常、轻度运动减低、重度运动减低、室壁无运动、室壁矛盾运动。与右心室不同的是,左心室扩张室壁变薄运动减低多为慢性疾病,急性疾病左心室扩张不明显(图3g)。定量评估左心室长轴收缩功能观察二尖瓣瓣环收缩期峰值位移(mitral annular plane systolic excursion, MAPSE),正常值 >10 mm(图3h)。M型超声或Simpson双平面法测量左心室EF评价左心室综合收缩功能(图3i),测量SV、CO评价左心室整体泵血能力。主动脉瓣环目前被认为是测量主动脉血流量比较理想的部位,胸骨旁左心室长轴切面测定主动脉根部宽度(D)、心尖五腔心切面测定VTI,即取样线置于主动脉瓣下方0.2~0.4 cm,

记录左心室流出道血流速度,描记最大速度轨迹,显示 VTI,计算 $CO = \pi(D/2)^2 \times VTI \times \text{心率}$ (图 3j~l)。VA ECMO 辅助期间,随着左心室收缩功能的恢复、ECMO 流量减少,左心后负荷减轻,VTI 逐渐增加。VTI 在评价左心功能、容量反应性等方面应用广泛,还可以指导强心、血管活性药物的调整^[31]。与评价右心室收缩功能类似,将超声测得的左心室压力和斑点追踪成像的应变进行拟合,构建无创左心室压力-应变环,是目前临床评价左心

室收缩功能的有益补充^[32]。

由于 VA ECMO 主动脉逆向血流与左心室射出的血流竞争,左心室后负荷增加,可能出现主动脉瓣开放受限、左心室扩张、左心室附壁血栓形成^[33]。这时超声可以提供左心扩张预警,及时调整 ECMO 血流量及强心药物保证主动脉瓣打开,必要时加用主动脉内球囊反搏辅助或房间隔造瘘左心室卸载等以避免上述情况和急性左心衰竭的发生^[34]。



a: 下腔静脉短轴切面; b: 下腔静脉随呼吸变异度; c: 左右心室心腔比例; d: 室间隔“D”字征; e: 三尖瓣 TAPSE; f: 二尖瓣 E/A; g: 左心扩大, 收缩功能减低; h: 二尖瓣 MAPSE; i: 左心室 EF 值; j: 主动脉瓣 M 超声; k: 主动脉瓣血流频谱; l: 主动脉 VTI。

图 3 超声对心功能的评估

Figure 3 Cardiac function evaluated by ultrasound

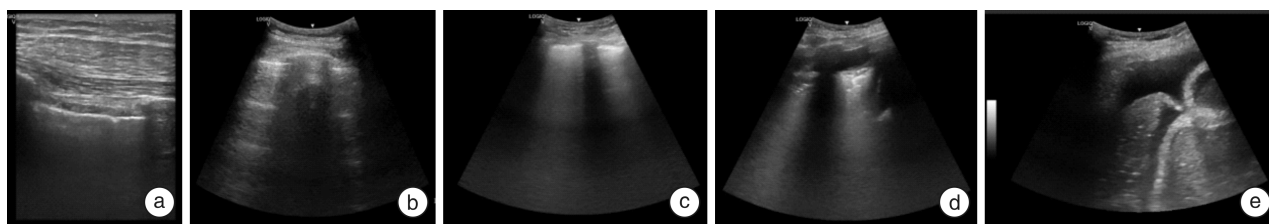
7 左心室流出道、瓣膜及主动脉的评估

在静息或刺激因素激发下,跨左心室流出道阶差 >30 mmHg 被定义为左心室流出道梗阻。动态左心室流出道梗阻是左心室流出道面积进行性缩小、血流速度进行性增快、压力阶差进行性增高的动态改变^[35]。ECMO 辅助期间若使用大量强心及缩血管药物,同时合并血容量不足、心率增快,即使没有左心室肥厚也可能诱发动态左心室流出道梗阻,二尖瓣收缩期前叶向室间隔移动,出现 SAM 征。重症超声实时动态评估有无左心室流出道梗阻,同时还可以观察有无主动脉瓣开放、二尖瓣脱垂、乳头肌/腱索断裂、瓣膜赘生物、瓣膜反流、室间隔穿孔及心包压塞等。胸骨上窝主动脉弓长轴切面观察当升主动脉疑似有内膜片漂浮,有助于主动

脉夹层的诊断。

8 重症肺部超声

构成肺部超声的基础除了正常的影像外,更多的征象来自超声所产生的伪像。通过肺内气液比例使肺部超声可作出如下诊断:气胸、正常肺表面、间质综合征、肺泡病变、胸腔积液^[36]。肺部超声所能观察的主要正常征象包括:蝙蝠征、A 线、胸膜滑动征、海岸征、肺波动征;异常征象包括:B 线、碎片征、支气管充气征、胸腔积液、肺点(图 4a~e)。通过肺部超声各种征象之间的演变,指导 ECMO 辅助期间肺间质的渗出、心源性肺水肿、急性呼吸窘迫综合征、肺复张、俯卧位、抗感染、引流等肺保护治疗及容量管理等策略。



a:胸膜滑动征;b:A线;c:B线;d:组织碎片征;e:胸腔积液。

图4 肺部超声

Figure 4 Pulmonary ultrasound

9 ECMO 的撤除

当心肺功能逐渐好转,面临的即是 ECMO 的撤除。目前国际上尚无统一的超声流程指导 ECMO 的撤除。考虑撤除 ECMO 的超声指标大致包括:降低 ECMO 流量至 0.5~1.0 L/min 后左心室 EF $\geq$ 20%~25%、主动脉 VTI $\geq$ 10 cm,无左心室扩张,无心脏压塞;评估 VA ECMO 流量减低后血流动力学参数(心率、血压、动脉波形的搏动性、中心静脉血氧饱和度、右桡动脉的 PaO₂、动静脉二氧化碳分压差、PSAP 的变化)、心脏大小、SV 值、左心室 EF 值等;VV ECMO 的撤除主要依赖氧合情况和肺顺应性的评估,通过降低 ECMO 循环的氧气流量和恢复常规的保护通气策略而非先降低 ECMO 流量,同时关注肺部超声各种征象之间的演变和右心功能的保护^[37-38]。重症超声整体的配合关系到 ECMO 是否能够成功有效的撤除。

重症超声具有可视化、无创、动态、快速易得等优点,在 ECMO 全程可视化管理实施过程中具有无可比拟的价值,其无疑是评估 ECMO 管理的关键工具,在选择 ECMO 适应证患者、准备插管、评估左右心功能以及撤机时,其效用是显而易见的。重症超声虽然全能但不是万能的,其评估作用要基于机体整体功能的观察与管理,同时需要不断的培训与实践来增加重症医生超声操作一致性的能力,进一步的调查和指南将有助于指导重症超声在 ECMO 中的应用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Tsangaris A, Alexy T, Kalra R, et al. Overview of Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation (VA-ECMO) Support for the Management of Cardiogenic Shock [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 686558.
- [2] Kalra R, Bartos JA, Kosmopoulos M, et al. Echocardiographic evaluation of cardiac recovery after refractory out-of-hospital cardiac arrest [J]. *Resuscitation*, 2020, 154: 38-46.
- [3] 刘大为,王小亭.重症超声[M].北京,人民卫生出版社,2018:49-97.
- [4] Thangaraj PR. The physiological basis of clinical decision-making in venoarterial extracorporeal life support [J]. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 37(Suppl 2): 210-220.
- [5] Ketelaars R, Reijnders G, van Geffen GJ, et al. ABC-DE of prehospital ultrasonography: a narrative review [J]. *Crit Ultrasound J*, 2018, 10(1): 17.
- [6] 陈瑞珍.病毒性心肌炎后扩张型心肌病的临床认知 [J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(2): 85-87.
- [7] Ramadan A, Abdallah T, Abdelsalam H, et al. Accuracy of echocardiography and ultrasound protocol to identify shock etiology in emergency department [J]. *BMC Emerg Med*, 2022, 22(1): 117.
- [8] Harnisch LO, Moerer O. Contraindications to the Initiation of Veno-Venous ECMO for Severe Acute Respiratory Failure in Adults: A Systematic Review and Practical Approach Based on the Current Literature [J]. *Membranes (Basel)*, 2021, 11(8).
- [9] Ma Z, Gai J, Sun Y, et al. Measuring the ratio of femoral vein diameter to femoral artery diameter by ultrasound to estimate volume status [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2021, 21(1): 506.
- [10] Cairo SB, Arbuthnot M, Boomer L, et al. Comparing Percutaneous to Open Access for Extracorporeal Membrane Oxygenation in Pediatric Respiratory Failure [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2018, 19(10): 981-991.
- [11] Bonicolini E, Martucci G, Simons J, et al. Limb ischemia in peripheral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a narrative review of incidence, prevention, monitoring, and treatment [J]. *Crit Care*, 2019, 23(1): 266.
- [12] Gottlieb M, Holladay D, Peksa GD. Comparison of Short-vs Long-axis Technique for Ultrasound-guided Peripheral Line Placement: A Systematic Review and Meta-analysis [J]. *Cureus*, 2018, 10(5): e2718.
- [13] Crivellari M, Pappalardo F. Femoro-jugular cannulation in veno-venous extracorporeal membrane oxygenation PRO/CON [J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10 (Suppl 5): S613-S615.
- [14] Jayaraman AL, Cormican D, Shah P, et al. Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Techniques, limitations, and special considerations [J]. *Ann Card Anaesth*, 2017, 20(Supplement): S11-S18.

- [15] Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support [J]. *Ann Transl Med*, 2017, 5(4):70.
- [16] Patton-Rivera K, Beck J, Fung K, et al. Using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess distal-limb perfusion on venoarterial(V-A)extracorporeal membrane oxygenation(ECMO)patients with femoral cannulation[J]. *Perfusion*, 2018, 33(8):618-623.
- [17] Argaiz ER, Koratala A, Reisinger N. Comprehensive Assessment of Fluid Status by Point-of-Care Ultrasonography[J]. *Kidney360*, 2021, 2(8):1326-1338.
- [18] Staudacher DL, Gold W, Biever PM, et al. Early fluid resuscitation and volume therapy in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Crit Care*, 2017, 37:130-135.
- [19] Monnet X, Shi R, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness. What's new? [J]. *Ann Intensive Care*, 2022, 12(1):46.
- [20] Pellicori P, Platz E, Dauw J, et al. Ultrasound imaging of congestion in heart failure; examinations beyond the heart[J]. *Eur J Heart Fail*, 2021, 23(5):703-712.
- [21] Huang KC, Lin LY, Chen YS, et al. Three-Dimensional Echocardiography-Derived Right Ventricular Ejection Fraction Correlates with Success of Decannulation and Prognosis in Patients Stabilized by Venoarterial Extracorporeal Life Support[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31(2):169-179.
- [22] Lang RM, Bierig M, Devereux RB, 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]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2005, 18(12):1440-1463.
- [23] Nikitin NP, Witte KK, Thackray SD, et al. Longitudinal ventricular function; normal values of atrioventricular annular and myocardial velocities measured with quantitative two-dimensional color Doppler tissue imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2003, 16(9):906-921.
- [24] 严霜霜,熊峰,张丽娟,等.二维斑点追踪技术评价左束支区域起搏早期右心室收缩功能及同步性[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(7):561-565.
- [25] Chao G, Zheng C, Meng D, et al. Tei index; The earliest detectable cardiac structural and functional abnormality detectable in Hb Bart's foetal edema. [J]. *Int J Cardiol*, 2009, 134(3):e150-e154.
- [26] Keranov S, Haen S, Vietheer J, et al. Application and Validation of the Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion/Systolic Pulmonary Artery Pressure Ratio in Patients with Ischemic and Non-Ischemic Cardiomyopathy[J]. *Diagnostics*, 2021, 11(12):2188.
- [27] Crotti S, Bottino N, Spinelli E. Spontaneous breathing during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(5):S661-S669.
- [28] Jentzer JC, Anavekar NS, Mankad SV, et al. Changes in left ventricular systolic and diastolic function on serial echocardiography after out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2018, 126:1-6.
- [29] Shah A, Dave S, Goerlich CE, et al. Hybrid and parallel extracorporeal membrane oxygenation circuits[J]. *JTCVS Tech*, 2021, 8:77-85.
- [30] Jenkins S, Alabed S, Swift A, et al. Diagnostic accuracy of handheld cardiac ultrasound device for assessment of left ventricular structure and function: systematic review and meta-analysis[J]. *Heart*, 2021, 107(22):1826-1834.
- [31] Yin W, Li Y, Wang S, et al. The PIEPEAR Workflow: A Critical Care Ultrasound Based 7-Step Approach as a Standard Procedure to Manage Patients with Acute Cardiorespiratory Compromise, with Two Example Cases Presented[J]. *Biomed Res Int*, 2018: 4687346.
- [32] 薛婷,张鹏英,陈允安,等.超声心动图研究新视角:无创左室压力-应变环[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(6):507-511.
- [33] Weber C, Deppe AC, Sabashnikov A, et al. Left ventricular thrombus formation in patients undergoing femoral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Perfusion*, 2018, 33(4):283-288.
- [34] Ricarte Bratti JP, Cavayas YA, Noly PE, et al. Modalities of Left Ventricle Decompression during VA-ECMO Therapy[J]. *Membranes (Basel)*, 2021, 11(3):209.
- [35] Di Vece D, Silverio A, Bellino M, et al. Dynamic Left Intraventricular Obstruction Phenotype in Takotsubo Syndrome[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(15):3235.
- [36] Grune J, Beyhoff N, Hegemann N, et al. From bedside to bench: lung ultrasound for the assessment of pulmonary edema in animal models[J]. *Cell Tissue Res*, 2020, 380(2):379-392.
- [37] Ortuno S, Delmas C, Diehl JL, et al. Weaning from veno-arterial extra-corporeal membrane oxygenation: which strategy to use? [J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2019, 8(1):E1-E8.
- [38] Sawada K, Kawakami S, Murata S, et al. Predicting Parameters for Successful Weaning from Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Cardiogenic Shock[J]. *ESC Heart Fail*, 2021, 8(1):471-480.

(收稿日期:2022-08-23)