

床旁即时超声在成人体外膜肺氧合管理中的应用中国专家共识

中国研究型医院学会危重医学专业委员会

华中科技大学同济医学院附属协和医院, 湖北武汉 430022

通信作者: 尚游, Email: you_shanghust@163.com

【摘要】 体外膜肺氧合 (ECMO) 是重症心肺功能衰竭患者重要的救治手段。床旁即时超声 (POCUS) 作为一种无创且操作简便的可视化诊断和监测工具, 在重症患者的救治中也发挥着极其重要的作用。为了更好地在 ECMO 管理中规范使用 POCUS, 特组织来自全国各地具有 POCUS 和 ECMO 熟练使用经验的多学科医学专家, 基于文献回顾和临床实践经验, 采用改良的德尔菲法制定了本专家共识。希望本专家共识的制定为应用 POCUS 帮助 ECMO 规范管理提供有价值的指导。

【关键词】 体外膜肺氧合; 床旁即时超声; 专家共识

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFC2501800)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220930-00874

Chinese consensus statement for the use of point-of-care ultrasound in the management of adult extracorporeal membrane oxygenation

Chinese Research Hospital Association of Critical Care Medicine

Union Hospital Tongji Medical College Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, Hubei, China

Corresponding author: Shang You, Email: you_shanghust@163.com

【Abstract】 Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is an important treatment for patients with severe cardiopulmonary failure. Point-of-care ultrasound (POCUS), as a non-invasive and easy to operate visual diagnostic and monitoring tool, also plays an extremely important role in the treatment of critically ill patients. In order to better standardize the use of POCUS in ECMO management, multidisciplinary experts from all over the country with skilled experience in POCUS and ECMO were organized. The present expert consensus was developed based on literature review and clinical practice experience, and Delphi method was used. This expert consensus is expected to provide important and valuable recommendations for the standardized management of adult ECMO under the guidance of POCUS.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation; Point-of-care ultrasound; Expert consensus

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2021YFC2501800)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220930-00874

20 世纪 70 年代, 体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 作为一种生命支持手段进入临床, 但是早期的临床研究未显示出其比传统疗法更加优越, 且 ECMO 并发症多, 因而未得到广泛的应用。随着 ECMO 技术的巨大进步, 人们逐步深入地认识到其在严重心肺功能衰竭支持方面的潜在重要价值。ECMO 或传统机械通气用于成人严重急性呼吸衰竭的多中心随机对照研究 (conventional ventilation or ECMO for severe adult respiratory failure, CESAR)、ECMO 用于重度急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 治疗的研究 (ECMO to rescue lung injury in severe ARDS, EOLIA) 等里程碑研究确立了 ECMO 的地位^[1-2], ECMO 的应用也日益广泛。波及全球的新型冠状病毒肺炎疫情进一步推动了 ECMO 的普及。ECMO 是临时性的体外生命支持措施, 目的是为原发疾病的治疗争取时机, 相当

于“桥梁”作用。由于其管理复杂, 并发症多, 因此, 在 ECMO 实施的各个环节进行严密监测和精细管理尤为重要。然而, 由于 ECMO 改变了生理性的循环模式, 很多传统的监测手段 (如热稀释法等) 无法应用; 加之 ECMO 患者病情危重, 转运困难, CT 等检查难以频繁进行。因此, 面对接受 ECMO 的危重患者, ECMO 团队的医师迫切需要能在床旁开展且能精准评估监测患者的技术手段。

床旁即时超声 (point-of-care ultrasound, POCUS) 作为一种无创且操作简便的可视化诊断和监测工具, 在重症患者的救治中发挥着重要作用, 成为重症医学领域不可或缺的技术^[3]。POCUS 可以对心脏结构功能、肺部病变、容量状态及反应性、血管结构等多方面进行即时评估, 推动了患者的快速精准诊疗; 此外, POCUS 还可以引导临床医师进行有创操作 (如血管穿刺置管等), 极大地提高了操作的准确

性和安全性。因此,POCUS在ECMO患者管理中的优势凸显,是用于ECMO患者监测和管理的重要工具。

本共识从POCUS技术、POCUS在ECMO不同阶段(ECMO建立前、ECMO外周血管通路建立、ECMO运行期间、ECMO撤离)和ECMO并发症管理中的应用展开讨论,梳理POCUS在ECMO管理中的应用价值和意义,以期指导临床实践。本共识适用的范围限于:①因急性心肺功能衰竭行ECMO治疗的成人患者;②通过外周血管建立ECMO通路的患者。本共识不适用于儿童、婴儿和新生儿患者,以及通过中心血管置管形式建立ECMO血管通路的患者。

1 方法学

2022年2月,国内11名重症医学专家召开工作会议讨论POCUS在ECMO中临床应用的相关问题,专家共同讨论后一致认为,制定POCUS在成人ECMO管理中的应用共识可促进ECMO救治总体水平的提高。根据既往临床工作经验、会议集体讨论和沟通,每位重症医学专家各自进行系统性文献复习(从Pubmed、Embase、Medline和万方医学等数据库中搜索1999至2022年与POCUS在ECMO中应用相关的临床前研究、临床研究、个案报道和综述等相关文献),初步完成并不断完善推荐条目的初稿书写,每个条目经过了4次集体讨论,征集各位专家意见,经不断修改后形成19个条目。

2022年6月,通过电子问卷的形式将共识基本条目发给26名具有丰富POCUS和ECMO使用经验的专家,他们根据共识条目的理论依据、科学性和可行性分别进行综合评分。最终综合评分以0~9分计数以确定每个条目的推荐强度。其中,0~3分为不推荐,4~6分为弱推荐,7~9分为推荐,分值按照恰当程度递增,即非常不推荐(0分)→非常推荐(9分)^[4]。共识撰写小组根据会议意见,在综合评分和修改意见的基础上,再次查阅及增补最新文献,于2022年7月至8月召开3次全体专家讨论,对条目进行优化修订,形成修改后的19条推荐条目,并于2022年9月将其发给原26位评分专家再次打分形成最终19条共识。

本共识已经在国际实践指南注册平台注册(注册号:PREPARE-2022CN698)。

2 推荐意见及说明

2.1 POCUS技术

共识1:对于接受ECMO治疗的患者,建议优先应用经体表超声扫查。若经体表超声图像质量

不佳,建议考虑应用经食道超声(transesophageal echocardiography, TEE)作为补充,对ECMO患者进行评估。〔推荐强度(7.88±1.84)分〕

接受ECMO治疗的患者病情危重,应尽量选择快速、简便和精准的方法对患者进行评估监测,以获得足够的临床信息。经体表超声检查是目前最常用的方法,可对心脏、肺、血管等部位进行评估和监测。对于行ECMO的患者,相比TEE和其他影像学方法而言,经体表进行超声检查用时短,设备操作简便,且能准确发现或评估绝大部分临床问题^[5]。因此,建议优先使用经体表超声对患者进行评估。

对于少数声窗不佳的患者,可考虑使用TEE。肺、胸骨等对TEE干扰小,图像质量更佳。但是,TEE需要专用探头,且操作复杂,临床医师需要接受TEE培训;TEE还可能会导致口咽、食道等部位损伤,引起ECMO患者损伤部位出血。鉴于上述特点,TEE可作为经体表超声的补充,酌情使用^[6-8]。

此外,超声造影剂可以增加超声散射回声,提高超声的分辨力、敏感度和特异度。目前常用的造影剂有六氟化硫微泡、全氟丁烷微球等,也可以通过注射含空气生理盐水,获得类似造影剂的效果。超声造影^[9-11]可帮助准确定位静脉-静脉ECMO(veno-venous ECMO, VV-ECMO)的双腔导管(double lumen cannula, DLC)和静脉-动脉ECMO(veno-arterial ECMO, VA-ECMO)的下肢远端灌注管^[12];帮助显示清晰的心内膜边界,从而更准确地评估心脏功能^[13]。此外,超声造影还可评估VV-ECMO再循环严重程度^[14],确定VA-ECMO心肺血流和ECMO血流的“分水岭”等^[15]。

2.2 POCUS在ECMO建立前阶段的应用:ECMO建立前需要确定是否存在ECMO适应证,并且要排除ECMO禁忌证。ECMO团队应当综合所有临床信息决策是否实施ECMO,POCUS在这一过程中具有帮助作用;另外,POCUS还可以获取患者心肺功能的基线状况,为后续动态监测提供参考。

共识2:ECMO建立前,推荐常规应用POCUS对心脏、血管和肺脏等进行评估。〔推荐强度(8.46±0.90)分〕

急性心肺功能衰竭患者,ECMO建立前均应在床旁进行全面心脏和肺脏超声评估,以明确急性心肺衰竭的原因;同时,记录心肺功能的基线状况,作为后续ECMO运行期间监测和撤机的参考。ECMO建立前需采用POCUS评估的主要内容见表1。

表 1 ECMO 建立前应用 POCUS 主要评估内容

项目	评估内容
左心	
左心室	左心室大小、室壁厚度
左心房	左心房大小
瓣膜评估	排除严重主动脉瓣关闭不全, 主动脉瓣和二尖瓣是否关闭不全、狭窄、反流
收缩功能	MAPSE、EF、室壁运动是否异常、LVOT 的 VTI 等
舒张功能	E/A 比值(经三尖瓣血流)、E/e' 比值
右心	
右心室	右心室大小、形状和室壁厚度, 右心室舒张末期面积 / 左心室舒张末期面积比, 室间隔运动
右心房	右心房大小和体积, 冠状窦是否扩张
瓣膜评估	三尖瓣是否关闭不全、反流
收缩功能	TAPSE、三尖瓣环收缩期峰值速度(S'), FAC
舒张功能	E/A 比值(经三尖瓣血流)、E/e' 比值
肺	
肺实质	是否存在 B 线、组织样征象等
胸腔	是否存在气胸、胸腔积液等
其他项目	
室间隔	是否存在矛盾的室间隔运动, 偏心指数
卵圆孔未闭	彩色多普勒, 发泡试验
IVC/SVC	直径和呼吸变异
心包	是否有心包积液和(或)心包填塞
血管	是否有主动脉夹层、血栓、狭窄和严重动脉粥样硬化
腹盆腔	是否有游离积液、积血

注: ECMO 为体外膜肺氧合, POCUS 为床旁即时超声, MAPSE 为二尖瓣环收缩期位移, EF 为射血分数, LVOT 为左心室流出道, VTI 为速度时间积分, E 为舒张早期最大血流速度, A 为心房收缩期最大血流速度, e' 为舒张早期运动速度, S' 为收缩期峰值速度, TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移, FAC 为右室面积变化系数, IVC 为下腔静脉, SVC 为上腔静脉

心源性休克患者启动 VA-ECMO 前, POCUS 评估左心收缩功能及主动脉瓣非常重要。启动 ECMO 前应全面检查以确定心脏的大小和功能, 识别解剖缺陷, 并提供对瓣膜形态和功能的详细评估^[16-17]。左心室收缩功能可以通过目测法进行定性评估; 还可以进行定量评估, 如测定射血分数(ejection fraction, EF)、二尖瓣环收缩期位移(mitral annular plane systolic excursion, MAPSE)等指标。通过测定左心室流出道(left ventricular outflow tract, LVOT)的速度时间积分(velocity time integral, VTI)和 LVOT 的直径计算每搏量, 结合心率计算心排血量(cardiac out, CO)。此外, 还需评估心包以排除心包填塞, 同时操作前确定是否存在心包积液, 便于后续鉴别其是否为操作所致的并发症。

对重度 ARDS 患者的肺和右心进行全面评估非常重要^[18]。POCUS 对肺的评估包括肺实质和胸腔 2 个部分。肺实质评估是通过肺部 B 线和实变征象的范围和严重程度来判断肺部病变的性质和程度; 胸腔的评估主要是通过 POCUS 来判断是否存在气

胸和胸腔积液。通过结合肺实质和胸腔评估的结果, 进一步明确呼吸衰竭的原因和严重程度。右心评估包括右心大小、形状、室间隔以及收缩功能等, 右心收缩功能的常用评价指标包括三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、右室面积变化分数(fractional area change, FAC)及三尖瓣环收缩期峰值速度(三尖瓣环 S')等^[19-20]。右心功能障碍的常见超声征象包括: ① 右室扩大(右室舒张末期面积 / 左室舒张末期面积 > 0.6); ② 室间隔矛盾运动, 当右心压力超过左心时, 室间隔受压后左心室出现“D”字征表现; ③ 右室收缩功能下降, 包括 TAPSE < 17 mm、右室 FAC < 35%、组织多普勒可见三尖瓣环 S' < 9.5 cm/s 等^[19-20]。重度 ARDS 合并右心功能障碍, 一般情况下可以选择 VV-ECMO; 若合并严重的右心功能障碍, 则考虑 VA-ECMO 或静脉-静脉-动脉 ECMO(veno-venous-arterial ECMO, VVA-ECMO)模式^[21]。

共识 3: ECMO 建立前, 建议应用 POCUS 帮助确认 ECMO 的适应证。[推荐强度(7.42 ± 1.86)分]

重症患者是否存在 ECMO 的适应证, 通常需要 ECMO 团队整合临床信息综合判断。VA-ECMO 主要用于难治性心源性休克患者。POCUS 有助于区分休克的类型^[22], 筛选出需要行 ECMO 治疗的心源性休克患者。体外生命支持组织(Extracorporeal Life Support Organization, ELSO)指南推荐使用 VA-ECMO 的指征为收缩压 < 90 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa), 每小时尿量 < 30 mL, 血乳酸 > 2 mmol/L, 混合静脉血氧饱和度(mixed venous oxygen saturation, SvO₂) < 0.60 及意识改变等持续 > 6 h, 且对优化治疗无效^[23]。使用 POCUS 测定 CO 和 EF 等参数对判断心源性休克患者是否存在 VA-ECMO 的适应证具有帮助^[23]。VV-ECMO 主要用于重度呼吸衰竭患者, 尤其是重度 ARDS 患者。按照现行的 ARDS 诊断标准, 应当使用超声排查患者是否存在心源性肺水肿^[24]。

通常来讲, 只有在最大程度上优化血流动力学和呼吸治疗后仍无明显好转时, 才存在实施 ECMO 治疗的指征^[25-26]。POCUS 可通过评估循环容量状态和容量反应性, 评估心功能及心脏对强心等治疗的反应, 优化血流动力学治疗^[27]。同时, POCUS 可指导机械通气参数设置, 优化呼吸治疗^[28-29]。POCUS 还可筛查出部分可能快速解除的病因(如心包填塞、气道异物、气胸、大量胸腔积液等)进行及时处理, 从而避免不必要的 ECMO 治疗^[5, 30]。体外

心肺复苏时,如果情况允许可采用 POCUS 重点排查心包填塞等导致心搏骤停的原因^[31]。

共识 4: ECMO 前, 建议应用 POCUS 帮助排查是否存在主动脉夹层、重度主动脉关闭不全等 VA-ECMO 的禁忌证。〔推荐强度(7.54±1.82)分〕

POCUS 对于排查部分 ECMO 相对禁忌证(如主动脉夹层、重度主动脉关闭不全和血管置管困难等)有重要意义。主动脉夹层患者如行 VA-ECMO 治疗,可能导致夹层范围进一步扩大甚至破裂。全主动脉 CT 血管造影是疑似主动脉夹层患者的首选检查,然而 POCUS 便捷、无创伤的特点使其成为初步评估手段。POCUS 可以发现部分主动脉夹层,并大致评估夹层的范围^[32],从而为此类患者选择更合适的治疗。重度主动脉关闭不全患者如行 VA-ECMO 治疗,可能导致主动脉瓣反流加重,甚至导致左心室扩张(left ventricular dilatation, LVD)等并发症^[23, 33]。POCUS 是评估主动脉瓣关闭不全的良好工具,且可评估关闭不全的严重程度^[34],可以辅助判断是否适宜 VA-ECMO 治疗。POCUS 还可快速准确地评估拟置管部位的目标血管,明确是否存在血管狭窄、畸形和解剖变异等导致置管困难的因素,从而选择更合适的置管部位和方式^[35-36]。但是需要注意的是,对于存在上述相对禁忌证的患者,需全面分析临床信息,权衡 ECMO 治疗的利弊后,方可做出治疗决策^[36]。

2.3 POCUS 在 ECMO 外周血管通路建立中的应用:快速准确地建立合适的 ECMO 外周血管通路是 ECMO 运转的前提。由于血管解剖变异、个体差异,以及剧烈的病理生理变化对心血管系统的影响,故在建立 ECMO 外周血管通路前进行充分评估、建立过程中利用 POCUS 进行引导非常重要。

共识 5: 建立 ECMO 外周血管通路前, 推荐应用 POCUS 对股动脉、股静脉、颈内静脉、下腔静脉(inferior vena cava, IVC)等血管进行评估, 排查是否有解剖变异、狭窄、血栓、夹层等异常; 建议测量拟置管血管内径, 为选择导管型号提供参考。〔推荐强度(8.69±0.62)分〕

首先,评估血管走行和病变^[16-17]。观察所有可穿刺血管的穿刺点及其前后血管走形和解剖结构有无变异,血管有无严重狭窄、痉挛、动脉钙化、下肢动脉闭塞以及血栓等。避开严重异常的血管,避开同侧股动、静脉重叠的部位,避开血管分支部位,并做好困难置管的应对准备。

其次,根据 POCUS 的评估结果选定导管型号。

① 利用 POCUS 测量患者 CO, 评估可能需要的辅助流量,结合所测量的穿刺血管管径,选择型号合适的引流导管和灌注导管,确保流量能满足患者氧供需求的同时不增加插管难度和并发症;② 利用线阵探头二维模式下测量目标血管内壁直径,计算出血管内壁周径(血管内壁周径=血管内壁直径×3),导管型号一般为血管内壁周径的 2/3,或者比血管内壁周径小 1~3 F^[37-38]。

共识 6: 建立 ECMO 外周血管通路时, 推荐应用 POCUS 引导经皮穿刺置管。〔推荐强度(7.85±1.89)分〕

国际多中心回顾性研究分析了 12 592 例实施 VA-ECMO 的成人心源性休克患者接受股静脉、股动脉置管的情况,其中 9 249 例(73%)患者应用经皮穿刺置管,3 343 例(27%)应用外科切开置管,结果显示,经皮穿刺组与更低的住院病死率和更少的并发症(如出血、感染)独立相关^[39]。因此,经皮穿刺置管可以用于 ECMO 外周血管通路的建立。

POCUS 引导是经皮穿刺置管成功建立 ECMO 外周血管通路的关键^[37, 40]。POCUS 引导 ECMO 置管提高了置管的安全性,并且避免了放射性暴露,也避免了危重症患者转运至导管室的风险,更有利于危重症患者紧急建立血管通路^[41]。POCUS 引导还可减少 ECMO 经皮穿刺置管的并发症。一项回顾性分析比较了 128 例接受经皮穿刺置管建立 ECMO 外周血管通路的患者,其中包括 56 例心肺复苏患者,所有经皮置管中 POCUS 引导 71 例(55.5%)、透视引导 43 例(33.6%)、体表标志引导 14 例(10.9%),结果显示,共 3 例(2.3%)发生导管异位,全部发生在体表标志引导组^[41]。另有报道指出,POCUS 引导下 ECMO 经皮穿刺置管成功率超过 98%,首次置管成功率超过 98%,且穿刺所致血管并发症发生率低于 3.5%,大血管损伤的并发症发生率仅为 1.8%,未发生因置管导致的患者死亡^[42]。这是由于 POCUS 最大限度地减少了插管尺寸不当、穿刺针穿透血管或导管误入肝静脉等因素造成的穿刺相关并发症^[38, 42]。但是,在 POCUS 引导经皮穿刺置管失败的情况下,根据操作者经验可以选择外科手术切开或半切开置管^[37]。

共识 7: 采用经皮穿刺置管建立 ECMO 外周血管通路时, 建议应用 POCUS 全程实时引导。〔推荐强度(7.73±1.54)分〕

ECMO 外周血管通路的成功建立是保障 ECMO

流量的前提。由于置管过程中导管通过路径较长,导管尖端需要精准定位,因此,建议穿刺和置管时全程应用 POCUS 实时引导^[43]。

经皮穿刺置管常采用 Seldinger 技术, POCUS 引导常用的方法是平面外(短轴入路)法和平面内(长轴入路)法。采用平面外法时,穿刺针尖在穿刺血管短轴声像内显影,当穿刺针不在超声声束平面时则无法显示,可能导致穿刺针穿透目标血管后壁而损伤邻近组织,应当注意及时调整声束追踪针尖;采用平面内法时,穿刺针针体在穿刺血管长轴声像内显影,可实时显示穿刺针进入血管的全过程,但其不能显示长轴平面外的穿刺针路径。因此,结合运用平面外法和平面内法,既能利用短轴声像明确穿刺针尖位于血管内,避免针尖误伤毗邻血管,又能利用长轴声像确认穿刺针针体与目标血管长轴方向一致,避免穿破目标血管后壁^[44]。

穿刺时,应当注意目标血管与周围血管的毗邻关系及患者体型,实时调整穿刺针进针角度、方向和深度,整个进针过程均可在 POCUS 引导下完成,最大限度地减少血管损伤、导丝打折等不良事件。股静脉置管时,穿刺针进入股静脉后置入导丝,将导丝逐步推进至 IVC。使用 POCUS 在剑突下切面同时显示右心房及 IVC,清晰显示导丝,确认导丝未误入肝静脉和右心室,方可沿导丝置入引流导管^[43]。采用类似的方法,完成其他血管穿刺置管。

需要注意的是,当患者发生严重休克或进行体外心肺复苏时,股动脉与股静脉的区分存在一定的困难,可能会出现混淆甚至误穿的情况。可以通过经胸超声心动图(transsthoracic echocardiogram, TTE)或 TEE 实时观察 IVC 和降主动脉中的导丝影像,帮助确认导丝进入目标血管;还可以在置管后进一步确认导管尖端位置^[45-46]。

共识 8: 采用 DLC 建立 VV-ECMO 血管通路时,建议优先应用 TEE 引导置管,实现精准定位。[推荐强度(7.88±1.24)分]

TEE、TTE 和 X 线透视均可作为影像学方法引导 VV-ECMO 的 DLC 插管和定位。一项多中心回顾性研究显示, DLC 置入过程中 POCUS 引导置管占据主导地位,其中 TEE 引导占 67%, TTE 引导占 25%, 透视占 4%, 未经引导占 4%^[47]。POCUS 引导的 DLC 置管成功率达到 94.6%, 且无一例患者发生与导管置入相关的严重或致命并发症^[48]。

TEE 探头置于心脏后方的食道内,避免了胸

壁和肺的干扰,良好的分辨率便于操作者清晰地辨识心脏、大血管结构;而 TTE 声窗易受患者体型、肺和胃肠道积气的影响,尤其是上腔静脉(superior vena cava, SVC)的声窗显示欠佳。X 线透视可对导丝置入的全过程进行实时连续监测和定位, DLC 上 3 个开口的显影标志有助于定位,但无法避免放射线暴露和使用造影剂。小样本回顾研究显示, X 线透视引导置入 DLC 时,由于定位不准确常出现 ECMO 低流量,无法满足氧供需求^[49]。此外,危重患者由于转运风险和时间的紧迫性,往往无法到介入手术室完成置管操作,故 X 线透视引导 DLC 置管不适合需要紧急建立 ECMO 的患者。

DLC 置管时,首先在线阵探头引导下在右颈内静脉置入导丝(参考共识 5~7 的内容);其次,利用 TEE 在食道中段双房心切面同时观察 SVC、IVC 及左右心房,通过该切面确认导丝进入 SVC 和右心房,排除导丝在右心房内打折或经三尖瓣误入右心室;随后,持续推进导丝进入 IVC,扩张器扩张皮肤软组织后置入 DLC;接着,经胃声窗观察 IVC 的长轴切面,确认 DLC 尖端距 IVC 与右心房连接处 4~5 cm;最后,使用 TEE 改良的双房心切面同时显示 SVC、右心房、IVC 和三尖瓣,用彩色多普勒或气泡盐水超声造影观察灌注管开口血流方向是否朝向三尖瓣,以此调整 DLC 的深度和方向,确认导管处于最佳位置^[50]。

在 DLC 置管中,与 TTE 和 X 线透视相比, TEE 可清晰显示解剖结构,引导成功率高、并发症少,适用于床旁实施且可减少放射性暴露。因此,建议优先应用 TEE。

2.4 POCUS 在 ECMO 运行期间管理中的应用: ECMO 患者病情重、变化快、并发症多,很有必要实施严密的监测。但由于此类患者的特殊性,频繁行 CT 等影像学检查较为困难,以热稀释法为基础的血流动力学监测无法应用^[51],因此 POCUS 在评估 ECMO 运行期间患者的病理生理状况发挥着重要作用;此外, POCUS 还可以用于观察导管尖端位置等方面。

共识 9: ECMO 运行期间,建议每日应用 POCUS 对心脏、肺脏和血管等部位实施动态评估,监测心脏功能、肺部病变、容量状态、导管尖端位置等。[推荐强度(8.12±1.14)分]

POCUS 可有效评估 ECMO 患者的心、肺功能和容量状态,可以作为监测病情严重程度和变化趋势

的工具^[5]。POCUS 监测的结果有助于对 ECMO 患者实施更加精准的治疗,如机械通气设置的调整等。另外,ECMO 运行期间也可能会遇到许多问题,如导管移位、血栓形成等,每日应用 POCUS 有助于发现这些问题^[16-17, 52-53]。在目前的临床实践中,很多 ECMO 经验丰富的中心都已在 ECMO 运行期间每日常规应用 POCUS 实施动态评估^[54]。POCUS 不仅可以动态评估患者病情的变化,还可以及时发现 ECMO 运行期间的部分问题,因此建议在 ECMO 运行期间每日常规行 POCUS 检查(表 2)。

表 2 ECMO 运行期间 POCUS 每日主要评估的内容

评估目标	评估内容
导管和血管	导管尖端位置,血管(SVC、IVC、主动脉、股动脉等)内是否有血栓或夹层
心脏结构	心脏大小和形态,左右心比例,瓣膜,心包,心腔内有无血栓
心脏收缩功能	左心室:LVEF、VTI、FS%、S'、MAPSE 等 右心室:TAPSE、S'、FAC 等
心脏舒张功能	E/A 比值、E/e' 比值等
容量	IVC/SVC 直径
肺及胸腔	肺和胸腔超声征象及动态变化

注:ECMO 为体外膜肺氧合,POCUS 为床旁即时超声,SVC 为上腔静脉,IVC 为下腔静脉,LVEF 为左室射血分数,VTI 为速度时间积分,FS 为缩短分数,S' 为收缩期峰值速度,MAPSE 为二尖瓣环收缩期位移,TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移,FAC 为右室面积变化分数,E 为舒张早期最大血流速度,A 为心房收缩期最大血流速度,e' 为舒张早期运动速度

共识 10: ECMO 运行期间出现流量下降时,建议应用 POCUS 评估是否存在严重低血容量、导管移位、导管阻塞等情况。[推荐强度(8.23±1.02)分]

流量下降是 ECMO 运行期间的常见问题。严重的低血容量、ECMO 导管移位、ECMO 管路阻塞、氧合器凝血等多种原因均可导致流量下降,及时识别原因并有效处理对 ECMO 的稳定运行至关重要^[55]。在快速排查是否存在管路打折、主机故障等问题后,还可以运用 POCUS 查找是否存在严重低血容量、导管移位等情况。

严重低血容量会导致流量下降,POCUS 可见 IVC 严重塌陷,ECMO 导管与 IVC 内壁贴合^[56]。补液后,应用 POCUS 观察到 IVC 增宽同时 ECMO 流量回升可证实上述判断。ECMO 的引流管或回输管移位也可能导致流量下降。POCUS 可较为准确地识别 ECMO 导管在血管中的位置,对于较难定位的导管,还可使用超声造影辅助定位,从而判断是否存在导管移位^[57]。对于超声成像欠佳的患者,可以采用 X 线判定导管位置。ECMO 导管或回路内血

栓形成可引发 ECMO 管路阻塞,并导致流量下降。POCUS 可以有效识别心腔、血管和附着于导管壁的血栓^[58],超声造影还可以辅助显示血栓的轮廓^[59]。

共识 11: VA-ECMO 运行期间,推荐每日应用 POCUS 监测左心室舒张末期内径,主动脉瓣是否开放,左心室内是否存在血流自发显影,以及是否存在左房压升高的超声表现等,评估是否发生 LVD。[推荐强度(8.23±1.03)分]

LVD 是经股动脉置管的 VA-ECMO 在运行期间经常出现的问题,是由于左心室射血功能减低及 ECMO 逆向血流导致,通常伴有左心室血液淤滞和压力升高^[60]。左心收缩功能差、ECMO 流量高和主动脉瓣关闭不全都是发生 LVD 的高危因素。一旦发生 LVD,可能会进一步加剧左心功能恶化,并可引起肺水肿和室性心律失常等并发症,最终造成患者预后不良。

LVD 时,POCUS 观察到主动脉开放频率降低,左心室和左心房扩张,血流自发显影,IVC 增宽的同时变异度降低等表现,这些表现不仅能提示 LVD 的存在,还能反映 LVD 的严重程度(表 3)^[23]。针对不同严重程度的 LVD 给予相应的处理^[61],可减轻或解除 LVD,有助于改善 VA-ECMO 患者的预后^[23]。

表 3 VA-ECMO 期间 LVD 严重程度分级和处理

超声表现	LVD 严重程度分级		
	轻度	中度	重度
主动脉瓣开放	每 2 次心跳 打开 1 次	每 3~4 次心跳 打开 1 次	无法打开
左心室血流自发显影	轻度	中度	重度
下腔静脉内径	1.5~2.5 cm	>2.5 cm	>2.5 cm
下腔静脉变异度	<50%	<50%	无变化
临床处理	强心、调整 ECMO 流量	IABP + 房间隔造口术	经皮置管减压、 手术置管减压

注:VA-ECMO 为动脉-静脉体外膜肺氧合,LVD 为左心室扩张,IABP 为主动脉内球囊反搏,ECMO 为体外膜肺氧合

共识 12: VA-ECMO 运行期间出现差异性缺氧时,建议应用 POCUS 排查并鉴别新发肺部和胸腔病变,同时结合心功能超声评估结果,指导及时处理差异性缺氧。[推荐强度(8.00±1.17)分]

差异性缺氧常见于经股动脉置入回输导管的 VA-ECMO 患者,是指当心功能相对保留但合并严重的肺部和胸腔病变时,低氧合血液经左心室射出,从而导致由心脏灌注的上半身器官和组织发生缺氧,而 ECMO 灌注的下半身器官和组织氧供正常^[62]。POCUS 可以评估左心射血情况及肺部和胸腔的病

变程度,从而推测经心肺血流是否低氧^[63]。降主动脉的彩色多普勒超声或超声造影,还可以辅助明确心脏射血和 ECMO 血流的“分水岭”,从而更好地区分心脏射血和 ECMO 血流灌注的范围^[15,64]。

对于差异性缺氧,通常处理方法包括:①治疗肺和胸腔病变,如控制肺部感染、引流胸腔积液、处理气胸等;②增加经心肺血液氧的饱和度,如优化呼吸机设置、肺复张、俯卧位治疗等;③将 ECMO 切换成 VAV-ECMO 模式;④若心功能基本恢复,而肺部病变较严重,可切换成 VV-ECMO;⑤增加 ECMO 血流灌注的区域^[62]。临床医生可参考 POCUS 评估结果,根据患者实际情况选择合适的处理方法。

共识 13: VV-ECMO 运行期间,建议每日应用 POCUS 对肺脏进行全面扫查,评估肺脏病变的变化趋势。〔推荐强度(7.81±1.33)分〕

VV-ECMO 运行期间,肺脏超声可在床旁协助快速判断肺脏的渗出、不张、实变、胸腔积液及气胸等病变的范围、程度和动态变化,也可用于监测保护性通气和俯卧位等措施的治疗效果^[65]。临床上可采用肺超声评分法^[66]评估肺脏气化程度,根据每个区域肺脏超声征象评 0~3 分,12 区域得分相加计为总分,评分越高提示肺脏气化程度越差,病变越严重。有研究显示,VV-ECMO 患者肺超声评分与动态肺顺应性之间存在强负相关^[67];对于需 VV-ECMO 支持的 ARDS 患者,肺超声评分与 CT 和胸部 X 线发现的病变相关,可用于评估肺脏通气功能^[68]。病例报道显示,肺超声有助于评估重度 ARDS 患者肺通气和恢复情况^[69]。有研究表明,VV-ECMO 运行当日和之后每隔 1 d 的肺超声评分与 C-反应蛋白呈显著正相关($r=0.34, P<0.03$),而与肺顺应性呈显著负相关($r=0.60, P<0.0001$)^[70]。Mongodi 等^[71]初步研究也建议对需 VV-ECMO 支持的 ARDS 患者进行每日肺超声评分,动态监测肺病变的改善情况,其动态变化可能对预后的预测起重要作用。此外,肺超声评分还可预测需 VV-ECMO 支持的重度 ARDS 患者的预后,撤除 ECMO 时幸存者的肺通气功能显著改善,而非幸存者的肺通气功能则持续严重丧失^[72]。但需要注意的是,存在气胸或皮下气肿时无法进行相应部位的肺超声评分。

共识 14: VV-ECMO 运行期间,建议应用 POCUS 监测右心室大小、形状、室间隔运动、TAPSE、右室 FAC、三尖瓣环 S' 等指标,动态评估右心室功能。〔推荐强度(7.81±1.33)分〕

低氧、高碳酸血症、机械通气高压、广泛的肺毛细血管微血栓形成和脓毒症心肌抑制等因素可导致 ARDS 患者发生急性右心功能障碍。即使在行 VV-ECMO 支持后纠正了低氧和高碳酸血症,实施超保护通气降低通气的压力,半数以上患者仍可存在不同程度的右心功能障碍^[21]。近年来有研究报道,在 VV-ECMO 运行期间也可能新发急性右心功能障碍,可能与新发肺循环微血管血栓形成、ECMO 开始后呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)降低导致肺不张引起肺泡外血管阻力增加、通过三尖瓣进入右心室的持续非搏动血流等有关^[73]。急性右心功能障碍与 ARDS 患者病死率直接相关^[74-75]。因此,VV-ECMO 运行期间右心功能的评估至关重要。

POCUS 是评估重症患者右心功能的重要工具^[76-77],重点关注右心室大小、形状、室间隔运动及收缩功能等,通过测定 TAPSE、右室 FAC、三尖瓣环 S' 等指标评估收缩功能(参考共识 2 相关内容)。此外,肺动脉压力升高是导致右心功能障碍的重要原因之一,但是在 VV-ECMO 期间不能通过 POCUS 测定三尖瓣反流来反映肺动脉压力。对于右心室功能障碍的常用处理方法有降低机械通气驱动压和滴定最佳 PEEP、俯卧位通气、应用血管活性药物和(或)主动脉内球囊反搏(intra-aortic balloon pump, IABP),甚至转换模式为 VAV-ECMO 等^[73]。处理后可采用 POCUS 动态监测右心室功能变化,评估处理效果。

共识 15: VV-ECMO 运行期间出现低氧血症时,建议应用 POCUS 重点评估容量状态、导管尖端位置、CO、肺脏病变等以帮助判断低氧血症的原因。〔推荐强度(8.08±0.93)分〕

VV-ECMO 运行期间低氧血症与 ECMO 流量低、ECMO 流量/CO 比值过低、再循环比例过高、氧合器功能差、低血红蛋白、氧耗过高和患者自身肺功能差等多种因素有关。首先排查 ECMO 流量是否下降,若 ECMO 流量下降则需要考虑:①血容量不足,通过 POCUS 检查引流导管是否贴壁,以及测定 IVC 直径和左室舒张末期面积等判断血容量状态,必要时适当补液^[78];② ECMO 导管位置不佳,POCUS 检查引流导管尖端是否远离右心房开口或误入肝静脉等,并可在 POCUS 引导下调整导管位置。此外,还需要排查是否存在导管打折等情况。

如果流量相对稳定,可通过 POCUS 协助寻找

以下可能原因并予以相应处理^[55, 79]: ① ECMO 流量/CO 比值过低, 通过 POCUS 测量 CO 并计算 ECMO 流量/CO 比值, 可考虑加深镇痛镇静、使用 β 受体阻滞剂等适当降低 CO, 或增加 ECMO 流量, 优化 ECMO 流量/CO 比值 >0.60 ; ② 引流导管和回输导管的尖端过近导致再循环率过高, 可在 POCUS 实时引导下调整导管位置, 以降低再循环率; ③ 若肺功能进一步恶化, 可用肺超声动态监测肺部病变变化并采取相应措施以改善肺功能(如优化机械通气参数、肺复张、俯卧位通气等)。需要注意到引起低氧血症的原因还有低血红蛋白、氧耗过高和 ECMO 氧合器功能障碍等, 这些情况无法通过 POCUS 评估。

2.5 POCUS 在 ECMO 撤离中的应用: 对于病情趋于稳定的 ECMO 患者, 尽早评估是否可以撤离 ECMO; 对于难以撤离 ECMO 的患者, 则根据临床情况和家属意愿等因素综合评估, 决定是否进行左心室辅助、心脏移植、肺移植或放弃治疗等。撤机前均需要运用 POCUS 结合临床多方面信息等进行充分评估, 这对于成功撤机非常重要。

共识 16: VA-ECMO 撤机前, 建议应用 POCUS 监测 LVOT 的 VTI、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、二尖瓣环收缩期峰值速度(二尖瓣环 S') 等指标, 帮助判断是否可以撤离 ECMO。 [推荐强度 (8.23 ± 1.11) 分]

在患者心脏逐渐恢复的同时应当考虑逐步撤除 VA-ECMO。至少每日 1 次 POCUS 评估左心功能, 并进行前后对比, 动态监测左心功能改善状况。下调 VA-ECMO 流量过程中需保持良好灌注(乳酸 <2 mmol/L) 和器官功能改善。在 VA-ECMO 流量为 2.0 ~ 2.5 L/min 时, 只需要小剂量的血管活性药物和正性肌力药物即可维持脉压差 >10 mmHg、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP) >65 mmHg, 就具备了尝试撤离 ECMO 的条件^[80]。

撤机时逐渐减低 VA-ECMO 流量, 在 ECMO 流量低至 1.0 ~ 1.5 L/min 时, 1 ~ 2 种小剂量血管活性药物或正性肌力药物可维持 MAP >60 mmHg, 中心静脉压(central venous pressure, CVP) ≤ 10 mmHg, 同时心脏超声测定 LVOT 的 VTI $\geq 10 \sim 12$ cm, LVEF $\geq 20\% \sim 25\%$, 二尖瓣环 S' ≥ 6 cm/s, 提示撤机成功的可能性很大^[80-81]。有学者认为, 反映左室舒张功能的参数对判断能否成功撤机的帮助很小, 右心室相关测量对判断能否成功撤机的意义不明^[82-83]。还有一些研究提出了其他的超声指标, 但是否有效应

还需要验证。一项纳入 92 例 VA-ECMO 患者的多中心回顾性研究显示, 在超声指标方面, 与较普遍接受的预示成功撤机的指标(LVOT VTI ≥ 10 cm, LVEF $\geq 20\% \sim 25\%$, 二尖瓣环 S' ≥ 6 cm/s) 相比, 二尖瓣环侧壁舒张早期运动速度(e') 和三尖瓣环 S' 预测价值更高^[84]。另外, 一项小样本回顾性研究显示, 3D- 右心室射血分数(right ventricular ejection fraction, RVEF, 临界值 0.246) 判断 VA-ECMO 撤机成功与否的受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线) 下面积(area under the ROC curve, AUC) 为 0.90 [95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI) 为 0.80 ~ 0.99], 与 LVEF (临界值 0.308) 的 AUC 0.74 (95%CI 为 0.58 ~ 0.91) 无明显差异^[85]。

共识 17: VV-ECMO 撤机前, 建议使用 POCUS 重点对肺和右心功能进行评估, 帮助判断是否可以撤离 ECMO。 [推荐强度 (7.96 ± 1.04) 分]

目前 POCUS 在 VV-ECMO 中的研究较少^[76]。肺超声、右心功能超声在评估 VV-ECMO 撤机中发挥了一定作用。

肺超声评估 VV-ECMO 模式下肺部原发病变的改善, 肺部主要表现为不均质的渗出实变基本吸收, 肺顺应性改善, 减少 ECMO 供气浓度和流量的过程中不出现显著的气体交换障碍和右心压力增高表现, 对脱机成功至关重要。有研究表明, ECMO 运行后肺超声评分呈不断下降趋势提示成功撤机的可能性较大^[70]。也有研究显示, ECMO 运行开始后每日肺超声评分, 肺超声评分 ≤ 15 分的患者 VV-ECMO 成功撤机的可能性较大^[71]。

VV-ECMO 可改善严重 ARDS 患者的右心功能障碍^[21, 86-87]。当 POCUS 评估提示右心功能不全时, VV-ECMO 撤机失败的风险可能较高^[88]。另外, 在中断氧合器的供氧气流或适当减低 ECMO 流量以及调整呼吸机参数准备撤机时, 如果出现右心功能不全或加重, 则 VV-ECMO 撤机失败的风险可能较高。撤机前降低 VV-ECMO 流量时, POCUS 对三尖瓣反流的评价变得更准确, 更能反映右心室收缩压。VV-ECMO 撤机过程中右心功能评估重点包括右心大小、形状、室间隔运动及收缩功能等(可参考本文共识 2 相关内容)。

2.6 POCUS 在 ECMO 并发症管理中的应用: ECMO 并发症可分为机械相关并发症和患者相关并发症, 及时发现和处理是 ECMO 成功的关键。POCUS 主

要用于发现和鉴别患者相关的并发症,如出血、血栓、假性动脉瘤、肢体缺血、感染等^[89-90]。脑损伤、弥散性血管内凝血、溶血、内环境紊乱等并发症则需要其他的监测方法。

共识 18: 在 ECMO 运行期间,怀疑出血时,建议使用 POCUS 探查胸腔、腹腔、盆腔、心包、胃肠道等部位有无出血征象,帮助筛查出血部位。〔推荐强度(8.12±0.91)分〕

出血是 ECMO 辅助期间最常见的并发症^[89-90],手术、穿刺等部位出血易被发现,非手术部位严重出血危及生命的可能性更大,常见出血部位有胸腔、腹腔、心包、颅内、胃肠道等,POCUS 可直接或间接帮助判断出血部位、血肿范围、对周围组织器官压迫情况等。出现血红蛋白下降、低血压、心率快等疑似出血的病情变化时,及时使用 POCUS 探查胸腔、腹腔、盆腔、心包、胃肠道等部位有无出血征象。此外,颅内出血形成的颅高压可以通过 POCUS 测定视神经鞘直径、中线位置及脑血流等进行筛查或监测,注意结合脑组织氧饱和度、脑电图等监测手段,必要时进行 CT 检查^[91-92]。

共识 19: 在 ECMO 运行期间及撤机后,建议使用 POCUS 监测导管周围、腔静脉、心脏各腔室、主动脉根部等部位有无血栓形成。〔推荐强度(7.92±1.29)分〕

血栓形成是 ECMO 辅助期间常见并发症^[93-94],随着肝素涂层管道的问世,抗凝剂的持续应用,血栓栓塞事件的发生率明显下降,但临床上仍经常有导管内血栓、静脉血栓、肺动脉栓塞、心腔内血栓、下肢动脉血栓等血栓事件发生,尤其是穿刺部位及 ECMO 管道周围。POCUS 在监测血栓发生方面具有明显优势,ECMO 运行期间每日应用 POCUS 监测导管内、深静脉、下肢动脉、心腔等部位可及时发现血栓,主要方法包括血管加压及多普勒探测血流。撤机后穿刺部位血栓形成往往发生在 4 d 内,大多发生在撤机后 1~3 d(中位时间 2 d)^[95],撤机后应继续用 POCUS 检查穿刺部位血管是否有血栓。

除以上并发症外,每日使用 POCUS 对 VA-ECMO 患者置入灌注导管侧肢体远端的动脉(如股浅动脉、腘动脉、足背动脉等)进行血流速度监测,有助于早期发现肢体缺血;POCUS 有助于静脉撕裂、动脉夹层、穿刺部位血肿、假性动脉瘤等并发症的早期识别;POCUS 在肺部感染的动态监测方面有较大优势;POCUS 还可以显示腹腔积液、腹腔积气、胆道

扩张、胆囊炎,从而诊断或排除不同部位感染。此外,POCUS 可以通过观察胃肠道形态、蠕动、血流等评估胃肠道功能。

3 局限性

虽然 POCUS 在重症患者 ECMO 救治中发挥着重要作用,但是仍存在一些局限:① 肥胖、皮下气肿、操作部位敷料覆盖等原因可引起声窗不佳,POCUS 难以获取清晰的图像,此时应采用其他手段评估患者病情;② 在 ECMO 特定条件下 POCUS 也存在一定局限性,如在 VA-ECMO 运行期间的平流状态下不能使用 POCUS 评估肾脏等重要器官的灌注,应采用其他方法监测和评估;③ 临床医师对 POCUS 的掌握程度存在差异,应加强规范操作的培训,避免因操作问题而引起的偏差和错误。此外,应当注意到接受 ECMO 治疗的患者病情危重,ECMO 团队不仅要利用 POCUS 进行恰当评估以获得临床信息,还应当结合所有临床资料,综合评估后做出决策。

4 总结

POCUS 具有快捷、准确、无创、可重复、实时动态观察等优点,在 ECMO 救治的多个环节均可发挥重要作用。临床医师应利用 POCUS 对 ECMO 患者进行动态监测,指导临床诊疗,争取 ECMO 患者良好的预后。此外,未来仍需要进一步开展 POCUS 帮助 ECMO 规范管理的临床研究,为 POCUS 在 ECMO 管理中的应用提供更加坚实的循证医学依据。

项目主持 尚游(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科)

共识撰写小组(姓氏笔画为序) 王鹏(宜昌市第一人民医院重症医学科),史源(河南省人民医院重症医学科),邹晓静(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),余愿(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),杨小博(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),张建成(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),李瑞婷(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),李宏宾(郑州大学第一附属医院重症医学科),舒化青(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科)

共识制定专家(姓氏笔画为序) 丁仁斌(中国医科大学第一附属医院重症医学科),王雪(西安交通大学附属第一医院重症医学科),王洪亮(哈尔滨医科大学附属第二医院重症医学科),王鹏(宜昌市第一人民医院重症医学科),方巍(山东省立医院重症医学科),左祥荣(南京医科大学第一附属医院重症医学科),史源(河南省人民医院重症医学科),刘小军(郑州大学第二附属医院重症医学科),刘芬(南昌大学第一附属医院重症医学科),刘景仑(重庆医科大学附属第一医院急诊和重症医学科),刘松桥(东南大学附属中大医院重症医学科),刘东(中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院重症医学科),李欣(复旦大学附属中山医院体外循环科),李瑞婷(华中科技

大学同济医学院附属协和医院重症医学科),李宏宾(郑州大学第一附属医院重症医学科),杜中涛(首都医科大学附属北京安贞医院心脏外科危重症中心),邵换璋(河南省人民医院重症医学科),吴健锋(中山大学附属第一医院重症医学科),杨向红(浙江省人民医院重症医学科),杨小博(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),余愿(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),邹晓静(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),张东(吉林大学第一医院重症医学科),张玮(昆明医科大学第一附属医院急诊医学科),张露(湖北文理学院附属医院重症医学科),张建成(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),郑霞(浙江大学医学院附属第一医院重症医学科),郭凤梅(东南大学附属中大医院重症医学科),钟鸣(复旦大学附属中山医院重症医学科),胡军涛(广西医科大学第一附属医院重症医学科),徐永昊(广州医科大学附属第一医院重症医学科),隆云(北京协和医院重症医学科),黄晓波(四川省人民医院重症医学科),程周(中山市人民医院麻醉科)舒化青(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),谢晖(上海交通大学附属第一人民医院重症医学科),潘爱军(中国科学技术大学附属第一医院重症医学科)

指导专家 侯晓彤(首都医科大学附属安贞医院),陈德昌(上海交通大学医学院附属瑞金医院),黎毅敏(广州医科大学附属第一医院),秦秉玉(河南省人民医院),孙荣青(郑州大学第一附属医院),孙同文(郑州大学第一附属医院),李斌飞(中山市人民医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2009, 374 (9698): 1351-1363. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2.
- Combes A, Hajage D, Capellier G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome [J]. *N Engl J Med*, 2018, 378 (21): 1965-1975. DOI: 10.1056/NEJMoa1800385.
- Díaz-Gómez JL, Mayo PH, Koenig SJ. Point-of-care ultrasonography [J]. *N Engl J Med*, 2021, 385 (17): 1593-1602. DOI: 10.1056/NEJMr1916062.
- Diamond IR, Grant RC, Feldman BM, et al. Defining consensus: a systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies [J]. *J Clin Epidemiol*, 2014, 67 (4): 401-409. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2013.12.002.
- Hussey PT, von Mering G, Nanda NC, et al. Echocardiography for extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Echocardiography*, 2022, 39 (2): 339-370. DOI: 10.1111/echo.15266.
- Bhatia M, Katz JN. Contemporary comprehensive monitoring of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation patients [J]. *Can J Cardiol*, 2020, 36 (2): 291-299. DOI: 10.1016/j.cjca.2019.10.031.
- Cianchi G, Lazzeri C, Bonizzoli M, et al. Echo-guided insertion of a dual-lumen cannula for venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2019, 65 (4): 414-416. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000826.
- Griffiee MJ, Zimmerman JM, McKellar SH, et al. Echocardiography-guided dual-lumen venovenous extracorporeal membrane oxygenation cannula placement in the ICU: a retrospective review [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34 (3): 698-705. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.10.024.
- Hayes D Jr, Preston TJ, Davis IC, et al. Contrast transthoracic echocardiography and the placement of a bicaval dual-lumen catheter in a Swine model of venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Artif Organs*, 2013, 37 (6): 574-576. DOI: 10.1111/aor.12044.
- Dolch ME, Frey L, Buerkle MA, et al. Transesophageal echocardiography-guided technique for extracorporeal membrane oxygenation dual-lumen catheter placement [J]. *ASAIO J*, 2011, 57 (4): 341-343. DOI: 10.1097/MAT.0b013e3182179aee.
- Hayes D Jr, Preston TJ, McConnell PI, et al. Bedside saline-contrast transthoracic echocardiography placement of bicaval dual-lumen catheter for venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187 (12): 1395-1396. DOI: 10.1164/rccm.201211-2038LE.
- Au SY, Fong KM, Ng WG, et al. Confirming distal perfusion catheter position by micro-bubbles in patients on peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2019, 65 (7): 753-755. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000868.
- Platts D, Fraser JF, Mullany D, et al. Left ventricular endocardial definition enhancement using perflutren microsphere contrast echocardiography during peripheral venoarterial extracorporeal membranous oxygenation [J]. *Echocardiography*, 2010, 27 (9): E112-E114. DOI: 10.1111/j.1540-8175.2010.01184.x.
- Pierrakos C, Collot V, Van Lieshout H, et al. Injection of agitated saline to detect recirculation with transthoracic echocardiography during venovenous extracorporeal oxygenation: a pilot study [J]. *J Crit Care*, 2017, 37: 60-64. DOI: 10.1016/j.jccr.2016.08.017.
- Buchtele N, Staudinger T, Schwameis M, et al. Feasibility and safety of watershed detection by contrast-enhanced ultrasound in patients receiving peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a prospective observational study [J]. *Crit Care*, 2020, 24 (1): 126. DOI: 10.1186/s13054-020-02849-y.
- Donker DW, Meuwese CL, Braithwaite SA, et al. Echocardiography in extracorporeal life support: a key player in procedural guidance, tailoring and monitoring [J]. *Perfusion*, 2018, 33 (1_suppl): 31-41. DOI: 10.1177/0267659118766438.
- Douflé G, Roscoe A, Billia F, et al. Echocardiography for adult patients supported with extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Crit Care*, 2015, 19: 326. DOI: 10.1186/s13054-015-1042-2.
- 袁婷, 姚尚龙, 尚游. 超声在急性呼吸窘迫综合征合并急性肺源性心脏病诊断和治疗中的应用 [J]. *中华危重病急救医学*, 2016, 28 (6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.06.021.
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28 (1): 1-39. e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
- Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, 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]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23 (7): 685-713; quiz 786-788. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
- Bünge JH, Caliskan K, Gommers D, et al. Right ventricular dysfunction during acute respiratory distress syndrome and venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10 (Suppl 5): S674-S682. DOI: 10.21037/jtd.2017.10.75.
- Berg I, Walpot K, Lamprecht H, et al. A systemic review on the diagnostic accuracy of point-of-care ultrasound in patients with undifferentiated shock in the emergency department [J]. *Cureus*, 2022, 14 (3): e23188. DOI: 10.7759/cureus.23188.
- Lorusso R, Shekar K, MacLaren G, et al. ELSO interim guidelines for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in adult cardiac patients [J]. *ASAIO J*, 2021, 67 (8): 827-844. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001510.
- ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. *JAMA*, 2012, 307 (23): 2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.
- Boeken U, Assmann A, Beckmann A, et al. S3 guideline of extracorporeal circulation (ECLS/ECMO) for cardiocirculatory failure [J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 69 (S04): S121-S212. DOI: 10.1055/s-0041-1735490.
- Tonna JE, Abrams D, Brodie D, et al. Management of adult patients supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation

- (VV ECMO): guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) [J]. *ASAIO J*, 2021, 67 (6): 601–610. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001432.
- [27] Vieillard-Baron A, Millington SJ, Sanfilippo F, et al. A decade of progress in critical care echocardiography: a narrative review [J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45 (6): 770–788. DOI: 10.1007/s00134-019-05604-2.
- [28] Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, et al. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 183 (3): 341–347. DOI: 10.1164/rccm.201003-0369OC.
- [29] Koenig S, Mayo P, Volpicelli G, et al. Lung ultrasound scanning for respiratory failure in acutely ill patients: a review [J]. *Chest*, 2020, 158 (6): 2511–2516. DOI: 10.1016/j.chest.2020.08.2052.
- [30] Kearns MJ, Walley KR. Tamponade: hemodynamic and echocardiographic diagnosis [J]. *Chest*, 2018, 153 (5): 1266–1275. DOI: 10.1016/j.chest.2017.11.003.
- [31] Rosseel T, Van Puyvelde T, Voigt JU, et al. How to perform focused transesophageal echocardiography during extracorporeal cardiopulmonary resuscitation? [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, jeac205. DOI: 10.1093/ehjci/jeac205.
- [32] Vilacosta I, San Román JA, di Bartolomeo R, et al. Acute aortic syndrome revisited: JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 78 (21): 2106–2125. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.09.022.
- [33] Pappalardo F, Regazzoli D, Mangieri A, et al. Hemodynamic and echocardiographic effects of aortic regurgitation on femoro-femoral veno-arterial ECMO [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 202: 760–762. DOI: 10.1016/j.ijcard.2015.10.062.
- [34] Veen KM, Yalcin YC, Mokhles MM. Sufficient methods for monitoring aortic insufficiency [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111 (3): 1098. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2020.05.117.
- [35] Benassi F, Vezzani A, Vignali L, et al. Ultrasound guided femoral cannulation and percutaneous perfusion of the distal limb for VA ECMO [J]. *J Card Surg*, 2014, 29 (3): 427–429. DOI: 10.1111/jocs.12319.
- [36] Zakhary B, Oppenheimer BW. ECMO for all? Challenging traditional ECMO contraindications [J]. *J Crit Care*, 2018, 48: 451–452. DOI: 10.1016/j.jcrc.2018.09.020.
- [37] Conrad SA, Grier LR, Scott LK, et al. Percutaneous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation by intensivists: a retrospective single-institution case series [J]. *Crit Care Med*, 2015, 43 (5): 1010–1015. DOI: 10.1097/CCM.0000000000000883.
- [38] Kouch M, Green A, Damuth E, et al. Rapid development and deployment of an intensivist-led venovenous extracorporeal membrane oxygenation cannulation program [J]. *Crit Care Med*, 2022, 50 (2): e154–e161. DOI: 10.1097/CCM.0000000000005282.
- [39] Wang LS, Yang F, Zhang S, et al. Percutaneous versus surgical cannulation for femoro-femoral VA-ECMO in patients with cardiogenic shock: results from the Extracorporeal Life Support Organization registry [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2022, 41 (4): 470–481. DOI: 10.1016/j.healun.2022.01.009.
- [40] Banfi C, Pozzi M, Siegenthaler N, et al. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: cannulation techniques [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8 (12): 3762–3773. DOI: 10.21037/jtd.2016.12.88.
- [41] Ahn HJ, Lee JW, Joo KH, et al. Point-of-care ultrasound-guided percutaneous cannulation of extracorporeal membrane oxygenation: make it simple [J]. *J Emerg Med*, 2018, 54 (4): 507–513. DOI: 10.1016/j.jemermed.2017.12.013.
- [42] Burns J, Cooper E, Salt G, et al. Retrospective observational review of percutaneous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2016, 62 (3): 325–328. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000339.
- [43] Napp LC, Kühn C, Hoepfer MM, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults [J]. *Clin Res Cardiol*, 2016, 105 (4): 283–296. DOI: 10.1007/s00392-015-0941-1.
- [44] Schmidt GA, Blaivas M, Conrad SA, et al. Ultrasound-guided vascular access in critical illness [J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45 (4): 434–446. DOI: 10.1007/s00134-019-05564-7.
- [45] Giorgetti R, Chiricolo G, Melniker L, et al. RESCUE transesophageal echocardiography for monitoring of mechanical chest compressions and guidance for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation cannulation in refractory cardiac arrest [J]. *J Clin Ultrasound*, 2020, 48 (3): 184–187. DOI: 10.1002/jcu.22788.
- [46] Fair J, Tonna J, Ockerse P, et al. Emergency physician-performed transesophageal echocardiography for extracorporeal life support vascular cannula placement [J]. *Am J Emerg Med*, 2016, 34 (8): 1637–1639. DOI: 10.1016/j.ajem.2016.06.038.
- [47] Chimot L, Marqué S, Gros A, et al. Avalon® bicaval dual-lumen cannula for venovenous extracorporeal membrane oxygenation: survey of cannula use in France [J]. *ASAIO J*, 2013, 59 (2): 157–161. DOI: 10.1097/MAT.0b013e31827db6f3.
- [48] Staudacher D, Schmutz A, Biever P, et al. Echocardiographic guidance for Avalon Elite dual-lumen catheter implantation [J]. *Crit Care*, 2014, Suppl 1 (18): 340. DOI: 10.1186/cc13530.
- [49] Hemamalini P, Dutta P, Attawar S. Transesophageal echocardiography compared to fluoroscopy for Avalon Bicaval dual-lumen cannula positioning for venovenous ECMO [J]. *Ann Card Anaesth*, 2020, 23 (3): 283–287. DOI: 10.4103/aca.ACA_75_19.
- [50] 邹晓静, 杨乐, 周婷, 等. 双腔导管在成人静脉-静脉体外膜肺氧合中的应用 [J]. *中华危重病急救医学*, 2022, 34 (5): 545–549. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220315-00245.
- [51] Russ M, Steiner E, Boemke W, et al. Extracorporeal membrane oxygenation blood flow and blood recirculation compromise the modulated-based measurements of cardiac output [J]. *ASAIO J*, 2022, 68 (5): 721–729. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001592.
- [52] Bermudez CA, Rocha RV, Sappington PL, et al. Initial experience with single cannulation for venovenous extracorporeal oxygenation in adults [J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 90 (3): 991–995. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2010.06.017.
- [53] Basilio C, Fontoura A, Fernandes J, et al. Cardiac tamponade complicating extracorporeal membrane oxygenation: a single-centre experience [J]. *Heart Lung Circ*, 2021, 30 (10): 1540–1544. DOI: 10.1016/j.hlc.2021.05.078.
- [54] Castro DM, Morris I, Teijeiro-Paradis R, et al. Monitoring during extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2022, 28 (3): 348–359. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000939.
- [55] Patel B, Arcaro M, Chatterjee S. Bedside troubleshooting during venovenous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) [J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11 (Suppl 14): S1698–S1707. DOI: 10.21037/jtd.2019.04.81.
- [56] Krishnan S, Schmidt GA. Hemodynamic monitoring in the extracorporeal membrane oxygenation patient [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2019, 25 (3): 285–291. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000602.
- [57] Bailleul C, Aissaoui N. Role of echocardiography in the management of veno-arterial extra-corporeal membrane oxygenation patients [J]. *J Emerg Crit Care Med*, 2019, 3: 25. DOI: 10.21037/jecem.2019.05.03.
- [58] Bidar F, Lancelot A, Lebreton G, et al. Venous or arterial thromboses after venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support: frequency and risk factors [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2021, 40 (4): 307–315. DOI: 10.1016/j.healun.2020.12.007.
- [59] De Bono JA, McGiffin DC, Waldron B, et al. Spontaneous echo contrast mimicking aortic root thrombus in a patient supported with extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Echocardiography*, 2019, 36 (2): 419–421. DOI: 10.1111/echo.14265.
- [60] Schiller P, Vikholm P, Hellgren L. Experimental venoarterial extracorporeal membrane oxygenation induces left ventricular dysfunction [J]. *ASAIO J*, 2016, 62 (5): 518–524. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000392.
- [61] Meani P, Delnoij T, Raffa GM, et al. Protracted aortic valve closure during peripheral veno-arterial extracorporeal life support: is intra-aortic balloon pump an effective solution? [J]. *Perfusion*, 2019, 34 (1): 35–41. DOI: 10.1177/0267659118787426.
- [62] Falk L, Sallisalimi M, Lindholm JA, et al. Differential hypoxemia during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Perfusion*, 2019, 34 (1_suppl): 22–29. DOI: 10.1177/0267659119830513.
- [63] Pasquero J, Dureau P, Arcile G, et al. Usefulness of lung ultrasound for early detection of hospital-acquired pneumonia in cardiac critically ill patients on venoarterial extracorporeal

- membrane oxygenation [J]. *Ann Intensive Care*, 2022, 12 (1): 43. DOI: 10.1186/s13613-022-01013-9.
- [64] Konishi H, Misawa Y, Nakagawa Y, et al. Doppler aortic flow pattern in the recovering heart treated by cardiac extracorporeal membrane oxygenation International Society for Artificial Organs [J]. *Artif Organs*, 1999, 23 (4): 367-369. DOI: 10.1046/j.1525-1594.1999.06193.x.
- [65] Zhang HL, Liu ZD, Shu HQ, et al. Prone positioning in ARDS patients supported with VV ECMO, what we should explore? [J]. *J Intensive Care*, 2022, 10 (1): 46. DOI: 10.1186/s40560-022-00640-5.
- [66] Rouby JJ, Arbelot C, Gao YZ, et al. Training for lung ultrasound score measurement in critically ill patients [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 198 (3): 398-401. DOI: 10.1164/rccm.201802-0227LE.
- [67] Ntounenopoulos G, Buscher H, Scott S. Lung ultrasound score as an indicator of dynamic lung compliance during veno-venous extra-corporeal membrane oxygenation [J]. *Int J Artif Organs*, 2021, 44 (3): 194-198. DOI: 10.1177/0391398820948870.
- [68] Curry S, Tan A, Gargani L, et al. Lung ultrasound and the role of lung aeration score in patients with acute respiratory distress syndrome on extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Int J Artif Organs*, 2021, 44 (11): 854-860. DOI: 10.1177/03913988211051395.
- [69] Taniguchi H, Ohta S, Honzawa H, et al. Usefulness of serial lung ultrasound for a severe COVID-19 patient on extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Respir Med Case Rep*, 2021, 33: 101383. DOI: 10.1016/j.rmcr.2021.101383.
- [70] Møller-Sørensen H, Gjedsted J, Lind Jørgensen V, et al. COVID-19 assessment with bedside lung ultrasound in a population of intensive care patients treated with mechanical ventilation and ECMO [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10 (7): 447. DOI: 10.3390/diagnostics10070447.
- [71] Mongodi S, Pozzi M, Orlando A, et al. Lung ultrasound for daily monitoring of ARDS patients on extracorporeal membrane oxygenation: preliminary experience [J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44 (1): 123-124. DOI: 10.1007/s00134-017-4941-7.
- [72] Lu X, Arbelot C, Schreiber A, et al. Ultrasound assessment of lung aeration in subjects supported by venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Respir Care*, 2019, 64 (12): 1478-1487. DOI: 10.4187/respcare.06907.
- [73] Zochios V, Yusuff H, Conway H, et al. The right ventricle during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory distress syndrome: can we protect the injured ventricle? [J]. *ASAIO J*, 2022, 68 (4): 456-460. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001655.
- [74] Vallabhajosyula S, Shankar A, Vojjini R, et al. Impact of right ventricular dysfunction on short-term and long-term mortality in sepsis: a Meta-analysis of 1 373 patients [J]. *Chest*, 2021, 159 (6): 2254-2263. DOI: 10.1016/j.chest.2020.12.016.
- [75] Sato R, Dugar S, Cheungpasitporn W, et al. The impact of right ventricular injury on the mortality in patients with acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis [J]. *Crit Care*, 2021, 25 (1): 172. DOI: 10.1186/s13054-021-03591-9.
- [76] Platts DG, Sedgwick JF, Burstow DJ, et al. The role of echocardiography in the management of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012, 25 (2): 131-141. DOI: 10.1016/j.echo.2011.11.009.
- [77] Harjola VP, Mebazaa A, Čelutkienė J, et al. Contemporary management of acute right ventricular failure: a statement from the Heart Failure Association and the Working Group on Pulmonary Circulation and Right Ventricular Function of the European Society of Cardiology [J]. *Eur J Heart Fail*, 2016, 18 (3): 226-241. DOI: 10.1002/ejhf.478.
- [78] 高学慧, 舒化青, 余愿, 等. 床旁超声监测下腔静脉在重症患者容量管理中的应用进展 [J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33 (11): 1379-1383. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210401-00493.
- [79] Messai E, Bouguerra A, Guarracino F, et al. Low blood arterial oxygenation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation: proposal for a rational algorithm-based management [J]. *J Intensive Care Med*, 2016, 31 (8): 553-560. DOI: 10.1177/0885066616649134.
- [80] Richardson ASC, Tonna JE, Nanjaya V, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. Interim guideline consensus statement from the Extracorporeal Life Support Organization [J]. *ASAIO J*, 2021, 67 (3): 221-228. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001344.
- [81] Aissaoui N, Luyt CE, Leprince P, et al. Predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) weaning after assistance for refractory cardiogenic shock [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37 (11): 1738-1745. DOI: 10.1007/s00134-011-2358-2.
- [82] Aissaoui N, Guerot E, Combes A, et al. Two-dimensional strain rate and Doppler tissue myocardial velocities: analysis by echocardiography of hemodynamic and functional changes of the failed left ventricle during different degrees of extracorporeal life support [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012, 25 (6): 632-640. DOI: 10.1016/j.echo.2012.02.009.
- [83] Roscoe A, Zochios V. Protecting the Right Ventricle network (PRORVnet). Echocardiography in weaning right ventricular mechanical circulatory support: are we measuring the right stuff? [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022, 36 (2): 362-366. DOI: 10.1053/j.jvca.2021.09.045.
- [84] Kim D, Jang WJ, Park TK, et al. Echocardiographic predictors of successful extracorporeal membrane oxygenation weaning after refractory cardiogenic shock [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34 (4): 414-422. e4. DOI: 10.1016/j.echo.2020.12.002.
- [85] 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. DOI: 10.1016/j.echo.2017.09.004.
- [86] Grant C Jr, Richards JB, Frakes M, et al. ECMO and right ventricular failure: review of the literature [J]. *J Intensive Care Med*, 2021, 36 (3): 352-360. DOI: 10.1177/0885066619900503.
- [87] Petit M, Jullien E, Vieillard-Baron A. Right ventricular function in acute respiratory distress syndrome: impact on outcome, respiratory strategy and use of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Front Physiol*, 2022, 12: 797252. DOI: 10.3389/fphys.2021.797252.
- [88] Ortiz F, Brunsvold ME, Bartos JA. Right ventricular dysfunction and mortality after cannulation for venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Crit Care Explor*, 2020, 2 (11): e0268. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000268.
- [89] Stokes JW, Gannon WD, Sherrill WH, et al. Bleeding, thromboembolism, and clinical outcomes in venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Crit Care Explor*, 2020, 2 (11): e0267. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000267.
- [90] Giuliano K, Bigelow BF, Etchill EW, et al. Extracorporeal membrane oxygenation complications in heparin- and bivalirudin-treated patients [J]. *Crit Care Explor*, 2021, 3 (7): e0485. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000485.
- [91] Zhang HL, Xu JQ, Yang XB, et al. Narrative review of neurologic complications in adults on ECMO: prevalence, risks, outcomes, and prevention strategies [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 713333. DOI: 10.3389/fmed.2021.713333.
- [92] Cho SM, Farrokh S, Whitman G, et al. Neurocritical care for extracorporeal membrane oxygenation patients [J]. *Crit Care Med*, 2019, 47 (12): 1773-1781. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004060.
- [93] Ripoll B, Rubino A, Besser M, et al. Observational study of thrombosis and bleeding in COVID-19 VV ECMO patients [J]. *Int J Artif Organs*, 2022, 45 (2): 239-242. DOI: 10.1177/0391398821989065.
- [94] Thomas J, Kostousov V, Teruya J. Bleeding and thrombotic complications in the use of extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Semin Thromb Hemost*, 2018, 44 (1): 20-29. DOI: 10.1055/s-0037-1606179.
- [95] Parzy G, Daviet F, Persico N, et al. Prevalence and risk factors for thrombotic complications following venovenous extracorporeal membrane oxygenation: a CT scan study [J]. *Crit Care Med*, 2020, 48 (2): 192-199. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004129.