

• 专家共识 •

中国成人经股动脉 VA-ECMO 治疗期间 下肢缺血防治专家共识 (2023)

中国医师协会体外生命支持专业委员会 山东省医师协会体外生命支持专业委员会

通信作者: 邢金燕, 青岛大学附属医院重症医学科, 山东青岛 266003, Email: xingjy@qdu.edu.cn

【摘要】 静脉-动脉体外膜肺氧合 (VA-ECMO) 是重度循环衰竭患者重要的救治技术, 其应用也越来越广泛。经股动脉置管简单便捷, 成为成人 VA-ECMO 最常用的置管方式。下肢缺血是经股动脉 VA-ECMO 治疗过程中的常见并发症, 一旦发生将严重影响患者预后及生存质量。为了规范 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血的管理, 降低致残率及病死率, 中国医师协会体外生命支持专业委员会和山东省医师协会体外生命支持专业委员会特组织国内具有 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制定了《中国成人经股动脉 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血防治专家共识 (2023)》, 以为经股动脉 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血的预防、监测及治疗提供有价值的参考。

【关键词】 静脉-动脉体外膜肺氧合; 下肢缺血; 专家共识

实践指南注册: 国际实践指南注册与透明化平台, PREPARE-2022CN631

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230426-00323

Expert consensus on prevention and treatment of lower limb ischemia during transfemoral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults in China (2023)

Extracorporeal Life Support Professional Committee of Chinese Medical Doctor Association, Extracorporeal Life Support Professional Committee of Shandong Physician Association

Corresponding author: Xing Jinyan, Department of Critical Care Medicine, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, Shandong, China, Email: xingjy@qdu.edu.cn

【Abstract】 Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) is an important technique for the treatment of patients with severe circulatory failure, and is used in a wider range. Canulation through the femoral artery is simple and convenient, which has become the most commonly used canulation method of VA-ECMO for adults. Lower limb ischemia is a common complication in transfemoral VA-ECMO therapy, which will seriously affect the prognosis and quality of life of patients. In order to standardize the lower limb ischemia management during VA-ECMO treatment and reduce disability and mortality, Extracorporeal Life Support Professional Committee of Chinese Medical Doctor Association and Extracorporeal Life Support Professional Committee of Shandong Physician Association organized multidisciplinary medical experts with ECMO proficiency from China to develop the *Expert consensus on prevention and treatment of lower limb ischemia during transfemoral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults in China (2023)*, based on literature review and their clinical practice experience. This consensus is expected to provide valuable reference for the prevention, monitoring and treatment of lower limb ischemia during femoral artery VA-ECMO treatment.

【Key words】 Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation; Lower limb ischemia; Expert consensus

Practice guideline registration: Practice Guideline Registration for Transparency, PREPARE-2022CN631

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230426-00323

静脉-动脉体外膜肺氧合 (veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO) 是一种有效的机械性循环支持方式, 其将部分静脉血从患者体内引流至体外, 经氧合器氧合后再由驱动泵泵入动脉系统, 可为各种原因导致的常规治疗无效的循环衰竭患者提供数天或数周, 甚至数月的持续循环支持^[1-2]。随着生物材料改良和技术进步, VA-ECMO 适应证不断扩大, 应用越来越广泛^[3-8]。根据置管部位不同, VA-ECMO 通常分为中心置管和外周置管两种形式。与中心置管及其他外周置管方式 (如腋动脉置管等) 相比, 股静动脉置管方式简单便捷, 可床旁快速实

施, 成为成人 VA-ECMO 最常用的置管方式^[9-10]。

然而, 接受 VA-ECMO 治疗的患者因本身血流动力学不稳定及逆行动脉插管会导致同侧动脉血流减少甚至中断, 容易造成下肢缺血; 大剂量血管活性药物的使用、血流缓慢和内皮损伤等因素导致下肢血栓形成及下肢远端灌注管 (distal perfusion catheter, DPC) 堵塞等, 也会造成或加重下肢缺血^[9]。

在接受外周 VA-ECMO 治疗的患者中, 同侧下肢缺血发生率为 10% ~ 70%^[11-13]。接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血可发生在 VA-ECMO 运行的任何阶段, 贯穿于置管、运行及撤机后整个过程, 在治疗

过程中一旦发生下肢缺血将导致患者病死率明显上升^[14-16],并严重影响存活者的生存质量^[17-18]。早期预防、及时发现、诊断及治疗是避免下肢缺血不良后果的重要措施^[17, 19-20]。目前对于 VA-ECMO 患者下肢缺血的管理尚未系统化、规范化。为了减少 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血的发生,降低患者致残率及病死率,中国医师协会体外生命支持专业委员会和山东省医师协会体外生命支持专业委员会特组织国内具有 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制定了《中国成人经股动脉 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血防治专家共识(2023)》,旨在规范 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血管理,并为进一步开展临床实践提供指导意见。

1 共识形成方法学

1.1 成立共识撰写组和专家组:共识撰写小组成员主要负责文献检索与筛选,确定共识主题、临床问题及主要内容,组织专家论证,收集整理专家意见,并对共识内容进行调整和修改。以“ECMO”“ECLS”“limb ischemia”和“下肢缺血”为检索词,共检索文献 352 篇,其中包括美国国立医学图书馆 PubMed 数据库 286 篇、Cochrane 图书馆数据库 16 篇、中国知网数据库 50 篇,检索时间为建库至 2022 年 9 月 30 日。主要纳入系统性综述、随机对照试验、队列研究、病例对照研究、病例系列等研究。专家组主要负责共识内容的评价、论证及审核。

1.2 共识主题和主要内容制订:本共识由中国医师协会体外生命支持专业委员会及山东省医师协会体外生命支持专业委员会牵头。共识的制订采用共识会议及专家投票的方式进行。主要过程包括:选定和申请题目、成立专家共识撰写小组、明确关键问题、通过文献检索及经验总结制定共识框架内容。

1.3 专家论证和撰写终稿:撰写专家共识初稿,提交共识编写组专家审核,收集和整理专家反馈意见,修订后召开专家讨论会,确定终稿,再次提交共识编写组专家审核定稿,最终专家组成员得出一致性程度较高的推荐意见。

本专家共识已经在国际实践指南注册与透明化平台注册(注册号:PREPARE-2022CN631)。专家共识计划书可在注册平台获取。

2 推荐意见及说明

2.1 VA-ECMO 治疗相关下肢缺血的危险因素

推荐意见 1:合并外周动脉血管疾病患者在接受 VA-ECMO 治疗期间发生下肢缺血风险增加。

外周动脉疾病作为一种动脉粥样硬化相关疾病,其斑块在动脉中积聚,导致动脉狭窄和闭塞,合并外周动脉疾病患者经股动脉置管建立 VA-ECMO 更容易导致股动脉阻塞,显著减少远端顺行血流或者造成血流中断,进而引起同侧下肢缺血;另外,在股动脉置管过程中可能导致动脉夹层或者局部斑块脱落,引起远端动脉栓塞,导致下肢缺血的发生。Zimpfer 等^[21]一项单中心观察性研究纳入了 174 例接受 VA-ECMO 治疗的患者,通过多因素回归分析发现,合并外周动脉疾病是发生下肢缺血的高危因素。另外多项回顾性研究也证实,外周动脉疾病与接受经股动脉 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的发生明显相关^[22-26]。同时也有回顾性研究表明,吸烟、糖尿病、慢性肺部疾病也是接受 VA-ECMO 治疗患者发生下肢缺血的高危因素,这可能与此类患者更容易发生外周动脉疾病有关^[27-29]。因此,对于合并外周动脉疾病的患者,在接受 VA-ECMO 治疗时应尽早采取预防措施,并密切监测下肢灌注。

推荐意见 2:血管活性药-强心药评分(vasoactive-inotropic score, VIS)、序贯器官衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)与 VA-ECMO 治疗期间下肢缺血存在相关性。

接受 VA-ECMO 治疗的大多数患者处于休克状态,需要大剂量血管活性药维持血压,血管处于收缩状态;另外,休克时大量酸性代谢产物形成,可能会加剧下肢缺血。VIS 评分越高提示患者心功能越差,需接受更大剂量的血管活性药,容易导致外周远端动脉血管收缩,影响远端灌注。Hu 等^[28]一项纳入 179 例患者的单中心回顾性研究显示,VA-ECMO 治疗 24 h 内 VIS 评分是患者发生下肢缺血的独立危险因素;另外 Yen 等^[23]研究也发现,接受 VA-ECMO 治疗发生下肢缺血的患者 VIS 评分明显高于未发生下肢缺血的患者(分:15.8±10.1 比 12.1±8.1, $P<0.01$)。

VIS 评分(Gaies 版本)=多巴胺剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+多巴酚丁胺剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+100×肾上腺素剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+100×去甲肾上腺素剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+10000×血管升压素剂量($\text{U}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+10×米力农剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

VIS 评分(Belletti 更新版本)=Gaies 版本 VIS 评分+依诺昔酮剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+50×左西孟旦剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+25×奥普力农剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+20×亚甲蓝剂量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)+10×苯肾上腺素剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)+10×特利加压素剂量($\mu\text{g}/\text{min}$)+0.25×血管紧张素 II 剂量($\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

SOFA 评分是评估患者病情危重程度的常用评分(表 1)。SOFA 评分越高,提示患者病情越严重,当

出现组织低灌注状态时,机体代偿能力越差,影响血管调节功能。Danial 等^[26]一项单中心回顾性研究通过对纳入的 814 例患者进行多因素回归分析发现,SOFA 评分与肢体缺血独立相关;另一项回顾性分析显示,下肢缺血组患者 VA-ECMO 治疗 24 h 后 SOFA 评分明显高于非下肢缺血组〔分:11.0(10.0, 11.0)比 9.0(7.0, 11.0), $P<0.01$ 〕^[11]。

因此,高 VIS 评分或者高 SOFA 评分患者在实施 VA-ECMO 时,应早期采取预防措施。

2.2 VA-ECMO 治疗期间患者下肢缺血的监测

推荐意见 3: VA-ECMO 治疗期间,下肢症状和体征监测是临床评估下肢缺血的简便方法,但存在一定局限性。

6P 综合征〔包括疼痛(pain)、苍白(pallor)、脉搏消失(pulselessness)、感觉异常(paresthesia)、运动障碍(paralysis)、皮温变化(poikilothermia)〕是公认的下肢缺血的典型表现^[2];相关研究中也把上述症状和体征作为肢体远端灌注不良的重要指标^[28]。然而,应用上述症状和体征判断接受 VA-ECMO 治疗的患者下肢缺血存在一定的局限性,如危重患者由于组织水肿,难以评估皮肤颜色变化和末梢组织灌注;对患者疼痛的评价需考虑镇静镇痛药物的影响;低温或低心排量患者的外周血管可能会收缩,导致血管搏动情况难以评估;VA-ECMO 产生的无搏动血流通常难以进行脉搏检查;患者运动检查受限等。此外,症状和体征监测存在一定的滞后性,不利于下肢缺血的早期发现。

推荐意见 4: VA-ECMO 治疗期间,下肢血流监测可用于判断下肢缺血。

目前对于下肢血流的监测大多采用多普勒超声检查。Breeding 等^[30]在一项回顾性研究中证明了针对接受 VA-ECMO 治疗患者利用多普勒超声测量足背动脉和胫骨后动脉的峰值收缩流速作为下肢缺

血监测指标的可行性。但在 VA-ECMO 治疗期间,当需要 ECMO 全流量支持或者出现心脏停止射血,缺乏搏动性血流时,会导致收缩期峰值流速不可靠。

毛细血管再充盈时间(capillary refill time, CRT)是反映肢体末端微循环灌注的一个简便指标^[31];若 CRT 超过 3 s 或者趾端/按压部位出现点状红斑,则说明存在局部组织微循环障碍。CRT 不受 VA-ECMO 非搏动血流的影响,因此可作为 VA-ECMO 的一项微循环监测指标,一定程度上反映了下肢远端灌注情况。

推荐意见 5: VA-ECMO 治疗期间,下肢组织氧饱和度及经皮氧分压/二氧化碳分压监测可用于下肢缺血的持续动态评估。

组织氧饱和度及经皮氧分压/二氧化碳分压可通过无创方法获得,而且操作简单、反应灵敏,更为重要的是能够进行持续动态监测,实现对下肢缺血的早期预警。

Patton-Rivera 等^[32]在回顾性研究中发现,利用近红外光谱(near infrared spectrum, NIRS)测量下肢组织氧饱和度 <0.50 、持续时间 >4 min 预测 VA-ECMO 患者下肢缺血的敏感度和特异度分别达到了 100% 及 95%。也有研究者将下肢组织氧饱和度的监测值较基础值下降 25% 作为 VA-ECMO 治疗期间患者下肢缺血的一项干预指标^[33]。另外,同时对股动脉插管对侧肢体组织氧饱和度进行监测,有利于明确下肢缺血病因,两侧差值 $>15\%$ 提示股动脉插管导致下肢缺血,两侧差值 $\leq 15\%$ 往往提示非插管相关性因素所致下肢缺血^[32]。

下肢经皮氧分压 ≤ 40 mmHg(1 mmHg ≈ 0.133 kPa)往往提示下肢缺血。一项共纳入 11 项研究的 Meta 分析显示,经皮氧分压 ≤ 20 mmHg 可作为截肢的临界值^[34]。潘飞艳等^[35]在一项回顾性研究中发现,经皮氧分压预测 VA-ECMO 治疗期间患者发生下肢缺血的临界值为 67.5 mmHg,且具有较高的诊断效

表 1 序贯器官衰竭评分(SOFA)的评估方法

器官/系统	变量	0分	1分	2分	3分	4分
呼吸系统	PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	>400	301~400	201~300	101~200且需呼吸支持	≤ 100 且需呼吸支持
血液系统	PLT($\times 10^9/L$)	>150	101~150	51~100	21~50	≤ 20
肝脏	胆红素($\mu\text{mol/L}$)	<20	20~32	33~101	102~204	>204
心血管系统	MAP(mmHg)	≥ 70	<70	多巴胺剂量 $\leq 5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或多巴酚丁胺任何剂量 ^a	多巴胺剂量 $> 5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或肾上腺素剂量 $\leq 0.1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或 NE 剂量 $\leq 0.1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1a}$	多巴胺剂量 $> 15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或肾上腺素剂量 $> 0.1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或 NE 剂量 $> 0.1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1a}$
中枢神经系统	GCS 评分(分)	15	13~14	10~12	6~9	<6
肾脏	SCr($\mu\text{mol/L}$) 或 24 h 尿量(mL)	<110	110~170	171~299	300~440 200~499	>440 <200

注:PaO₂/FiO₂为氧合指数,PLT为血小板计数,MAP为平均动脉压,NE为去甲肾上腺素,GCS为格拉斯哥昏迷评分,SCr为血肌酐;1 mmHg ≈ 0.133 kPa;GCS评分范围为3~15分,评分越高表明神经功能越好;a代表所有血管活性药应用时间至少1h;空白代表无此项



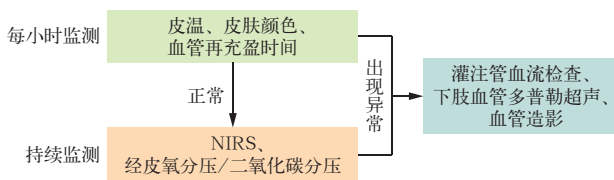
能(受试者工作特征曲线下面积为 0.937)。与经皮氧分压相比,经皮二氧化碳分压的影响因素较少。Sugimoto 等^[36]在一项前瞻性研究中发现,经皮二氧化碳分压 ≥ 100 mmHg 提示严重组织缺血,而下肢缺血在血管再通后,其数值能回落到 100 mmHg 以下,可作为经皮氧分压监测的有效补充。

推荐意见 6: VA-ECMO 治疗期间,下肢血管造影和血管超声检查可明确下肢缺血病因。

下肢血管造影可实现血管可视化,明确下肢缺血病因,如下肢动脉闭塞、动脉血栓形成,并能定位闭塞或血栓部位。因受 VA-ECMO 逆向血流的影响,CT 血管造影技术可实施性差,建议下肢缺血患者尽早转移至介入手术室完成下肢动脉造影检查以明确病因。然而,接受 VA-ECMO 治疗的患者存在较大的外出检查风险,而彩色多普勒超声检查可床旁完成,容易实施,也可作为筛查下肢缺血病因的一种简便工具。血栓形成时,如果下肢动脉完全性栓塞,彩色血流中断,中断处可出现红蓝血流;如果不完全栓塞或者狭窄,可表现为彩色血流呈不规则细条状和红蓝色点状血流等,以及狭窄处血流速度较快征象。

推荐意见 7: VA-ECMO 治疗期间,建议对下肢缺血情况常规进行流程化监测。

研究显示,组织缺血 3 h 内会出现肌肉坏死^[37],早期发现和干预能够尽可能挽救缺血组织。由于镇痛镇静、VA-ECMO 非搏动性血流等因素,导致对接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的判断存在一定的局限性,流程化动态监测有利于早期发现下肢缺血。护理可对下肢颜色、皮温等症状及体征实行每小时监测,建议应用可实现持续监测的下肢缺血监测设备,如组织氧饱和度仪及经皮氧分压/二氧化碳分压仪;另外,出现灌注改变时,需立即明确是否存在灌注管阻塞,超声科或血管介入科医师协助进行彩色多普勒超声或血管造影检查明确病因。接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的监测流程见图 1。



注: VA-ECMO 为静脉-动脉体外膜肺氧合, NIRS 为近红外光谱

图 1 接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的监测流程

2.3 接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的预防策略

推荐意见 8: VA-ECMO 置管前,应常规进行床

旁超声检查以了解股动静脉血管情况。

床旁超声可观察股动脉有无严重狭窄、动脉斑块、钙化、夹层、血栓及动脉瘤等情况,并可确定股动脉走行及解剖结构有无变异,了解同侧股动静脉之间的距离及有无上下叠加关系,确定合适的血管及穿刺点,避开放射重叠部分,并且有助于术者选择合适的置管策略^[2]。研究证实,术前超声检查可避免穿刺带来的血管并发症,改善患者预后^[38]。因此,术前应常规进行股动静脉床旁超声检查。

推荐意见 9: VA-ECMO 置管时,尽可能选择满足目标流量的最小口径动脉导管。

VA-ECMO 治疗目的是为患者提供足够的目标流量支持,一般来说,首先要考虑的是评估患者的体表面积(body surface area, BSA),选择合适的导管以获得 $36.7 \sim 41.7 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ($2.2 \sim 2.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) 心排血指数对应的流量^[39]。然而, ECMO 流量的主要决定因素是静脉管引流量(由静脉管口径大小、侧孔数量和放置位置决定);此外, VA-ECMO 治疗过程中并不总是需要全流量支持^[38]。2022 年 Marbach 等^[25]一项汇总了 22 项回顾性队列研究共 2869 例患者的 Meta 分析显示,当动脉灌注导管 < 17 F 时,下肢缺血的发生风险较低[优势比(odds ratio, OR)=0.40, 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.24 ~ 0.65, $P < 0.001$]。多项回顾性研究已证实,导管口径大小是 VA-ECMO 期间发生缺血性并发症的最重要因素,动脉导管口径过大,尤其是动脉导管口径与 BSA 的比值大于 11 时,会导致下肢缺血风险增加,而选择口径小于 15 F 的动脉导管可以降低下肢缺血的发生风险^[24, 39-40]。因此,在满足目标流量的前提下,尽量选择最小口径的导管可对 ECMO 下肢缺血的预防起到积极作用。

推荐意见 10: VA-ECMO 置管时,推荐实时超声引导下经皮穿刺股动静脉置管。

目前股动静脉置管的方式有外科切开置管和经皮穿刺置管两种^[13, 41]。研究显示,上述两种置管方式对下肢缺血发生率的影响没有明显差别,但是与传统外科切开置管方式相比,经皮穿刺置管操作更加简单方便,置管时间更短,且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]。目前经皮穿刺置管广泛应用于 VA-ECMO 插管,一般使用 Seldinger 技术进行穿刺置管,实时超声引导或者 X 线透视引导下均可安全有效地建立 ECMO 外周血管通路^[16, 42]。超声由于其床旁可及性,与 X 线透视



引导下经皮穿刺置管方式相比,可避免放射性暴露及危重症患者转运风险,更有利于危重症患者尤其是心搏骤停患者血管通路的紧急建立^[40]。2016年 Burns 等^[43]研究报道,实时超声引导 VA-ECMO 股动脉经皮穿刺置管成功率超过 98%。另外,穿刺过程中应用床旁超声实时引导可实现股动静脉前壁穿刺,避免血管侧壁或后壁穿刺及误入股浅动脉,有效减少 ECMO 置管过程中血管并发症的发生。因此,推荐采用超声引导下经皮穿刺技术进行 ECMO 股动静脉置管。在超声引导经皮穿刺置管失败的情况下,根据操作者经验可选择外科手术切开或半切开置管。

推荐意见 11: 推荐接受 VA-ECMO 治疗患者置入下肢 DPC 预防下肢缺血,尤其是存在下肢缺血高危因素的患者。

通过在股动脉置管同侧股浅动脉近端放置下肢 DPC,可以为下肢远端提供顺行血流,从而弥补股动脉置管带来的远端组织血流绝对或者相对不足^[44]。2017年 Juo 等^[45]开展了一项关于 VA-ECMO 患者使用 DPC 效果的荟萃分析,共纳入 22 项研究、779 例患者,结果表明,采用 DPC 可使下肢缺血发生率降低 15.7% [相对危险度 (relative risk, RR) = 0.41, 95%CI 为 0.26 ~ 0.65, $P < 0.01$]。其后有大量研究证实未使用 DPC 是发生下肢缺血的独立危险因素^[40, 46-47];通过置入 DPC 可有效减少下肢缺血的发生^[48],并强烈建议对接受股动脉插管 VA-ECMO 治疗的患者预防性置入 DPC^[49]。目前 DPC 最常用的是中心静脉导管或者动脉鞘管(6 ~ 8 F)^[45]。DPC 的置入可以在超声或 X 线透视引导下经皮穿刺进行,也可以通过外科动脉切开术或改良 Seldinger 技术完成^[50]。DPC 应常规连接三通,定期观察血流情况。

2.4 接受 VA-ECMO 治疗患者下肢缺血的治疗

推荐意见 12: 患者出现下肢缺血征象时,快速下肢缺血分级、明确缺血原因是下肢缺血治疗的关键。

VA-ECMO 期间股动脉置管同侧下肢缺血大多为急性缺血,通常由于股动脉导管阻塞、动脉或管路中血栓形成等原因引起。与慢性肢体缺血相比,急性缺血缺少侧支循环,代偿能力差,一旦发生缺血,往往容易进展为下肢缺血坏死。急性缺血肢体应尽快明确病因并早期血运重建,以挽救尚存活的组织,防止组织坏死引起全身炎症反应,最终导致多器官功能障碍^[51]。目前,下肢缺血严重程度评估仍沿用美国血管外科的评分标准,即卢瑟福(Rutherford)分级(表 2)^[23, 52],分级越高提示缺血程度越严重。

根据上述标准,II b 级以下的患者提示下肢缺血仍是可逆的,对于此类患者应尽早完善多普勒超声及下肢动脉造影等影像学检查以明确病因,及时完成缺血肢体的血运重建;对于 III 级患者,缺血肢体已经出现不可逆损伤,则不需要影像学检查和血运重建。

表 2 急性下肢缺血分级 [卢瑟福 (Rutherford) 分级]

分级	严重程度	检查		多普勒信号	
		感觉减退	运动减弱	动脉	静脉
I 级	无威胁	无	无	可见	可见
II a 级	肢体受到轻微威胁	无/轻微(足趾水平)	无	消失	可见
II b 级	肢体即刻受到威胁	足趾以上水平	轻度/中度	消失	可见
III 级	肢体不可逆性缺血	严重感觉减退/ 完全消失	重度(瘫痪/僵硬)	消失	消失

推荐意见 13: VA-ECMO 治疗期间发生同侧下肢缺血,未放置 DPC 患者可尝试补救性放置 DPC。

前期已有回顾性研究及 Meta 分析表明,在股动脉置管同侧肢体预防性放置外周动脉灌注管,可有效降低下肢缺血的发生率^[45, 53]。但在下肢缺血发生后补救性放置 DPC 患者是否获益仍存在争议。多项单中心回顾性研究显示,补救性放置 DPC 难度增加,对于患者下肢缺血改善及病死率没有影响,反而会增加出血风险^[48, 54-56];但也有一些研究者提出,通过 DPC 可以将 ECMO 血流量的 10% 引流至同侧下肢循环,部分下肢缺血患者在补救性放置 DPC 后下肢缺血症状获得缓解^[57-58]。因此我们认为,未预防性放置 DPC 的患者发生下肢缺血,但尚未发生肢体坏死时,补救性放置 DPC 可以作为下肢缺血治疗的尝试。在补救性置管后应通过 NIRS 等检查对缺血下肢进行实时动态监测,若下肢缺血无改善,则应尽快针对病因治疗,如尝试更换动脉置管位置、血管介入等血运重建方法^[46, 58]。

推荐意见 14: 患者出现下肢缺血,经补救性治疗无效,病情危重需要继续应用 VA-ECMO 时,可考虑更换动脉置管部位。

VA-ECMO 有多种置管部位可供选择,除股动脉置管外,中心置管或者腋动脉置管也是常用的置管部位^[10]。中心置管需要开胸手术完成,常用于心脏术后无法脱离体外循环的患者^[59]。一项纳入了 158 例心脏外科术后休克患者的单中心回顾性研究对比了 VA-ECMO 中心置管与外周置管的生存率及并发症发生率,结果显示,中心置管可将 ECMO 血流顺行灌注,一定程度上改善了心源性休克患者生存率,而两者下肢缺血发生率差异无统计学意义^[60]。经腋动脉置管也是 VA-ECMO 常用的置管方式^[61]。



一项纳入了 308 例患者的回顾性研究表明,经腋动脉置管的安全性与股动脉相当,但是下肢缺血等局部并发症发生率更低^[62];另一项单中心回顾性研究也证实了经腋动脉置管安全性高及局部并发症低的观点^[63]。所以,对于股动脉导管导致动脉血流下降造成的同侧下肢缺血,经过补救性 DPC 或者调整血管活性药等措施无效时,可考虑更换其他部位进行动脉置管^[60]。尤其要注意的是,在更换动脉置管部位时,患者存在休克加重或者心搏骤停风险,需要充分评估。

推荐意见 15: 接受 VA-ECMO 治疗患者,应用大剂量血管活性药可导致下肢缺血,应权衡血管活性药与 ECMO 流量之间的关系,必要时可以考虑联合其他循环辅助治疗。

接受 VA-ECMO 治疗的下肢缺血患者 VIS 评分明显高于非肢体缺血患者, VIS 评分与下肢缺血的发生呈正相关^[16]。因此,VA-ECMO 患者发生下肢缺血时,应考虑到血管活性药的影响。由于 VA-ECMO 期间血流动力学监测手段受限,需进一步加强血流动力学动态监测,合理调整 ECMO 流量,尽量减少血管活性药用量^[22]。VA-ECMO 治疗中逆行血液回流可导致左心室后负荷增加,部分患者可能出现左心室过负荷^[64],导致血流动力学恶化。相关研究也显示,通过主动脉内球囊反搏等左室卸负荷措施可有效改善血流动力学^[65-66],减少血管活性药用量^[67]。

推荐意见 16: 对于动脉血栓或者闭塞导致的双下肢缺血,建议多学科团队共同处理。

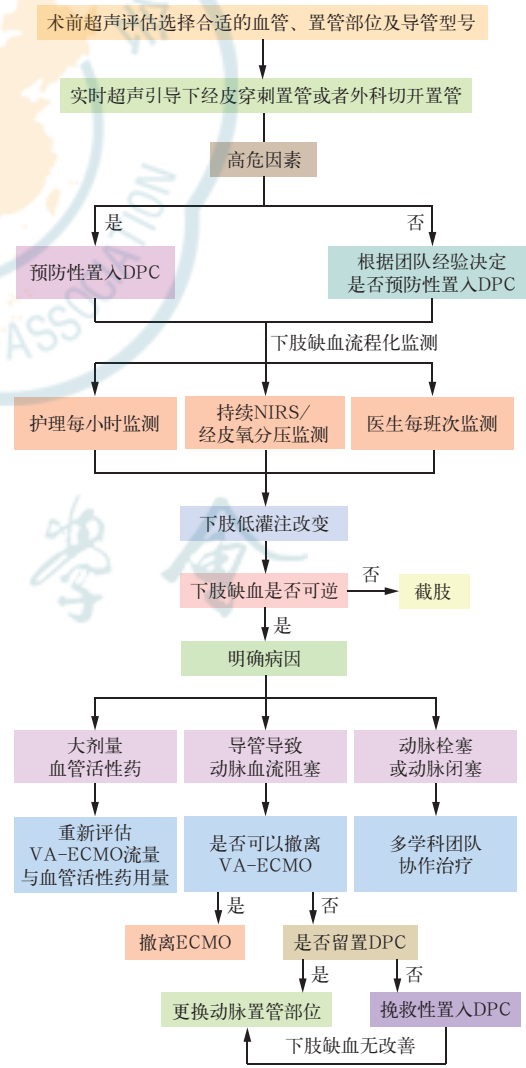
针对动脉血管内血栓形成或者动脉闭塞等原因引起急性下肢缺血的治疗,需要 ECMO 专职人员、血管外科、介入医学科、骨科、超声科等多学科共同协作完成。尤其是下肢缺血可逆患者,应尽早于杂交手术室接受造影检查并完成手术,包括血管腔内治疗(导管取栓或溶栓术、球囊血管成形术或支架置入术等),或者开放式血管手术(如动脉切开取栓术、开放式动脉内膜剥脱血管成形术等)^[9, 50]。当下肢出现急性骨筋膜室综合征时,应由骨科医生及时进行筋膜室切开术,降低筋膜腔内压力,改善组织灌注^[68]。

如果已经出现下肢组织坏死,应考虑截肢,但是由于 VA-ECMO 期间患者血流动力学不稳定及抗凝治疗,导致手术风险过高。因此,应多学科讨论共同决定手术方式及时机,例如:对于肢体坏死毒素或肢体坏死合并感染导致病情恶化或危及生命时,应尽早截肢;而对于对病情影响较小的干性坏疽,可等待

病情稳定后择期截肢。截肢的方式大多为外科手术切除坏死肢体。冷冻截肢是一项床旁生理截肢技术,目前已被证实是一种相对安全的选择^[63],即手术时将止血带固定于失活肢体缺血部位近端,随后用干冰或其他冷却系统将肢体冷冻切除。

3 总结

目前股动静脉 VA-ECMO 应用越来越广泛,下肢缺血作为 VA-ECMO 治疗过程中的常见并发症,一旦发生将严重影响患者预后及生存质量。早期预防、加强监测、快速诊断、及时处理是改善患者下肢缺血预后和生存质量的关键。目前针对 VA-ECMO 下肢缺血管理仍缺乏大型随机对照临床研究。VA-ECMO 下肢缺血暂行管理流程见图 2,后期仍需进一步开展研究、总结经验、完善管理流程,为 VA-ECMO 下肢缺血管理提供更全面、更高效的有力支撑。



注: VA-ECMO 为静脉-动脉体外膜肺氧合, DPC 为远端灌注管, NIRS 为近红外光谱

图 2 VA-ECMO 下肢缺血管理流程

执笔人 苑志勇(青岛大学附属医院重症医学科),姚波(青岛大学附属医院重症医学科),荆亚军(青岛大学附属医院重症医学科),周维桂(青岛大学附属医院重症医学科),韩小宁(青岛大学附属医院重症医学科),刘莹(青岛大学附属医院重症医学科),王富华(青岛大学附属医院重症医学科),刘岳松(青岛大学),邢金燕(青岛大学附属医院重症医学科)

专家指导组(以姓氏拼音为序) 陈德昌(上海交通大学附属瑞金医院重症医学科),丁士芳(山东大学齐鲁医院重症医学科),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),甘桂芬(青海大学附属医院重症医学科),侯晓彤(首都医科大学附属北京安贞医院心脏外科危重症中心),黄曼(浙江大学医学院附属第二医院综合ICU),黎毅敏(广州医科大学附属第一医院重症监护医学中心),李银平(中华危重病急救医学杂志社),马晓春(中国医科大学附属第一医院重症医学科),彭志勇(武汉大学中南医院重症医学科),尚游(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科),孙仁华(浙江省人民医院重症医学科),孙荣青(郑州大学第一附属医院重症医学科),孙运波(青岛大学附属医院重症医学科),汤展宏(广西医科大学第一附属医院重症医学科),王洪亮(哈尔滨医科大学附属第二医院重症医学科),王锦权(安徽省立医院重症医学科),温汉春(广西医科大学第一附属医院重症医学科),谢克亮(天津医科大学总医院重症医学科),邢金燕(青岛大学附属医院重症医学科),杨晓军(宁夏医科大学总医院重症医学科),张西京(空军军医大学西京医院重症医学科),宗媛(陕西省人民医院重症医学科)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- Mosier JM, Kelsey M, Raz Y, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for critically ill adults in the emergency department: history, current applications, and future directions [J]. *Crit Care*, 2015, 19: 431. DOI: 10.1186/s13054-015-1155-7.
- Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, et al. Venoarterial ECMO for adults: JACC Scientific Expert Panel [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73 (6): 698-716. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.11.038.
- Swol J, Belohlávek J, Haft JW, et al. Conditions and procedures for in-hospital extracorporeal life support (ECLS) in cardiopulmonary resuscitation (CPR) of adult patients [J]. *Perfusion*, 2016, 31 (3): 182-188. DOI: 10.1177/0267659115591622.
- Lorusso R, Gelsomino S, Parise O, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock in elderly patients: trends in application and outcome from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) registry [J]. *Ann Thorac Surg*, 2017, 104 (1): 62-69. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.10.023.
- Raffa GM, Gelsomino S, Sluijpers N, et al. In-hospital outcome of post-cardiotomy extracorporeal life support in adult patients: the 2007-2017 Maastricht experience [J]. *Crit Care Resusc*, 2017, 19 (Suppl 1): 53-61.
- International ECMO Network (ECMONet) and The Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults [J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44 (6): 717-729. DOI: 10.1007/s00134-018-5064-5.
- Swol J, Belohlávek J, Brodie D, et al. Extracorporeal life support in the emergency department: a narrative review for the emergency physician [J]. *Resuscitation*, 2018, 133: 108-117. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2018.10.014.
- GIROC Investigators. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for acute fulminant myocarditis in adult patients: a 5-year multi-institutional experience [J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101 (3): 919-926. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.08.014.
- 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. DOI: 10.1186/s13054-019-2541-3.
- 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.
- Yang F, Hou DB, Wang JH, et al. Vascular complications in adult postcardiotomy cardiogenic shock patients receiving venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Intensive Care*, 2018, 8 (1): 72. DOI: 10.1186/s13613-018-0417-3.
- Pozzi M, Koffel C, Djaref C, et al. High rate of arterial complications in patients supported with extracorporeal life support for drug intoxication-induced refractory cardiogenic shock or cardiac arrest [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9 (7): 1988-1996. DOI: 10.21037/jtd.2017.06.81.
- 盖玉彪, 郭小靖, 辛晨, 等. ECMO 快速反应团队的建立和管理实践 [J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33 (3): 349-351. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20201010-00663.
- Gulkarov I, Bobka T, Elmously A, et al. The effect of acute limb ischemia on mortality in patients undergoing femoral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Vasc Surg*, 2020, 62: 318-325. DOI: 10.1016/j.avsg.2019.06.012.
- Blakeslee-Carter J, Shao C, LaGrone R, et al. Vascular complications based on mode of extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75 (6): 2037-2046. e2. DOI: 10.1016/j.jvs.2022.01.078.
- Gulkarov I, Khusid E, Worku B, et al. Meta-analysis of the effect of vascular complications on mortality in patients undergoing femoral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 71: 488-495. DOI: 10.1016/j.avsg.2020.09.042.
- Tanaka D, Hirose H, Cavarocchi N, et al. The impact of vascular complications on survival of patients on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101 (5): 1729-1734. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.10.095.
- Kauschal M, Schwartz J, Gupta N, et al. Patient demographics and extracorporeal membranous oxygenation (ECMO)-related complications associated with survival to discharge or 30-day survival in adult patients receiving venoarterial (VA) and venovenous (VV) ECMO in a quaternary care urban center [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33 (4): 910-917. DOI: 10.1053/j.jvca.2018.08.193.
- Combes A, Leprince P, Luyt CE, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock [J]. *Crit Care Med*, 2008, 36 (5): 1404-1411. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318167ef77.
- Chen KH, Chen YT, Yeh SL, et al. Changes in quality of life and health status in patients with extracorporeal life support: a prospective longitudinal study [J]. *PLoS One*, 2018, 13 (5): e0196778. DOI: 10.1371/journal.pone.0196778.
- Zimpfer D, Heinisch B, Czerny M, et al. Late vascular complications after extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 81 (3): 892-895. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2005.09.066.
- Pecci R, De La Fuente Aguado J, Sanjurjo Rivo AB, et al. Peripheral arterial disease in patients with chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Int Angiol*, 2012, 31 (5): 444-453.
- Yen CC, Kao CH, Tsai CS, et al. Identifying the risk factor and prevention of limb ischemia in extracorporeal membrane oxygenation with femoral artery cannulation [J]. *Heart Surg Forum*, 2018, 21 (1): E018-E022. DOI: 10.1532/hsf.1824.
- Liao XZ, Cheng Z, Wang LQ, et al. Vascular complications of lower limb ischemia in patients with femoral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Heart Surg Forum*, 2020, 23 (3): E305-E309. DOI: 10.1532/hsf.2969.
- Marbach JA, Faugno AJ, Pacifici S, et al. Strategies to reduce limb ischemia in peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Int J Cardiol*, 2022, 361: 77-84. DOI: 10.1016/j.ijcard.2022.04.084.
- Daniel P, Hajage D, Nguyen LS, et al. Percutaneous versus surgical femoro-femoral veno-arterial ECMO: a propensity score matched study [J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44 (12): 2153-2161. DOI: 10.1007/s00134-018-5442-z.
- Takayama H, Landes E, Truby L, et al. Feasibility of smaller arterial cannulas in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149 (5): 1428-1433. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2015.01.042.
- Hu SX, Lu AD, Pan CL, et al. Limb ischemia complications of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2022, 9: 938634. DOI: 10.3389/fmed.2022.938634.
- Yau P, Xia Y, Shariff S, et al. Factors associated with ipsilateral limb ischemia in patients undergoing femoral cannulation

- extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 54: 60–65. DOI: 10.1016/j.avsg.2018.08.073.
- [30] Breeding J, Hamp T, Grealy R, et al. Effects of extracorporeal membrane oxygenation pump flow, backflow cannulae, mean arterial blood pressure, and pulse pressure on Doppler-derived flow velocities of the lower limbs in patients on peripheral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a pilot study [J]. *Aust Crit Care*, 2019, 32 (3): 206–212. DOI: 10.1016/j.aucc.2018.04.002.
- [31] Morocho JP, Martínez AF, Cevallos MM, et al. Prolonged capillary refilling as a predictor of mortality in patients with septic shock [J]. *J Intensive Care Med*, 2022, 37 (3): 423–429. DOI: 10.1177/08850666211003507.
- [32] 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. DOI: 10.1177/0267659118777670.
- [33] Wong JK, Smith TN, Pitcher HT, et al. Cerebral and lower limb near-infrared spectroscopy in adults on extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Artif Organs*, 2012, 36 (8): 659–667. DOI: 10.1111/j.1525-1594.2012.01496.x.
- [34] Nishio H, Minakata K, Kawaguchi A, et al. Transcutaneous oxygen pressure as a surrogate index of lower limb amputation [J]. *Int Angiol*, 2016, 35 (6): 565–572.
- [35] 潘飞艳, 董洪杰, 张晓玲, 等. 经皮氧分压监测在VA-ECMO患者下肢保护中的应用价值 [J]. *中国现代医生*, 2020, 58 (23): 113–117.
- [36] Sugimoto I, Ohta T, Ishibashi H, et al. Transcutaneous carbon dioxide tension for the evaluation of limb ischemia [J]. *Surg Today*, 2009, 39 (1): 9–13. DOI: 10.1007/s00595-007-3773-4.
- [37] Vaillancourt C, Shrier I, Vandal A, et al. Acute compartment syndrome: how long before muscle necrosis occurs? [J]. *CJEM*, 2004, 6 (3): 147–154. DOI: 10.1017/s1481803500006837.
- [38] 甄宁, 周美艳, 王立伟, 等. 体外膜氧合股动脉插管的研究进展 [J]. *中国体外循环杂志*, 2020, 18 (3): 183–187. DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2020.03.15.
- [39] 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. DOI: 10.4103/0971-9784.197791.
- [40] Lunz D, Philipp A, Müller T, et al. Ischemia-related vascular complications of percutaneously initiated venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: indication setting, risk factors, manifestation and outcome [J]. *J Crit Care*, 2019, 52: 58–62. DOI: 10.1016/j.jcrc.2019.04.002.
- [41] Gedikoglu M, Oguzkurt L, Gur S, et al. Comparison of ultrasound guidance with the traditional palpation and fluoroscopy method for the common femoral artery puncture [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2013, 82 (7): 1187–1192. DOI: 10.1002/ccd.24955.
- [42] Kohler K, Valchanov K, Nias G, et al. ECMO cannula review [J]. *Perfusion*, 2013, 28 (2): 114–124. DOI: 10.1177/0267659112468014.
- [43] 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.
- [44] ELSO member centers. Extracorporeal life support organization registry international report 2016 [J]. *ASAIO J*, 2017, 63 (1): 60–67. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000475.
- [45] Juo YY, Skancke M, Sanaiha Y, et al. Efficacy of distal perfusion cannulae in preventing limb ischemia during extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Artif Organs*, 2017, 41 (11): E263–E273. DOI: 10.1111/aor.12942.
- [46] Lamb KM, DiMuzio PJ, Johnson A, et al. Arterial protocol including prophylactic distal perfusion catheter decreases limb ischemia complications in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Vasc Surg*, 2017, 65 (4): 1074–1079. DOI: 10.1016/j.jvs.2016.10.059.
- [47] Ohira S, Kawamura M, Ahern K, et al. Aggressive placement of distal limb perfusion catheter in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Int J Artif Organs*, 2020, 43 (12): 796–802. DOI: 10.1177/0391398820917160.
- [48] Hanley SC, Melikian R, Mackey WC, et al. Distal perfusion cannulae reduce extracorporeal membrane oxygenation-related limb ischemia [J]. *Int Angiol*, 2021, 40 (1): 77–82. DOI: 10.23736/S0392-9590.20.04408-9.
- [49] Kaufeld T, Beckmann E, Ius F, et al. Risk factors for critical limb ischemia in patients undergoing femoral cannulation for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: is distal limb perfusion a mandatory approach? [J]. *Perfusion*, 2019, 34 (6): 453–459. DOI: 10.1177/0267659119827231.
- [50] Chanan EL, Bingham N, Smith DE, et al. Early detection, prevention, and management of acute limb ischemia in adults supported with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34 (11): 3125–3132. DOI: 10.1053/j.jvca.2020.02.020.
- [51] Creager MA, Kaufman JA, Conte MS. Clinical practice. Acute limb ischemia [J]. *N Engl J Med*, 2012, 366 (23): 2198–2206. DOI: 10.1056/NEJMcip1006054.
- [52] Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, et al. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: revised version [J]. *J Vasc Surg*, 1997, 26 (3): 517–538. DOI: 10.1016/s0741-5214(97)70045-4.
- [53] Jia D, Yang IX, Ling RR, et al. Vascular complications of extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and meta-regression analysis [J]. *Crit Care Med*, 2020, 48 (12): e1269–e1277. DOI: 10.1097/CCM.00000000000004688.
- [54] Yeo HJ, Yoon SH, Jeon D, et al. The utility of preemptive distal perfusion cannulation during peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *J Interv Cardiol*, 2016, 29 (4): 431–436. DOI: 10.1111/joic.12309.
- [55] Ma RW, Huilgol RL, Granger E, et al. Does a distal perfusion cannula reduce ischaemic complications of extracorporeal membrane oxygenation? [J]. *ANZ J Surg*, 2016, 86 (12): 1002–1006. DOI: 10.1111/ans.13441.
- [56] Ranney DN, Benrashid E, Meza JM, et al. Vascular complications and use of a distal perfusion cannula in femorally cannulated patients on extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ASAIO J*, 2018, 64 (3): 328–333. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000656.
- [57] Formica F, D'Alessandro S, Sangalli F, et al. Distal limb perfusion cannula in peripheral extracorporeal membrane oxygenation: always a mandatory approach? [J]. *Perfusion*, 2019, 34 (6): 528–529. DOI: 10.1177/0267659119855846.
- [58] Elmously A, Bobka T, Khin S, et al. Distal perfusion cannulation and limb complications in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Extra Corp Technol*, 2018, 50 (3): 155–160.
- [59] Rupperecht L, Flörchinger B, Schopka S, et al. Cardiac decompression on extracorporeal life support: a review and discussion of the literature [J]. *ASAIO J*, 2013, 59 (6): 547–553. DOI: 10.1097/MAT.0b013e3182a4b2f6.
- [60] Nishikawa M, Willey J, Takayama H, et al. Stroke patterns and cannulation strategy during veno-arterial extracorporeal membrane support [J]. *J Artif Organs*, 2022, 25 (3): 231–237. DOI: 10.1007/s10047-021-01300-5.
- [61] Pisani A, Braham W, Brega C, et al. Right axillary artery cannulation for venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a retrospective single centre observational study [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 59 (3): 601–609. DOI: 10.1093/ejcts/ezaa397.
- [62] Chamogeorgakis T, Lima B, Shafiq AE, et al. Outcomes of axillary artery side graft cannulation for extracorporeal membrane oxygenation [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145 (4): 1088–1092. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2012.08.070.
- [63] Chen SL, Kuo IJ, Kabutay NK, et al. Physiologic cryoamputation in managing critically ill patients with septic, advanced acute limb ischemia [J]. *Ann Vasc Surg*, 2017, 42: 50–55. DOI: 10.1016/j.avsg.2016.11.006.
- [64] Burkhoff D, Sayer G, Doshi D, et al. Hemodynamics of mechanical circulatory support [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 66 (23): 2663–2674. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.10.017.
- [65] Xu B, Li CL, Cai T, et al. Intra-aortic balloon pump impacts the regional haemodynamics of patients with cardiogenic shock treated with femoro-femoral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation [J]. *ESC Heart Fail*, 2022, 9 (4): 2610–2617. DOI: 10.1002/ehf2.13981.
- [66] 许智晶, 孙荣青, 刘瑞芳. 静脉-动脉体外膜肺氧合与主动脉内球囊反搏对心源性休克患者血流动力学的影响 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2021, 28 (1): 55–59. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2021.01.014.
- [67] Xin M, Wang LS, Tian XQ, et al. Double distal perfusion catheters for severe limb ischemia on the IABP side in patients who received femoro-femoral VA-ECMO with IABP [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 692399. DOI: 10.3389/fmed.2021.692399.
- [68] von Segesser L, Marinakis S, Berdajs D, et al. Prevention and therapy of leg ischaemia in extracorporeal life support and extracorporeal membrane oxygenation with peripheral cannulation [J]. *Swiss Med Wkly*, 2016, 146: w14304. DOI: 10.4414/smw.2016.14304.

