

成人静脉-静脉体外膜肺氧合（VV ECMO）支持的患者管理：体外生命支持组织（ELSO）指南

JOSEPH E. TONNA, MD, MS,*† DARRYL ABRAMS, MD,‡ DANIEL BRODIE, MD‡ JOHN C. GREENWOOD, MD, §

JOSE ALFONSO RUBIO MATEO-SIDRON, MD,¶ ASAD USMAN, MD, MPH, // AND EDDY FAN, MD, PhD#

Reviewers: NICHOLAS BARRETT, MBBS,** MATTHIEU SCHMIDT,†† THOMAS MUELLER, MD,‡‡ ALAIN COMBES, MD, PhD††

KIRAN SHEKAR, MBBS, PhD § §

翻译：李甜 校对：徐觅

免责声明：静脉-静脉体外膜肺氧合（VV ECMO）在成人中的应用已在全球范围内迅速增加。本指南旨在为成人呼吸衰竭时 VV ECMO 的患者选择、启动、置管、管理及撤机提供临床指导。本共识文件已更新了之前的版本，为临床医生提供指导。

关键词：VV ECMO，体外生命支持，气道管理，机械通气，环路管理，液体管理，置管/拔管

简介

静脉-静脉体外膜肺氧合（VV ECMO）在成人中的应用已在全球范围内迅速增加。截止 2020 年，ELSO 登记处在国际上 282 个中心记录了超 24000 例成人 ECMO 呼吸支持的应用。VV ECMO 在多种指南上被作为呼吸衰竭管理的一种方法。ELSO 提供指南来告知及指导成人呼吸衰竭时 VV ECMO 的患者选择、启动、置管、管理及撤机。

在本文中，我们为成人患者使用 VV ECMO 的临床管理提供了建议，虽然这些建议并没有使用正式的、可重复的方法，但我们回顾了 PubMed 中的英文出版物（如果有），以制定此处提供的指南。这是第五版成人呼吸 VV ECMO 指南，我们将随着新的信息、设备、治疗方法和技术的出现，每隔一段时间就会进行修订。与所有指南一样，本文不应取代医学判断和多学科决策，以建立和管理患者的 ECMO 支持策略。在其他 ELSO 指南中还提出了许多重要的管理原则及建议，包括：环路组成、患者选择、患者及管路管理、患者的镇静以及营养。本文包含了大量的其他文献参考资料，按主题，可在补充数据内容 1 中找到。

患者选择

在评估成人急性严重呼吸衰竭的 ECMO 使用时，重要的是确定呼吸衰竭的原因存在可逆性，对常规治疗无效，并且没有明确的禁忌症。在不可逆的病例中（例如：终末期肺病），如果 ECMO 被作为肺移植的桥梁，那么该患者可能是 ECMO 的合适候选者。

适应症和禁忌症

严重、急性、可逆性呼吸衰竭且对最优化治疗无效的患者可以考虑 VV ECMO。使用 VV ECMO 的生理学原理包括：1）增加全身氧合和二氧化碳排出（通气）；2）

避免进行有害的机械通气。通过最新数据及 ECMO 试验，目前我们建议有严重急性呼吸窘迫综合征（ARDS）和难治性低氧血症（ $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 80 \text{ mmHg}$ ）或严重的高碳酸血症呼吸衰竭患者（ $\text{pH} < 7.25$ 且 $\text{PaCO}_2 \geq 60 \text{ mmHg}$ ），在最佳的常规治疗后（包括在没有禁忌症的情况下行俯卧位试验），应该考虑 ECMO 治疗。更详细的适应症在见表 1。众所周知，ECMO 支持前的机械通气时间与 ECMO 支持后的死亡率相关，因此最佳医疗管理应迅速且最大限度地实施，而不是在有 ECMO 指征时延误。

目前，开始 ECMO 的唯一禁忌症是病情预计无法恢复，没有可行的拔管计划（表 1）。这种情况可能是由于疾病本身过程，或者在没有器官移植的情况下多器官衰竭。有时候在决定开始 ECMO 时并不清楚患者是否是移植候选人，在这种情况下，可以实施 ECMO 来“桥接移植的决定”。重要的是，我们建议这种情况仅在正在进行关于 ECMO 撤机的多学科讨论及有一个明确的 ECMO 支持持续时间的条件下进行。

Table 1. Indications/Contraindications for Adult VV ECMO

Common indications for venovenous extracorporeal membrane oxygenation
One or more of the following:
1) Hypoxemic respiratory failure ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 80 \text{ mm Hg}$)*, after optimal medical management, including, in the absence of contraindications, a trial of prone positioning.
2) Hypercapnic respiratory failure ($\text{pH} < 7.25$), despite optimal conventional mechanical ventilation (respiratory rate 35 bpm and plateau pressure [P_{plat}] $\leq 30 \text{ cm H}_2\text{O}$).
3) Ventilatory support as a bridge to lung transplantation or primary graft dysfunction following lung transplant.
Specific clinical conditions:
• Acute respiratory distress syndrome (e.g., viral/bacterial pneumonia and aspiration)
• Acute eosinophilic pneumonia
• Diffuse alveolar hemorrhage or pulmonary hemorrhage
• Severe asthma
• Thoracic trauma (e.g., traumatic lung injury and severe pulmonary contusion)
• Severe inhalational injury
• Large bronchopleural fistula
• Peri-lung transplant (e.g., primary lung graft dysfunction and bridge to transplant)
Relative contraindications for venovenous extracorporeal membrane oxygenation
• Central nervous system hemorrhage
• Significant central nervous system injury
• Irreversible and incapacitating central nervous system pathology
• Systemic bleeding
• Contraindications to anticoagulation
• Immunosuppression
• Older age (increasing risk of death with increasing age, but no threshold is established)
• Mechanical ventilation for more than 7 days with $\text{P}_{\text{plat}} > 30 \text{ cm H}_2\text{O}$ and $\text{FiO}_2 > 90\%$

*Clinical trials have utilized several cutoff points for the indication of the start of VV ECMO: $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 80 \text{ mm Hg}$ [EOLIA Trial¹¹, Murray Score > 3 [CESAR Trial¹²], without strong data indicating the superiority of any one.

ECMO 转运

在没有能力开展 ECMO 的中心，当医疗决策者认为 ECMO 可能对患者有益，应早期进行转运计划。在这个评估中，RESP 和 Murray 评分非常有用。RESP 评分可以提供 ECMO 的预测生存率。Murray 评分可以提供预估死亡率。如果考虑决定启动 ECMO，转运又是必要的，那么应今早进行。

支持模式

适应症/依据

氧供。了解 ECMO 向人体提供可变数量的氧气输送是至关重要的。ECMO 氧供等于 ECMO 的流量（以 L/min 为单位 [LPM]） $\times$ 灌注端与引流端的氧含量之差（ $\text{CaO}_2 = [\text{血红蛋白 (g/L)}] \times 1.39 \times [\text{SaO}_2] + (0.0034 \times [\text{PaO}_2 \text{ (in mm Hg)}])$ ）。在 ECMO 置管后，氧气通过环路进入全身循环。静息状态下所需总支持量为 $120 \text{ ml/m}^2/\text{min}$ 。

全身氧供为动脉氧含量 $\times$ 流量。正常的全身氧供是 $600 \text{ ml/m}^2/\text{min}$ 。全身氧

供低至 $300 \text{ ml/m}^2/\text{min}$ 时可维持静息状态下的新陈代谢。在 VV ECMO 状态下，管路应至少提供 $240 \text{ ml/m}^2/\text{min}$ 的氧供和 $300 \text{ ml/m}^2/\text{min}$ 的全身氧供。根据这些公式，应该对血流量和血红蛋白进行管理，以实现氧输送目标。例如，血红蛋白水平为 12g/dl 的 80kg 的成年人需要大约 4L/min 的 ECMO 流量才能达到这些目标。当自身肺恢复时可下调 ECMO 流量，在自身肺功能欠缺的情况下随着代谢率的增加需要上调 ECMO 流量。

在 VV ECMO 中，只有一部分静脉回流直接进入管路，氧饱和度达到 100%，然后回到右心房。静脉回流的其余部分，氧饱和度多在 60–80% 左右，继续流经右心室，没有得到进一步的氧合。这些血流在右心房和右心室中混合然后通过肺循环进入体循环。患者最后的动脉血氧饱和度是混合这些血流及氧含量的结果。考虑到这种情况，动脉血氧饱和度总是低于 100%，常为 80–90%。这一生理原理在 VV ECMO 期间变得相关，因为 ECMO 的流量必须根据总静脉回流（心输出量）来调整，以达到所需要的动脉氧含量，从而达到全身氧供目标。在临床实践中，在 ARDS 患者，ECMO 流量低于总 CO 的 60% 通常与 $\text{SaO}_2 < 90\%$ 有关。在 ELSO 红宝书第五版的第 4 章（“体外生命支持的生理学”）中对氧合进行了全面的讨论。

再循环。再循环是指经过氧合器后的血液返回到泵前的引流导管。再循环减少了输送到全身的已氧合血，这样的情况在股静脉和颈内静脉采用单腔插管的情况下更常见。它可以通过静脉饱和度增加或管路血液颜色变亮来识别，表明有氧合作用。如果注意到有这种情况，应该处理再循环，并且在全身供氧不足的情况下，应该排除再循环。当 ECMO 流量在增加，但是全身饱和度矛盾的下降时，也应怀疑再循环的情况。在这种情况下，虽然总流量可能增加了，但再循环比例也增加了，导致从 ECMO 回路返回人体的含氧血量的净减少。

低氧血症。ECMO 的低氧血症有很多原因。代谢需求增加会导致氧耗的增加，并降低全身饱和度。氧耗增加 (VO_2) 的常见原因，包括脓毒症、发热、躁动、运动和寒战。低氧血症也可以由再循环引起（见再循环部分）。在尝试了所有其他导致低氧血症的原因及其治疗方法后，可以使用亚低温来减少氧耗。最后， β -受体阻滞剂已被用于减少自身循环而不经 ECMO 循环的血流量，但也减少了氧供，对单个患者的整体效果难以预测（参见液体管理）。

结合再循环，全身的饱和度（这一结果来自于 ECMO 流量与心输出量的比值）计算为 $([\text{总 ECMO 流量}] - [\text{再循环流量}]) / \text{CO}$ 。ECMO 流量与患者心输出量的比率将影响全身饱和度。其他用来评估氧合是否充分的相关因素包括氧供氧耗比

(DO_2/VO_2)。由于 VV ECMO 提供的氧气与返回人体的 ECMO 流量成正比，因此，在组织氧供不足的情况下，可以增加 VV ECMO 的流量，以达到正常的 DO_2/VO_2 之比即 5:1，但肯定高于供应依赖的临界阈值（2:1 左右）。

二氧化碳去除。对于指定的氧合器的尺寸，气体交换通过氧合器来完成从血液中去二氧化碳，并由进入氧合器的“氧供气”流入速率控制。 CO_2 的去除量随着气流量的增加而增加。气流量的范围通常为 1 至 $9+\text{LPM}$ ，VV 的通气通常为纯氧₂，气流量非常有效的降低了 PaCO_2 。ECMO 开始时，以气流量 2LPM ，血流量 2LPM 作为初始设置是合理的，并频繁滴定，以确保 PaCO_2 和 pH 的缓慢达标。快速降低 CO_2 与神经损伤相关。

置管

一般原则。VV ECMO 的流量上限主要受限于插管的内径尺寸，一般为 5–6LPM。因此心排量过高的患者，ECMO 的插管无法与其自身的心排量相匹配。由于流量

的不足导致没有足够的静脉血流入 ECMO 环路，这一情况促进了多腔引流管和增加额外引流管的使用。

基本配置。ECMO 用到的管路包括将病人的血液从静脉系统中引流出来（称为引流管），将血液经由离心泵泵出到氧合器进行气体交换，接着将血液送回静脉系统（称为灌注管）。这种串联插管策略（与 VA ECMO 的并联策略相反）构成了 VV ECMO 相较于 VA ECMO，一些基本的特征的区别。VV ECMO 的特点：

- 1) 经由氧合器的氧气流量可以完全的将病人的静脉血变成动脉血。
- 2) 增加血流量不会增加病人的血压。
- 3) ECMO 流量的增加将会提高血液进入 ECMO 环路与心输出量的比值，因此病人的总氧含量也将增加（不考虑再循环情况下）。

虽不常见，但 VV ECMO 也可以通过混合配置完成，比如 VVA 模式，这将在其他地方进行讨论。

插管尺寸。为了选择一个正确的插管尺寸，我们首先要预估病人的心排量。比如一个 180cm 高的成年男性病人，通常一根 25F 的引流管就足够了，虽然有些病人因为呼吸衰竭，29F 的管道会提供一个更好的流量和氧交换效果。插管尺寸确定，提高泵转速会提高流量和压力。假设回流充分，更大的插管尺寸会有更好的流量和更低的转速。尺寸恰当的插管可以满足 ECMO 的流量需求且使泵速低于最大速度。为了满足 ECMO 良好的运行，静脉引流管（或双腔插管）应根据患者潜在的生理需求进行最大化，因为未来患者的生理状况将在整个 ECMO 运行过程中发生变化。更为重要的是过大的插管容易引起静脉淤血，血管损伤和深静脉血栓，后者在插管尺寸适宜时也时有发生。插管的流量峰值和流量曲线可以通过厂家的说明书中获取。标准化的插管在紧急的医疗情景下可以满足快速放置的要求。

置管方式。对于 VV ECMO 有三个主要的置管策略及插管选择方案（表 2）。

Table 2. Three Major Cannulation Strategies Which Dictate Cannula Selection for Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation				
Type	Return Location	Drainage Location(s)	Advantages	Disadvantages
Single-lumen dual cannula	Right atrium via internal jugular vein	Inferior vena cava via femoral vein		Limited patient mobility
Bicaval dual-lumen single cannula	Tricuspid valve via the right internal jugular vein.	superior vena cava; cannula extends across the right atrium and drains from within the inferior vena cava	Potentially facilitates patient mobility	Insertion more difficult, cannula movement, cerebral venous congestion, air embolism upon removal, possibly higher ICH with larger diameter catheters, ⁷ may be more difficult to achieve higher flows
Bifemoral venous cannulation	Right atrium via femoral vein	Inferior vena cava via femoral vein		Limited patient mobility

ICH, intracranial hemorrhage.

直到双腔插管（Dual-lumen single cannula, DLSC）的出现，VV ECMO 才改变了传统使用两个单腔插管分别放置于股静脉及颈内静脉的策略。虽然 DLSC 有其独特的优势，但是单腔双插管策略仍保有其优势即能够在体表血管超声引导下放置。

在 VV ECMO 中使用 DLSC 策略的优势在于更易于病人活动。虽然经股插管病人的可移动性已经被报道，但是尚未被广泛的采纳。虽然临床数据有限，但在非 ECMO 病人中，其病情危重期间的活动情况与其多种结局改善均有不同程度的相关性。置管时采用改良的 Seldinger 技术，可以使经过训练的外科医生与非外科医生均可完成插管。

影像学。根据插管策略，典型的影像学辅助包括 X 线透视或超声心动图或两者共同使用。每种成像各有优劣。对于单腔插管，经超声引导下的穿刺明显安全

于盲穿。插管的深度可在置管之前进行评估，而后可通过 X 线和心脏超声确认。对于双腔插管，DLSC 通过右心房到达下腔静脉。实时的 X 线透视和超声心动图可避免位置异常，这些后果往往是严重的。

X 线透视引导。X 线透视引导可以直观看到导丝穿过由心房到下腔静脉的过程。从颈静脉盲穿导丝很可能通过三尖瓣进入右心室。未发现导丝进入右心室继而进行扩张和置管可能造成右心室穿孔带来致命危险。X 线透视的不足包含需要将病人转运至 X 光透视室或需要便携式透视机及训练有素的操作员。

心脏超声引导。TTE 和 TEE 与 X 线透视相结合进行插管定位或单独定位均被广泛报道。虽然 DLSC 流出口的位置在右心房水平可以通过 X 线透视进行观察，但是心脏超声引导可以使流出血流指向三尖瓣。单独的心脏超声引导在有经验的操作者应用下可以让患者免于转运。

VV ECMO 期间患者管理

血流动力学

在 VV ECMO 支持之前，低氧血症和高碳酸血症的结果很明显。它们都会导致肺血管阻力增加、肺动脉压力升高、右心损伤或衰竭。这种情况的后果有两方面：

1) VV ECMO 回路不提供直接的血流动力学支持，因此医师需要在 ECMO 支持起始及维持阶段及时干预显著的血流动力学变化维持血流动力学稳定。

2) 虽然不提供直接的支持，但是 VV ECMO 可以通过改善 pH、PaCO₂ 和 PaO₂ 间接改善血流动力学，特别是肺动脉压、右心室功能和冠脉氧合。

随着 ECMO 的启动，随之而来的通气量减少会降低胸内压力，从而增加心脏充盈和输出量。

建议开放中心静脉通路并进行有创动脉压监测，心超依然是 VV ECMO 期间极好的评估血流动力学功能和指导管理的工具。对于有复杂血流动力学损害或右心衰竭的患者，可考虑进行肺动脉置管术，尽管体外循环期间热稀释心输出量的测量并不可靠。通常需要正性肌力和血管活性药支持来达到标准的循环目标（例如，平均动脉压 $\geq 65\text{mmHg}$ ，心脏指数 $> 2.2 \text{ l/min/m}^2$ ，乳酸水平正常）。

VV ECMO 的启动可导致一些突然的血流动力学变化。启动期间 ECMO 流量的逐渐增加可帮助降低该并发症的风险。低血压和回路血流受损可能是由于接触体外回路后的全身炎症反应，或与插管期间并发症引起的不明出血导致的低血容量血症。关于使用静脉晶体、胶体或输血进行容量复苏的决定应根据患者的具体情况而定。

在 VV ECMO 稳定后，血管活性药用量可显著减少。目标血流动力学参数应每天审查，必要时及时调整。一般来说，在危重病急性期之后采用限制容量进行容量复苏，以避免过度的毛细血管渗漏和改善肺功能。也可以考虑限制性输血。一般建议目标血红蛋白 $> 7\text{g/dl}$ ，部分专家建议 $> 12\text{g/dl}$ 实现更好的氧供。

呼吸机管理

VV ECMO 肺保护的一个关键原则是，气体交换主要由 ECMO 环路完成，而不是患者肺脏完成。因此应降低呼吸机支持参数，以减少呼吸机相关肺损伤。然而，对接受 ECMO 治疗的重度 ARDS 患者的最佳机械通气策略尚不明确。传统的呼吸机设置是压力控制通气 (PCV) 模式，FiO₂ 0.3，PIP 20cmH₂O，PEEP 10cmH₂O，呼吸频率 10 次/分，吸呼比 1:1。在 CESAR 试验中呼吸机的设置逐渐减少到允许所谓

的肺部休息,使用 PCV 将吸气压力限制在 20-25cmH₂O, PEEP 为 10 cmH₂O, RR 为 10 次/分,以及 FiO₂ 0.3。在最近和最大的 ECMO 试验 (EOLIA) 中,也是设置了类似的 PIP≤24 cmH₂O, PEEP≥10 cmH₂O, RR 在 10-30 次/分,以及 FiO₂ 0.3-0.5。

呼吸机的设置会随着情况的变化而调整(比如,当二氧化碳被回路清除时,呼吸机的速率会降低),但是不应该超过你所选择的其他设置。至少,静息呼吸机设置应以这两个试验(即 PIP≤25cmH₂O)或吸气压≤15cmH₂O 为目标值, PEEP 应≥10cmH₂O。呼吸机设置可分为下列范围(表 3)。(表 4) 则提供了一些在最近的临床试验中使用的通气策略案例。最后,尽管一些专家支持使用高 PEEP 策略 (>10cmH₂O) 以保持肺开放、预防肺不张,但也有文献建议不给予外源 PEEP。(例如, patient extubated)。不论是不是选择特定的休息设置,在 VV ECMO 期间,当氧合和二氧化碳目标没有达到时,都应该回到最关键的原则——管理上应做 ECMO 回路上的调整而不是上调呼吸机参数。

一些精心挑选的病人可能忍受拔除气管导管,但其他人可能有严重的呼吸急促,这本身可能是有害的。但呼吸机压力降低和呼吸急促对 ECMO 支持的 ARDS 患者引起的损伤之间的平衡尚不清楚,肺损伤时自主呼吸对肺内压力的影响尚在研究中。根据迄今为止发表的研究,都是建议降低呼吸频率和呼吸机压力。一般来说,任何在 VV ECMO 期间能达到这种肺保护性通气的模式(例如容量/辅助控制、压力/辅助控制、气道压力释放通气)都是合理的通气策略。在第五版 ELSO Red Book, 第 40 章“成人呼吸衰竭生命支持的医疗管理”中,详细讨论了休息通气设置的选择、VV ECMO 期间的拔管,以及 VV ECMO 期间的机械通气管理。

早期液体管理。ECMO 提供气体交换的能力取决于充足的血液流经膜肺,暂时忽略再循环,增加 VV ECMO 期间的血流量,以达到氧合器额定的流量,可以增加全身供氧量。由此可见,ECMO 期间的早期液体管理目标是确保足够的血容量,使体外循环与所需的气体交换相称。实际上,这意味着许多病人在启动 VV ECMO 后需要液体复苏。

液体管理对潮气量的影响。重要的是要认识到,ECMO 早期的输液治疗及伴随呼吸休息的平均气道压的降低会导致肺水肿。在这个复苏阶段,肺顺应性降低。在稳定的吸气压力下,潮气量可预见的迅速下降。迄今为止的证据表明,在全身氧合足够的情况下,无需为增加潮气量而更改设置。

引流不足和 SuckDown。ECMO 支持期间,病人情况变化和治疗可能影响血管内容量。此外,下腔静脉通常会受呼吸运动、咳嗽和 Valsalva 呼吸影响而出现周期性塌陷。如果静脉充盈不足,插管可能与血管壁接触,导致插管开孔部分堵塞。虽然引流不足可以通过补充液体或降低流量处理,但可能的话应避免大量补充液体。血管内容量不足或插管位置不佳可导致“SuckDown”现象,ECMO 流量比基线迅速降低 1-2LPM,当泵处于全速而流量低于 1LPM 时,可导致溶血、泵内空穴现象或空气栓塞等严重后果。SuckDown 需迅速处理,可以降低泵速、调整呼吸机、补液、改变患者体位以增加引流。

后期液体管理。ECMO 支持后,血流和氧供的增加可以明显改善器官功能。已有研究证实,保守的液体管理有益于未使用 ECMO 的 ARDS 患者,液体负平衡有助于更好的预后。在缺乏其他数据的情况下,我们推测类似的策略同样有益于使用 ECMO 的病人,因此建议在血流动力学允许时,尽量维持液体负平衡,尽量达到患者干体重。

ECMO 期间的操作。如病情需要,ECMO 支持期间可以进行手术和操作,小到静脉穿刺,大到肝脏移植手术。当需要进行手术时,应如上所述优化混凝(尽量

减少抗凝)。即便像放置胸腔引流管这样的小型手术，也可以广泛使用电刀。

ECMO 支持病人通常需进行气管切开术，不同于常规气管切开。气管是通过一个小切口暴露出来的，所有这些都需要大面积的电灼。患者由 ECMO 保证氧合，因此无需紧急开放气道通路。故应尽量选择在三叉软骨环之间做小切口，最好能够以穿刺后导丝引导扩张技术放置气管导管，尽量不要切开气管软骨环。术后气管及手术部位应无血。随后的出血(常见于几天后)应完全再次探查，直到出血停止。

抗凝治疗。ECMO 的抗凝治疗有单独的指南。

抗凝的支持时间。VV ECMO 支持时间取决于多个因素，大部分患者支持时间在 9-14 天。但在已发表的研究中，部分患者需要 4 周或以上的支持。

无意义时。如果患者没有有意义的生存希望或桥接器官移植(例如：移植、耐用的左心室辅助装置等)，在符合当地法律情况下，与患者的代理人/家属共同决策后可考虑终止 ECMO 支持。因此在 ECMO 支持开始前，应该向家属解释终止 ECMO 治疗的可能性。不可逆的心肺损伤的定义取决于患者/机构的地区/国家。一般来说，在 ECMO 治疗前需要设定明确的治疗目标。

VV ECMO 的撤机

在考虑 VV ECMO 撤机之前，需评估是否有足够的气体交换储备，以及如下准备撤机的后续步骤。值得注意的是，根据患者的临床情况，撤机可能会持续数小时至数天。撤机期间根据临床指证行重大调整时应随时监测动脉血气。该主题内容在《ELSO Red Book》第五版的第 42 章“呼吸衰竭 ECLS 成人患者的撤机和拔管”中进行了详细讨论。

建议

1、VV ECMO 的撤机准备工作。包括对通气和氧合储备的评估。**表 5** 列出了接受 VV ECMO 辅助的插管和非插管患者可以进行撤机试验的评估标准，包括影像学指标。为了初步评估氧合能力，可以降低 ECMO 流量至 1-1.5 LPM，以确保患者可维持充足的氧合。另一种方法是维持 ECMO 的流量，减少输送的氧气量。为了评估通气储备，患者应耐受低的 ECMO 气流量(<2 LPM)、可接受的 PaCO₂ 和呼吸功/RR。最后一步，患者可置于 100%吸氧状态 15 分钟，并检查血气分析以评估 PaO₂ 缓冲。最后，对插管患者进行撤机呼吸机试验(**表 6**)。

Table 5. Oxygenation, Ventilation, and Radiographic Conditions Sufficient for Initiating a Weaning Trial		
	Intubated Patients	Nonintubated Patients
Oxygenation*	■ F_O₂ consistently ≤ 60% ■ PEEP ≤ 10 cm H₂O ■ P_aO₂ ≥ 70 mm Hg	■ P_aO₂ ≥ 70 mm Hg on no more than a moderate amount of supplemental O₂ (example: ≤ 6 LPM NC or facemask, or ≤ 40 LPM with F_O₂ ≤ 0.3 on high-flow nasal cannula) ■ ABG demonstrates acceptable pH based on the patient's clinical condition without excessive work of breathing
Ventilation	■ Tidal volume ≤ 6 mL/kg PBW ■ Plateau pressure ≤ 28 cm H₂O ■ Respiratory rate ≤ 28 bpm ■ ABG demonstrates acceptable pH and P_aCO₂ based on the patient's clinical condition without excessive work of breathing	
Imaging	Chest radiograph demonstrates improvement in appearance	

ABG, arterial blood gas; LPM, liters per minute; PBW, predicted body weight; PEEP, positive end-expiratory pressure.

Table 6. Weaning Ventilator Challenge in Intubated Patients on VV ECMO

	Volume-Regulated Modes of Ventilation	Pressure-Regulated Modes of Ventilation
Respiratory Compliance	- Liberalize tidal volume by 1 ml/kg increments up to 6 ml/kg - Plateau pressure at each increment remains ≤ 28 cm H₂O	- Liberalize total pressure to no more than 28 cm H₂O - Ensure that tidal volumes increase to 6 ml/kg
Clinical Parameters	- Monitor respiratory rate and minute ventilation - Avoid excessive work of breathing based on patient's physiologic status and underlying comorbidities	

2. 表 7 列出了 VV ECMO 撤机试验的步骤和标准。根据患者的临床情况，撤机过程可能持续数小时至数天。清除膜肺中的冷凝水，每套管路血流量维持在 >1 升/分钟，以避免血栓形成。

Table 7. Suggested Approach to Weaning From Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation via Reduction of Gas Flow with Preserved Higher Blood Flows

Step	Purpose	Process
1	Reduce FDO ₂	- Stepwise reduction in FDO₂ from 1.0 to 0.21 in decrements of approximately 20%. - Maintain acceptable SpO₂ $> 92\%$ or P_aO₂ of at least ≥ 70 mm Hg - ABG as clinically indicated
2	Reduce sweep gas	- Stepwise reduction in sweep gas flow rate by 0.5–1 L/min to goal of 1 L/min - Check ABG with each decrement in sweep gas flow rate - Maintain acceptable pH based on the patient's clinical condition without excessive work of breathing
3	Off-sweep gas challenge	- If patient able to tolerate discontinuation of ECMO, trial off sweep gas for 2–3 hours or longer. - Monitor SpO₂ - Check ABG off sweep gas after allotted time
4	Prepare for decannulation	- Notify surgeon or whomever decannulates. - Confirm off-sweep gas ABG demonstrates PaO₂ ≥ 70 mm Hg and acceptable pH based on the patient's clinical condition without excessive work of breathing - Nil per os/nothing by mouth status - Active blood type (ABO) and antibody screen in the case of significant blood loss - Prepare to give sedation depending on patients' predecannulation sedation status. - Hold heparin for at least 1 hour before decannulation. - Trendelenburg position if jugular vein cannula - Close cannulation site with a suture, apply slight compression dressing and observe carefully - Check for deep vein thrombosis after 24 hours

ABG, arterial blood gas; FDO₂, fraction of delivered oxygen.

局限性

在世界范围内成人 VV ECMO 的使用迅速增加。本文旨在为成人呼吸衰竭患者的选择、启动、插管、管理和撤机提供一个实用的、基于共识的指南。本文尚不够全面，不能单独作为成人呼吸 ECMO 的唯一管理指南。例如，表 8 提供了本文中未涉及的必要内容的额外指导。此外，这些推荐将随着新进展而不断更新，本文的最新版本在以下网址可获

<https://elso.org/Resources/Guidelines.aspx>。

Table 8. Additional Guidance for Essential Topics

Topic	ELSO Guidelines	Fifth Edition Red Book Chapter
Anticoagulation	ELSO Anticoagulation Guideline 2014	7—"Anticoagulation and Disorders of Hemostasis"
Bridge to lung transplantation	ELSO Guidelines General v1.4—Section III, Ultrasound Guidance for VV ECMO	58—"ECMO as a Bridge to Lung Transplantation"
Cannulation Strategies	ELSO Guidelines General v1.4—Section II, ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section II	38—"ECLS Cannulation for Adults with Respiratory Failure"
Circuit design		5—"The circuit"
Complication management	ELSO Guidelines for ECMO Centers v1.8, ELSO Guidelines for Training and Continuing Education of ECMO Specialists	Chapters 40, 41, 43
ECMO team design		65—"Implementing an ECLS program"
Extubation during ECMO	Endotracheal Extubation in patients with respiratory failure receiving VV ECMO	Chapters 40, 41
Management of fluid balance/renal failure/nutrition	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section IV	40—"Medical Management of the Adult with Respiratory Failure on ECLS"
Procedures during ECMO	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section VI	61—"Procedures during ECLS"
Sedation	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section IV	40—"Medical Management of the Adult with Respiratory Failure on ECLS"
Selective CO ₂ removal (ECCO ₂ R)	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section VI	63—"Extracorporeal Carbon Dioxide Removal"
Transfusion management	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section IV	8—"Transfusion Management during Extracorporeal Support"
Unusual patient populations (pregnancy, immunosuppressed, etc.)	ELSO Guidelines for Adult Respiratory Failure v1.4—Section I	Section 7—Extracorporeal Life Support: Special Indications—Chapters 53, 54, 56, 58, 60

ECLS, extracorporeal life support; ELSO, extracorporeal life support organization; VV ECMO, venovenous extracorporeal membrane oxygenation.

需牢记的操作要点

ECMO 前采用基于循证的 ARDS 治疗策略,包括低潮气量通气(4 – 6ml /kg PBW)和无禁忌时进行俯卧位。截至 2017 年,在美国中心的 ECMO 患者中,目前只有 11%的患者在其治疗期间始终采用俯卧位。有证据表明,在急性呼吸窘迫综合征患者中,俯卧位可明显降低死亡率;ECMO 不应该替代俯卧位;应该在 ECMO 前就采用俯卧位。ECMO 期间,继续坚持肺保护策略:降低机械通气强度,避免气道/驱动压力过高(表 3)。

对潜在的 VV ECMO 病例提前制定计划

确定 ECMO 管理团队构成,并由技术和经验丰富的人员进行置管,以及需要哪些资源,如超声心动图或 X 线检查。如果病人要转院进行 VV ECMO,尽早通知转诊,以免病情极度恶化。

根据组织灌注的客观评估,而不是根据动脉血的饱和度来评估氧合的充足程度。注意血红蛋白、全身血管阻力和心输出量(简言之,氧供)是很重要的。虽然 VV ECMO 有可能出现饱和不足和氧输送不足的情况,但不要混淆这两者非常重要,因为它们通常是不同的。

尽量避免可能出现的失误

VV ECMO 低饱和度过度反应及通过增加呼吸机设置进行补偿

应用 VV ECMO 的原因包括加强氧合和通气,但也越来越多地采用超低设置和肺休息策略。在使用 VV ECMO 时,若未能尽早降低通气设置,将使 VV ECMO 的潜在获益大大降低。

等待插管时间过长

VV ECMO 置管可能需要将患者转运到有 X 线透视设备的区域或有置管能力的中心,如果患者已经俯卧,则需要将患者恢复仰卧位。这些动作往往重新改变肺实变与复张区域,导致暂时的血氧降低。我们主张联合使用 Murray 评分(肺损伤评分)和 RESP 评分来指导是否启动 VV ECMO,利用早前在 EOLIA 试验中讨论过的起始阈值标准。如果开始考虑 ECMO 及转院,则应尽早进行。

当 VV ECMO 可以解决临床问题时启动 VA ECMO

虽然在低氧血症和高碳酸血症引起的急性呼吸衰竭中,肺动脉压力升高和右心室功能障碍很常见,但不要将其与之前存在的心衰混淆。但前者通常通过改善氧合和通气可以得到缓解,这通过 VV ECMO 即可实现,应用 VA ECMO 可导致不必要的风险。一些脓毒症伴有低氧血症的患者可能并发严重心肌病,这些患者可以从 VA ECMO 中获益。

因为饱和度低,从 VV ECMO 转为 VA ECMO

ECMO 为血液提供了可变的氧含量,它与血红蛋白×血流量速率直接相关。通过转换 VA ECMO 将氧直接输送至动脉,并不能显著增加系统氧输送,却会增加并发症的发生几率。在使用 VA ECMO 治疗严重 ARDS 的情况下,随着心脏恢复,

患者可出现上半身(和大脑)的低氧血症；这被称为“丑角综合症”或“南北综合症”。