

• 指南 • 标准 •

# 呼吸机与静脉-静脉体外膜肺氧合联用供氧调节指南

## Guideline for oxygenation adjustment of ventilator combined with veno-venous extracorporeal membrane oxygenation

中国老年医学学会急诊医学分会  
Emergency Medicine Branch of Chinese Geriatrics Society

### 前言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国老年医学学会急诊医学分会提出。

本文件由中国老年医学学会归口。

本文件起草单位:四川省医学科学院·四川省人民医院、首都医科大学附属北京中医医院、南京医科大学第一附属医院、深圳市中医院、山东大学齐鲁医院、北京协和医院、四川大学华西医院、天津医科大学总医院、广东省人民医院、郑州大学第一附属医院、北京市垂杨柳医院、徐州医科大学附属医院、新疆医科大学第一附属医院、西安交通大学第二附属医院、河北医科大学第二医院、中国医科大学附属第一医院、南昌大学第一附属医院、首都医科大学附属北京世纪坛医院、贵州中医药大学第一附属医院、中日友好医院、中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)、北京大学第三医院、首都医科大学宣武医院、湖南省人民医院、兰州大学第二医院、重庆大学附属中心医院/重庆市急救医疗中心、解放军总医院第一医学中心、浙江大学医学院附属邵逸夫医院、中国中医科学院广安门医院、广东省中医院、广西中医药大学第一附属医院、山东省立医院、温州医科大学附属第一医院、济宁市第一人民医院、昆明医科大学第一附属医院、中南大学湘雅三医院、上海交通大学医学院附属第九人民医院、浙江大学医学院附属浙江医院、武汉大学中南医院、航天新长征医疗器械(北京)有限公司。

本文件主要起草人:吕传柱、郭伟、陈旭锋、梅勇、孙静、王玲、陈玉国、朱华栋、曹钰、柴艳芬、李欣、朱长举、朱海燕、顾伟、齐文升、燕宪亮、彭鹏、孙树印、裴红红、姜利、马青变、马渝、韩云、张玮、高恒波、卢中秋、韩小彤、崇巍、严静、陈炜、胡北、范西真、商德亚、曹春水、洪玉才、李培武、卢健棋、陈杨、段军、陈腾飞、李学艳、许剑、孙传政、刘禹翔、赵剡、孟孜、韩钺、徐慕娟、朱尘琪。

### 1 范围

本文件给出了呼吸机与静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous extracorporeal membrane oxygenation, VV-ECMO)联用供氧调节的基本条件、适应证、禁忌证及供氧调节流程。

本文件适用于指导医务人员使用呼吸机与 VV-ECMO 联用的供氧调节。

本文件不适用于儿童和婴幼儿患者。

### 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 VV-ECMO<sup>[1]</sup>

VV-ECMO 是指经皮穿刺插管或者外科切开,将静脉血从体内引流到体外,经过膜式氧合器氧合和二氧化碳排出后再用离心泵将血液灌注入人体的静脉,承担气体交换功能,发挥呼吸支持作用的技术。

注:参考《成人体外膜肺氧合技术操作规范》(2024 年版)。

#### 3.2 呼气末正压

呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)是指应用呼吸机时,于呼气末期保持呼吸道一定

水平的正压,避免小气道和肺泡早期闭合、增加功能残气量的技术。

来源:WS 392-2012,3.14,有修改<sup>[2]</sup>。

### 3.3 理想体重

理想体重(predicted body weight,PBW)是指评估人体营养状态、指导药物剂量计算及设定机械通气参数的理论健康体重标准。

注 1:计算公式为:成年男性:PBW=50+0.91×[身高(cm)-152.4];成年女性:PBW=45.5+0.91×[身高(cm)-152.4]。

注 2:参考《成人非心胸手术机械通气管理专家共识》(2024 年版)。

## 4 缩略词表

下列缩略语适用于本文件,见表 1。

表 1 缩略词表

英文缩写	英文全称	中文全称
FiO <sub>2</sub>	fraction of inspiration oxygen	吸入气体中的氧浓度分数
Hb	hemoglobin	血红蛋白含量
PaCO <sub>2</sub>	arterial carbon dioxide pressure	动脉血二氧化碳分压
PaO <sub>2</sub>	arterial oxygen pressure	动脉血氧分压
pH	potential of hydrogen	酸碱度
SaO <sub>2</sub>	arterial oxygen saturation	动脉血氧饱和度
SpO <sub>2</sub>	pulse oxygen saturation	脉搏血氧饱和度
SvO <sub>2</sub>	venous oxygen saturation	静脉血氧饱和度

## 5 总则

近年来,VV-ECMO 在成人呼吸衰竭的救治中发挥了巨大的作用,在临床的应用也逐年迅速增多。对于 VV-ECMO 支持的危重症患者,处理好氧供和氧耗的平衡非常关键。氧供主要取决于心输出量及动脉氧含量,而在 VV-ECMO 支持的患者中动脉氧含量与 VV-ECMO 及呼吸机的参数设置密切相关。为此,依据国家、行业需求,结合国内外本领域最新进展和经验,研究制订本文件,以规范呼吸机与 VV-ECMO 联用时的供氧调节,为医务人员提供明确的指导意见,提高呼吸危重症的救治成功率。

## 6 基本条件<sup>[3]</sup>

### 6.1 环境及设施设备

6.1.1 具备重症监护病房或相应抢救设施的单元。

6.1.2 至少配备的设备有:血气分析仪、血流动力学监测设备、有创呼吸机、连续性肾脏替代治疗设备。

6.1.3 使用具有产品合格证的,满足技术及安全性要求的 VV-ECMO 器械、耗材及配套相关设施。

### 6.2 人员及团队

6.2.1 开展 VV-ECMO 技术的医生需具备:①5 年以上临床工作经验;②执业范围涵盖急诊科、重症医学科、内科、外科等专业之一;③通过 VV-ECMO 专项系统培训并考核合格。

6.2.2 开展 VV-ECMO 技术的护士需经过系统培训,并通过考核。

6.2.3 VV-ECMO 团队至少包括 3 名人员,其中 2 名执业医师及 1 名护士。2 名执业医师中需有 1 名技术负责人,其具备 VV-ECMO 操作经验的副主任医师及以上职称。

医师负责:适应证评估、置管操作、VV-ECMO 治疗策略制定与运行管理(抗凝方案制定、血流动力学调控)、撤机与并发症处理等。

护士负责:设备管理与参数监测、抗凝执行与并发症预防、精细化患者护理、转运与应急响应等。

## 7 适应证及禁忌证<sup>[4-5]</sup>

### 7.1 适应证

7.1.1 最优机械通气条件下[FiO<sub>2</sub>≥80%,潮气量 4~6 mL/kg PBW,PEEP≥10 cmH<sub>2</sub>O(1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa)],联合保护性肺通气策略、肺复张、俯卧位通气等治疗仍效果不佳,PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub><80 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)的呼吸衰竭患者。

7.1.2 优化机械通气(呼吸频率≥35 次/min,气道平台压≤30 cmH<sub>2</sub>O)后,仍存在高碳酸血症:pH≤7.25 且 PaCO<sub>2</sub>≥60 mmHg 的呼吸衰竭患者。

## 7.2 禁忌证

无绝对禁忌证, 相对禁忌证包括如下: ①高龄; ②免疫抑制; ③中枢神经系统出血, 严重的中枢神经系统损伤, 不可逆和丧失能力的中枢神经系统病理改变; ④全身性出血, 抗凝治疗禁忌; ⑤机械通气(气道平台压 $>30\text{ cmH}_2\text{O}$ 同时 $\text{FiO}_2>90\%$ )7 d以上。

## 8 呼吸机与VV-ECMO联用供氧调节流程

### 8.1 联用供氧调节指标

**8.1.1 通则** 在呼吸机与VV-ECMO联用供氧过程中, 用供氧调节指标动态评估患者的供氧情况, 供氧调节指标即氧供与氧耗的比值始终保持在3~5合理区间。3~5合理区间是经抽取患者血液样本由实验室检测, 再经公式(1)计算得出。

**8.1.2 计算公式** 公式(1): 供氧调节指标 $= (\text{Hb} \times \text{SaO}_2 \times 1.34 + \text{PaO}_2 \times 0.003) / [\text{Hb} \times (\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2) \times 1.34]$ 。

式中: 供氧调节指标: 呼吸机与VV-ECMO联用供氧调节使用的目标值, 氧供与氧耗的比值始终保持在3~5合理区间内。Hb(g/dL): 由患者静脉抽血检验测量得出; SaO<sub>2</sub>(%): 由患者动脉抽血检验测量得出; PaO<sub>2</sub>(mmHg): 由患者动脉抽血检验测量得出; SvO<sub>2</sub>(%): 由患者ECMO膜前抽血检验测量得出。

### 8.2 初始供氧调节

**8.2.1 初始设置呼吸机参数<sup>[6]</sup>** ①初始给予中高水平的PEEP( $\geq 10\text{ cmH}_2\text{O}$ )。②同时综合考虑肺泡可复张性、气压伤发生风险、病变均一性、血流动力学和体重等因素, 动态调节潮气量、呼吸频率、PEEP和 $\text{FiO}_2$ 的设置。

**8.2.2 初始设置VV-ECMO参数** ①血流量: 60~80 mL/kg/min。如血容量足够而静脉引流量远小于该值, 需检查管路、插管位置及胸内压、腹内压等因素。②气流量: 血流量 $\approx 1:1$ 。对于存在高碳酸血症及pH明显降低的患者, 可适当提高气流量。③空氧混合器初始氧浓度设定100%。

**8.2.3 初始供氧指标评估** 初始设置后按照公式(1)计算, 评估供氧是否达到8.1所述的合理区间, 达到时执行8.3, 不达到时按8.4处理。

### 8.3 运行期供氧调节

**8.3.1 运行期** 运行过程中评估患者是否已发生气压伤(气胸、皮下气肿等)或气压伤发生风险较高(气道峰压/平台压进行性升高、胸部影像检查发现肺大泡等)的情况, 若发生, 需要进行呼吸机超保护通气, 执行8.3.2。同时考虑VV-ECMO参数调节(8.3.3), 并再次进行评估。

**8.3.2 呼吸机超保护通气参数设置<sup>[7-8]</sup>** 参数设置如下: ① $\text{FiO}_2: 30\% \sim 50\%$ 。②潮气量: 潮气量 $\leq 4\text{ mL/kg PBW}$ 。③PEEP: 在VV-ECMO支持期间保持PEEP水平 $\geq 10\text{ cmH}_2\text{O}$ , 可根据跨肺压监测、肺电阻抗成像、肺部超声等技术进行个体化设置。④呼吸频率: 呼吸频率设为4~15次/min。⑤平台压: 将平台压保持在25 cmH<sub>2</sub>O以下。⑥驱动压: 驱动压 $\leq 15\text{ cmH}_2\text{O}$ , 若患者存在肺纤维化或者胸壁顺应性降低, 可适当增加。

**8.3.3 VV-ECMO参数调节<sup>[9-10]</sup>** 参数调节如下: ①联用时避免低氧血症和高碳酸血症的发生, 气体交换目标为 $\text{PaO}_2: 65 \sim 90\text{ mmHg}$ ,  $\text{PaCO}_2: 35 \sim 45\text{ mmHg}$ 。②避免在VV-ECMO开始后快速纠正高碳酸血症, 导致呼吸性碱中毒, 每小时 $\text{PaCO}_2$ 下降不超过10 mmHg, 24 h后 $\text{PaCO}_2$ 下降不应超过应用VV-ECMO前的50%, 以防止神经系统并发症。

**8.3.4 运行期供氧指标评估** 运行过程中按照公式(1)计算, 评估供氧是否达到8.1所述的合理区间, 达到时执行8.2, 不达到时按8.4处理。

### 8.4 供氧评估未达到合理区间时供氧调节

**8.4.1 VV-ECMO参数调整** 优先调整VV-ECMO参数, 如调整VV-ECMO的血流量、氧浓度和气流速等。

**8.4.2 呼吸机参数调整** 如调整VV-ECMO参数后, 按照公式(1)计算比值仍不能达到合理区间, 可增加呼吸机的 $\text{FiO}_2$ 、适当增加潮气量、调整PEEP及呼吸频率等参数, 然后重新按照公式(1)计算评估, 直到达到合理区间为止。

**8.4.3 在进行供氧调节的同时应寻找供氧不达标原因并积极针对病因治疗。**

### 8.5 撤机过程期供氧调节

**8.5.1** 当患者原发病得到控制, 在呼吸机参数不变, 逐渐降低VV-ECMO支持力度的情况下, 按照公式(1)计算达到合理区间, 经评估若在合理区间内并符合撤机指标(8.5.2), 进行VV-ECMO撤机试验(8.5.3), 撤机试验时要考虑呼吸机相应参数的调整(8.5.4)。

**8.5.2 VV-ECMO 撤机指征<sup>[11]</sup>** ①原发病得到有效控制、肺部影像检查较前改善；②患者在呼吸机支持  $\text{FiO}_2 \leq 60\%$ ， $\text{PEEP} \leq 10 \text{ cmH}_2\text{O}$  下测得  $\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ mmHg}$ ；③呼吸机设置为潮气量  $6 \sim 8 \text{ mL/kg PBW}$ 、平台压  $\leq 28 \text{ cmH}_2\text{O}$ 、呼吸频率  $\leq 28 \text{ 次/min}$  的条件下，动脉血气分析显示 pH 值为  $7.35 \sim 7.45$ ， $\text{PaCO}_2 35 \sim 45 \text{ mmHg}$ ，且患者无过度的呼吸用力。

**8.5.3 VV-ECMO 撤机试验方法** ①降氧：当患者肺功能开始改善后，将 VV-ECMO 氧浓度从 100% 逐步降至 21%，每次降低约 20%，评估是否达到  $\text{SpO}_2 > 92\%$  或  $\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ mmHg}$ ，达到则执行②，达不到则停止撤机试验。②降气：将 VV-ECMO 气流量以每次  $0.5 \sim 1 \text{ L/min}$  的速度逐渐下降至零，每次调整后观察 30 min，复查动脉血气分析，评估是否达到  $\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ mmHg}$ ，pH 值为  $7.35 \sim 7.45$ ， $\text{PaCO}_2 35 \sim 45 \text{ mmHg}$ ，且患者无过度的呼吸用力，达到则执行③，达不到则停止撤机试验。③夹气：关闭气流维持至少  $2 \sim 3 \text{ h}$  以上，部分患者可能需要  $24 \text{ h}$  或更长，并复查动脉血气分析，评估是否达到  $\text{PaO}_2 \geq 70 \text{ mmHg}$ ，pH 值为  $7.35 \sim 7.45$ ， $\text{PaCO}_2 35 \sim 45 \text{ mmHg}$ ，且患者无过度的呼吸用力，达到则执行④，达不到则停止撤机试验。④撤机：经过上述步骤③，评估达标可进行撤机，达不到则停止撤机试验。

**8.5.4 呼吸机参数调整<sup>[12]</sup>** 撤机试验阶段逐渐调整呼吸机参数，参数参照潮气量  $6 \sim 8 \text{ mL/kg PBW}$ ，平台压  $\leq 28 \text{ cmH}_2\text{O}$ ，呼吸频率  $\leq 28 \text{ 次/min}$  设置。撤离 VV-ECMO 后，继续按照标准呼吸支持原则，参考 8.2.1 进行呼吸支持。

## 8.6 VV-ECMO 撤机试验失败供氧调节

若撤机试验失败需将 VV-ECMO 和呼吸机设置恢复至 VV-ECMO 运行期间 8.3 参数设置，进一步动态评估，符合撤机指征（8.5.2）再次实施撤机试验（8.5.3），直至顺利撤机。

### 结语：

VV-ECMO 与呼吸机联用在临床中逐年增加，本文件的制定旨在为医务人员提供明确的指导意见，以提高呼吸危重症的救治成功率。

感谢所有参与本标准制定的专家和机构的共同努力和贡献。

### 参考文献

- [1] Extracorporeal Life Support Organization. Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book[M]. 6th Edition. 2022.
- [2] 中华人民共和国卫生部. WS 392-2012, 呼吸机临床应用[S]. 北京, 2012.
- [3] 国家卫生健康委员会. 国家卫生健康委办公厅关于印发国家限制类技术目录和临床应用管理规范(2022 年版)的通知. 《国家限制类技术目录和临床应用管理规范》(2022 年版)[EB/OL]. (2022-03-30). <https://www.nhc.gov.cn/yzygj/c100068/202204/2655831f6f444b00b3e50604e67531f5.shtml>.
- [4] 中国医师协会呼吸医师分会危重症医学专业委员会, 中华医学会呼吸病学分会危重症医学学组. 体外膜式氧合治疗成人重症呼吸衰竭推荐意见[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2019, 42(9):660-684.
- [5] 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.
- [6] 国家卫生健康委员会. 国家卫生健康委办公厅关于印发成人外膜肺氧合技术操作规范(2024 年版)的通知. 成人体外膜肺氧合技术操作规范(2024 年版)[EB/OL]. (2024-11-12). <https://www.nhc.gov.cn/yzygj/c100068/202411/2ae6596f7a9a4c889f1b0004a6f3b543.shtml>.
- [7] Assouline B, Combes A, Schmidt M. Setting and Monitoring of Mechanical Ventilation During Venovenous ECMO[J]. Crit Care, 2023, 27(1):95.
- [8] Quintel M, Busana M, Gattinoni L. Breathing and Ventilation during Extracorporeal Membrane Oxygenation: How to Find the Balance between Rest and Load[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2019, 200(8):954-956.
- [9] Joyce CJ, Udy A, Weeden M, et al. What Determines the Arterial Partial Pressure of Carbon Dioxide on Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation? [J]. ASAIO J, 2022, 68(8):1093-1103.
- [10] Cavayas YA, Munshi L, Del Sorbo L, et al. The Early Change in  $\text{PaCO}_2$  after Extracorporeal Membrane Oxygenation Initiation Is Associated with Neurological Complications[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2020, 201(12):1525-1535.
- [11] 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.
- [12] Abrams D, Schmidt M, Pham T, et al. Mechanical Ventilation for Acute Respiratory Distress Syndrome during Extracorporeal Life Support. Research and Practice[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2020, 201(5):514-525.

（收稿日期：2025-08-30）