

体外膜肺氧合联合俯卧位通气治疗重症呼吸衰竭的新进展

黄乾萍 朱瑞凯* 卢国浩 吕文权 张瀚尹 张委威

中山大学附属第一医院广西医院急诊科,广西南宁 530021

摘要 近年来,体外膜肺氧合(ECMO)和俯卧位通气作为重症呼吸衰竭治疗中的两种重要手段,被广泛应用于临床实践中。本文就 ECMO 联合俯卧位通气在治疗重症呼吸衰竭中的原理,在改善氧合、减少机械通气时间、降低肺损伤等方面的作用机制和临床效果进行综述,分析目前该领域存在的问题,对未来的研究方向提出展望。

关键词 体外膜肺氧合; 俯卧位通气; 重症呼吸衰竭; 治疗进展

中图分类号 R563.8 **文献标识码** A **DOI** 10.11768/nkjwzzzz20230602

New advances in the application of extracorporeal membrane oxygenation in combination with prone position ventilation for the treatment of severe respiratory failure HUANG Qian-ping, ZHU Rui-kai*, LU Guo-hao, LV Wen-quan, ZHANG Han-yin, ZHANG Wei-wei. Department of Emergency Medicine, Guangxi Hospital, the First Affiliated Hospital of Zhongshan University, Guangxi Nanning 530021, China

Corresponding author: ZHU Rui-kai, E-mail: zrkx2008@163.com

Abstract In recent years, both extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) and prone position ventilation have been widely used as important interventions in the treatment of severe respiratory failure. This article provides a comprehensive review of the principles behind the combination of ECMO and prone position ventilation in the treatment of severe respiratory failure, including their effects on oxygenation improvement, reduction in mechanical ventilation duration, and mitigation of lung injury. Additionally, the existing challenges in this field are analyzed, and future research directions are proposed.

Key words Acute respiratory distress syndrome; Prone position ventilation; Severe respiratory failure; Treatment advance

重症呼吸衰竭病因复杂,可由多种原因引起,如严重肺炎、急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、严重创伤、肺栓塞等。重症呼吸衰竭的主要特征是呼吸困难、低氧血症和 CO_2 潴留,严重时可致急性呼吸衰竭,威胁生命^[1]。近年来,体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)和俯卧位通气作为治疗重症呼吸衰竭的重要手段,在临床中广泛应用。ECMO 是一种体外生命支持技术,通过将患者的血液引流至体外膜氧合器,实现氧合和 CO_2 清除后再返回患者体内,以维持患者的氧合和循环功能^[2~4]。而俯卧位通气则是通过调整患者体位,使其从传统的仰卧位转变为俯卧位,从而改善肺部通气/血流(V/Q)比例,提高氧合和通气功能。该组合治疗策略临床效果显著,在改善氧合、缩短机械通气时间和降低肺损伤方面有独特优势。

体外膜肺氧合及俯卧位机械通气的原理

ECMO 原理 ECMO 能够维持患者的氧合和

循环功能,为肺部或心脏功能衰竭的患者提供有效支持^[5]。ECMO 系统通过导管将血液从体内引流至体外膜氧合器,血液在膜氧合器中与氧气接触,实现氧合。同时,膜氧合器中的 CO_2 排出,使血液氧气含量增加, CO_2 含量降低。随后,氧合后的血液经过泵的推动再次回输至患者体内,维持循环功能^[6,7]。ECMO 可分为静脉-动脉体外膜肺氧合(veno-arterial ECMO, VA-ECMO)和静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous ECMO, VV-ECMO)2 种类型。VA-ECMO 适用于同时伴有心脏和肺部功能衰竭的患者,通过插管连接至动脉和静脉,实现氧合和循环支持。VV-ECMO 适用于仅存在肺部功能衰竭的患者,通过插管连接至两个静脉,仅提供氧合支持^[5,8,9]。

俯卧位原理 俯卧位通气是调整患者体位的治疗手段,旨在优化气体交换和改善通气功能。其基本原理是将患者由常规的仰卧位改为俯卧位,使背部朝上,头部稍向一侧,同时配合呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)和呼吸参数设置,

* 通信作者:朱瑞凯, E-mail: zrkx2008@163.com, 广西省南宁市佛子岭路3号

以达到最佳通气效果^[10]。俯卧位通气广泛应用于重症呼吸衰竭等临床情况,尤其对于治疗 ARDS,俯卧位通气被认为是重要的治疗手段。临床研究表明,俯卧位通气可显著改善患者的氧合水平,减少机械通气时间,降低机械通气相关并发症的发生率,提高患者的预后^[11~13]。

体外膜肺氧合联合俯卧位通气治疗重症呼吸衰竭的新进展

ECMO 联合俯卧位通气治疗的优势 ECMO 治疗的主要目标之一是改善氧合,保护肺脏,使其得以休息,同时借助系统性治疗来促进肺部康复,达到全身氧供平衡。在 ECMO 启动后,呼吸机的角色从单纯的氧气供应和通气转变为全身炎症反应的调控工具。尽管 ECMO 支持允许双肺进行轻微气体交换,但为避免肺过度通气、不良膨胀及肺组织损伤,机械通气策略选择仍起着关键性作用。然而,对于 ECMO 治疗严重 ARDS 患者,最佳通气策略尚未明确确定。由于 ECMO 减轻了患者对肺的依赖,机械通气策略需转向肺保护性策略,但具体方法仍需进一步研究和指导^[14]。俯卧位通气通过调整重力依赖区域,实现肺组织的开放,而无需施加高气道压力。在患者仰卧位时,胸部 CT 显示出实变区域;但患者俯卧位时,实变区域逐渐恢复膨胀。这种姿势的改变利用了重力,有助于提高肺的顺应性,促进痰液引流。在 ARDS 发展过程中,肺泡的萎陷和过度扩张引起了 V/Q 不平衡,导致低氧血症和高二氧化碳血症。同时,肺小血管可能受到痉挛影响,导致肺血管压力升高,最终导致肺心病。通过采用俯卧位通气,肺的顺应性改善以及 ECMO 过程中的氧合提升,这些变化的共同作用有望减轻急性肺心病的病情。

ECMO 联合俯卧位通气改善氧合的生理效应主要有 4 个方面^[15]:①对呼吸力学和通气-灌注比的影响。通常情况下,俯卧位会导致胸壁顺应性下降,部分原因是受限的腹部扩张和背部顺应性较差。但俯卧位能够在肺内产生更均匀的压力和应变分布,实现肺的均匀充气,减少非依赖区域的过度充气和依赖性肺泡单位的周期性开闭风险。因此,俯卧位对胸壁和肺的顺应性影响相反。此外,俯卧位时背侧区域的血流灌注得以保留,促使 V/Q 比更均衡。②对气体交换的影响。俯卧位可以改善氧合,这归因于俯卧位时更多肺泡单位开放,更好的 V/Q 匹配,以及较低前壁胸壁顺应性的结果。然而,俯卧位也可能对动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)水平产生影

响。实际上,在维持相同分钟通气量的情况下,对 PaCO₂ 降低敏感的患者表现出更好的预后。③对血流动力学的影响。在采用保护性通气策略和尽可能复张肺的情况下,俯卧位增加了 ARDS 患者的心脏前负荷,减少了右心室后负荷。这可能会提升存在前负荷储备的患者心输出量,凸显了俯卧位时前负荷对血流动力学的重要性。俯卧位还可能对特定区域和/或局部血流产生一定影响,主要是由于腹内压力的升高。值得注意的是,由于俯卧位并不显著增加腹内压,因此不会对腹腔内器官的微循环产生有害影响。④对医院获得性呼吸道感染的影响。在俯卧位时,肺的背部仍然高于口腔,这有助于呼吸道分泌物的排出。然而,PROSEVA(ARDS 严重患者低潮气量及高呼气末正压治疗)试验的辅助研究中,俯卧位与呼吸机相关性肺炎的发生率降低无关^[16]。ECMO 中俯卧位通气的翻转方法是变换体位时先将患者移至远离呼吸机侧床的边缘,翻转患者,直接让患者腹部接触床面,调整成俯卧位,胸部及骨盆处垫软枕。翻转频率一般超过 16 h,最长可持续 20~22 h,比较一致的结论是俯卧位通气复张肺泡具有时间依赖性,俯卧位保持时间越长,对氧合改善越有效。俯卧位的获益效果经 PROSEVA 试验证实^[16]。在重度 ARDS 患者[动脉血氧分压(PaO₂)/吸入氧浓度(FiO₂)<150 mmHg]28d 死亡率中,与仰卧位组(32.8%)比较,俯卧位组显著下降 16.0%^[17]。故对于重症肺炎患者,建议采用俯卧位通气,减轻呼吸机肺损伤,改善氧合。

适应证的确定 ECMO 联合俯卧位通气是一种重要的治疗策略,用于处理重症呼吸衰竭患者。此方法的适应证包括重度 ARDS、难以纠正的氧合障碍及可逆性肺功能衰竭^[18]。ECMO 联合俯卧位通气通过提供外部氧合和通气支持来改善患者的生理状态,以降低呼吸困难,改善通气和氧合效果,并减少肺损伤的发生风险。

重度 ARDS 是 ECMO 联合俯卧位通气的主要适应证之一。ARDS 肺泡上皮细胞破损,引起肺组织水肿和低氧血症,严重病例可导致多器官功能衰竭。ECMO 联合俯卧位通气用于重度 ARDS 患者可提供显著的氧合和通气改善效果^[19]。俯卧位通气的使用可以促进肺通气分布的均匀性,减少肺泡塌陷和通气不均,从而改善肺功能的稳定性。ECMO 将血液循环分流到体外循环中,通过膜氧合器提供血氧和 CO₂ 的交换,进一步支持氧合和通气^[20]。结合俯卧位通气和 ECMO 的治疗策略,可以更有效地治疗

重度 ARDS 患者。

在难以纠正的氧合障碍情况下,ECMO 联合俯卧位通气也被广泛应用。有些患者可能存在严重的低氧血症,传统的机械通气手段无法满足其氧合需求。在这些情况下,ECMO 联合俯卧位通气可以提供必要的氧合支持,改善患者的氧合状态,从而保护重要器官免受缺氧引起的损害。

此外,ECMO 联合俯卧位通气也适用于可逆性肺功能衰竭的患者。部分疾病或健康问题所导致的可逆性肺水肿、ARDS 等,而引发呼吸功能的严重衰竭。ECMO 联合俯卧位通气的治疗策略可通过提供机械通气支持和肺保护策略来改善呼吸困难,降低低氧血症的风险。

在确定 ECMO 联合俯卧位通气治疗的适应证时,需谨慎考虑存在的相对禁忌证或高风险情况,如严重出血或多器官功能衰竭的患者可能不适合该治疗方法。因此,在决策和确定最佳治疗前,需行个体化评估和患者选择,由医疗团队根据具体情况和临床判断做出决策。

综上所述,ECMO 联合俯卧位通气是一种重要的治疗策略,可用于重症呼吸衰竭的患者。通过改善氧合和通气效果,降低肺损伤风险,在重度 ARDS、难以纠正的氧合障碍和可逆性肺功能衰竭等疾病中展示出潜在的疗效。然而,具体的治疗适应证应根据个体化评估和患者选择,并在医疗团队的合作下做出决策。

相关临床研究结果及分析

目前对于 ECMO 联合俯卧位通气的适应证尚缺乏统一的标准。不同的医院和医生可能会有不同的判断标准,导致患者治疗不一致。由于低氧血症引起肺损伤的阈值与机械通气启动的最佳时间的研究较少,临床上倾向于通过机械通气减少低氧暴露来降低肺组织损伤,因此在重度 ARDS 治疗中,理论上选择早期启动 ECMO 可以减少低氧血症和呼吸机相关性肺损伤(ventilator-induced lung injury, VILI)^[21]。最近一项关于 ECMO 救治重症 ARDS 的研究(EOLIA)^[22],评估了早期 ECMO 治疗重症 ARDS 的效果,结果显示 ECMO 组 60 d 病死率为 35%,对照组为 36%,但差异无统计学意义,认为早期 ECMO 与传统机械通气比较无明显益处。与使用 ECMO 作为挽救性治疗措施的患者比较,早期接受 ECMO 治疗患者的治疗失败率明显降低。虽然生存益处尚未肯定,但在治疗危及生命的患者中,ECMO

被认为是严重 ARDS 病程的早期挽救性治疗,而非晚期。一些研究已证明 ECMO 期间实施俯卧位通气的可行性,2015 年 Levy 等^[23]建议在 ECMO 支持过程中采用俯卧位通气来改善氧合,特别是可有效改善持久缺氧。且有研究表明,ECMO 期间实施俯卧位通气是安全的,并可改善氧合、肺顺应性及减少 VILI^[24~26]。相关指南也推荐 ECMO 期间增加俯卧位通气,有助于降低与低氧血症相关记忆和其他认知障碍的风险^[27]。但在临床实践中,出于患者安全考虑,ECMO 治疗过程中经常会停止俯卧位通气,最近一项涉及 23 个 ECMO 中心的国际调查中,仅 6% 的患者在 ECMO 第 1 天联合俯卧位通气,15% 的患者整个 ECMO 过程中联合俯卧位通气^[28]。值得一提的是,接受 VV-ECMO 支持患者的俯卧位通气可能与超保护性肺通气具有协同作用。Giani 等^[29]发布的多中心回顾性队列研究,评估 VV-ECMO 中俯卧位通气的生理效应和住院病死率,提示 ECMO 期间实施俯卧位通气与降低住院病死率相关。

ECMO 联合俯卧位通气仍需进一步探索更多临床数据,以评估该治疗策略在不同患者群体中的长期效果和安全性。这为重症呼吸衰竭患者的救治提供了新的选择,并在临床实践中逐渐得到广泛应用。未来还需进一步明确适应证及优化治疗方案,并加强对该治疗策略的长期效果评估,为临床实践提供更为可靠的指导和依据。

未来展望

ECMO 联合俯卧位通气作为复杂的治疗手段,需要多学科团队的紧密合作。在未来,应该进一步加强重症医学、呼吸内科、心胸外科、麻醉科等专科之间的协作,形成更加完善的治疗体系及优化治疗方案,包括治疗持续时间、通气参数的调整等,以实现更好的治疗效果。此外,还应研究新型设备和技术,进一步简化治疗流程,提高治疗效率。随着科学技术的不断进步和临床经验的积累,ECMO 联合俯卧位通气在治疗重症呼吸衰竭方面的应用前景将变得更加广阔。

参考文献

- 1 Ranieri V, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. *Jama*, 2012, 307 (23): 2526-2533.
- 2 Gattinoni L, Carlesso E, Langer T. Clinical review: extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Critical care*, 2011, 15: 1-6.
- 3 Lamy M, Eberhart RC, Fallat RJ, et al. Effects of extracorporeal mem-

brane oxygenation(ECMO) on pulmonary hemodynamics, gas exchange and prognosis[J]. Trans Am Soc Artif Intern Organs, 1975, 21: 188-198.

4 Rabah H, Rabah A. Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO): what we need to know[J]. Cureus, 2022, 14(7): e26735.

5 Munshi L, Del Sorbo L, Adhikari NKJ, et al. Prone position for acute respiratory distress syndrome. A systematic review and meta-analysis[J]. Ann Am Thorac Soc, 2017, 14(Supplement 4): S280-S288.

6 This I, Care I, Book TR. Extracorporeal life support organization(ELSO) general guidelines for all ECLS cases[J]. ELSO Guideline, 2009: 1-24.

7 孙孟飞, 邢丽华. 体外膜氧合治疗期间呼吸机相关性肺炎的研究进展[J]. 内科急危重症杂志, 2021, 27(5): 419-421, 437.

8 Makdisi G, Makdisi T, Wang IW. Use of distal perfusion in peripheral extracorporeal membrane oxygenation[J]. Ann Transl Med, 2017, 5(5): 103.

9 Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: adult advanced cardiovascular life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care[J]. Circulation, 2015, 132(18 suppl 2): S444-S464.

10 Wong AHC. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome[J]. Thorax, 2014, 69(6): 579.

11 Matthay MA, Zemans RL, Zimmerman GA, et al. Acute respiratory distress syndrome[J]. Nature reviews Disease primers, 2019, 5(1): 18.

12 Pappert D, Rossaint R, Slama K, et al. Influence of positioning on ventilation-perfusion relationships in severe adult respiratory distress syndrome[J]. Chest, 1994, 106(5): 1511-1516.

13 Douglas WW, Rehder K, Beynen FM, et al. Improved oxygenation in patients with acute respiratory failure: the prone position[J]. Am Rev Respir Dis, 1977, 115(4): 559-566.

14 Del Sorbo L, Goffi A, Goligher E, et al. Setting mechanical ventilation in ARDS patients during VV-ECMO: where are we? [J]. Minerva Anestesiologica, 2014, 81(12): 1369-1376.

15 Roca O, Pacheco A, García-de-Acila M. To prone or not to prone ARDS patients on ECMO[J]. Ann update intensive care emerg med, 2021, 2021: 177-189.

16 Investigators, Cavalanti AB. Effect of lung recruitment and titrated positive end-expiratory pressure(PEEP) vs low PEEP on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome a randomized clinical trial[J]. JAMA, 2017, 318(14): 1335-1345.

17 Hu SL, He HL, Pan C, et al. The effect of prone positioning on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Critical Care, 2014, 18: 1-10.

18 Karagiannidis C, Brodie D, Strassmann S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation: evolving epidemiology and mortality[J]. Intensive Care Med, 2016, 42(5): 889-896.

19 Guervilly C, Hraiech S, Gariboldi V, et al. Prone positioning during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome in adults[J]. Minerva Anestesiologica, 2014, 80(3): 307-313.

20 Al-Fares A, Singhal A, Vek G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO) in acute respiratory distress syndrome(ARDS): a review of the literature[J]. Cureus, 2020, 12(1): e6636.

21 Na SJ, Jeon K. Extracorporeal membrane oxygenation support in adult patients with acute respiratory distress syndrome[J]. Expert Rev Respir Med, 2020, 14(5): 511-519.

22 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.

23 Levy B, Taccone FS, Guarracino F. Recent developments in the management of persistent hypoxemia under veno-venous ECMO[J]. Intensive Care Med, 2015, 41: 508-510.

24 Lucchini A, De Felippis C, Pelucchi G, et al. Application of prone position in hypoxaemic patients supported by veno-venous ECMO[J]. Intensive Crit Care Nurs, 2018, 48: 61-68.

25 Culbreth RE, Goodfellow LT. Complications of prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure: a systematic review[J]. Respiratory Care, 2016, 61(2): 249-254.

26 Kimmoun A, Roche S, Bridey C, et al. Prolonged prone positioning under VV-ECMO is safe and improves oxygenation and respiratory compliance[J]. Ann Intensive Care, 2015, 5(1): 35.

27 Galiatsou E, Kostanti E, Svarna E, et al. Prone position augments recruitment and prevents alveolar overinflation in acute lung injury[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2006, 174(2): 187-197.

28 Schmidt M, Pham T, Arcadipane A, et al. Mechanical ventilation management during extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. An international multicenter prospective cohort[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2019, 200(8): 1002-1012.

29 Giani M, Martucci G, Madotto F, et al. Prone positioning during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory distress syndrome. A multicenter cohort study and propensity-matched analysis[J]. Ann Am Thorac Soc, 2021, 18(3): 495-501.

(2023-08-20 收稿)

《内科急危重症杂志》2024 年各期重点号

第 1 期	消化系统疾病	第 2 期	血液病及风湿性疾病	第 3 期	神经及感染性疾病
第 4 期	肾脏及内分泌疾病	第 5 期	呼吸系统疾病	第 6 期	心血管疾病